



Annales de l'Université de Parakou

Parakou, Bénin

Série « Sciences Naturelles et Agronomie »

ISSN 1840-8494 / eISSN 1840-8508

Juin 2020, Volume 10, Numéro 1



Fleurs de *Eulophia horsfallii* (Bateman) Summerh., plante herbacée de la famille des Orchidaceae. Photo prise dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari (Commune de Tanguiéta, Bénin) lors d'une étude exploratoire pour l'inventaire des orchidées du nord Bénin. Photo Assédé E.P.S. (Août 2015).

E. horsfallii est une orchidée terrestre qu'on retrouve dans le sous-bois des savanes arborées le long d'une partie du domaine Soudanien depuis la Gambie jusqu'au Cameroun. C'est l'une des rares orchidées utilisées uniquement dans l'alimentation, pour la préparation des sauces.

Annales de l'Université de Parakou

Revue publiée par l'Université de Parakou
BP 123 Parakou (Bénin) ; Tél/Fax : (229) 23 61 07 12

Série « Sciences Naturelles et Agronomie »

ISSN 1840-8494 / eISSN 1840-8508

Dépôt légal No 13888 du 10/02/21, 1er trimestre, Bibliothèque
Nationale du Bénin

Email : revue.sna.annaes-up@fa-up.bj

Comité d'édition

Président : Dr Prosper GANDAHO, Professeur titulaire

Vice-Président : Dr O. Holden FATIGBA, Maître de Conférences Agrégé

Membres :

Dr Ibrahim ALKOIRET TRAORE,
Professeur titulaire

Dr C. Ansèque GOMEZ, Maître de
Conférences

Dr Diane GANDONOU, Assistante

Comité d'impression :

Dr Erick Virgile AZANDO, Maître
de Conférences

Dr Sosthène AHOTONDJI, Assitant

Mr B. Ahmed KIMBA

Mr Kayodé Roland CHABI

Mr Wilfried ETEKA

Comité de Publication Série « Sciences Naturelles et Agronomie »

Directeur de Publication :

Dr Samadori S. Honoré BIAOU,
Maître de Conférences

Secrétaire de publication :

Dr Youssouf TOUKOUROU, Maître
de Conférences

Membres :

Dr Rodrigue V. Cao DIOGO, Maître
de Conférences

Dr Gilles NAGO, Maître Assistant

Dr Franck HONGBETE, Maître de
Conférences

Comité de lecture

Les évaluateurs (referees) sont des scientifiques choisis selon leurs domaines et spécialités.

Comité scientifique

Prof A. AHANCHEDE (Malherbologie, Bénin)	Prof J.C.T. CODJIA (Zoologie, Bénin)
Prof A. AKOEGNINO (Botanique, Bénin)	Prof K. AKPAGANA (Ecologie Végétale, Togo)
Prof A. FANTODJI (Biologie de la reproduction, Côte d'Ivoire)	Prof L. J. G. VAN der MAESEN (Botanique, Pays-Bas)
Prof A. SANNI (Biochimie et de Biologie Moléculaire, Bénin)	Prof M. BOKO (Climatologie, Bénin)
Prof B. BIAO (Economie, Bénin)	Prof M. C. NAGO (Biochimie Alimentaire, Bénin)
Prof B. SINSIN (Ecologie Végétale et Animale, Bénin)	Prof M. OUMOROU (Ecologie Végétale, Bénin)
Prof D. KOSSOU (Phytotechnie, Bénin)	Prof N. FONTON (Biométrie, Bénin)
Prof E. AGBOSSOU (Hydrologie, Bénin)	Prof P. ATACHI (Entomologie, Bénin)
Prof F. A. ABIOLA (Ecotoxicologie, Bénin)	Prof Ph. LALEYE (Hydrobiologie, Bénin)
Prof G. A. MENSAH (Zootechnie, Bénin)	Prof R. GLELE KAKAI (Biométrie et Statistiques, Bénin)
Prof G. BIAOU (Economie Rurale, Bénin)	Prof R. MONGBO (Sociologie Rurale, Bénin)
Prof J. HOUNHOUNGAN (Technologie Alimentaire, Bénin)	Prof S. A. AKPONA (Biochimie, Bénin)
Prof J. LEJOLY (Ecologie Tropicale, Belgique)	Prof S. ADOTE-HOUNZANGBE (Parasitologie, Bénin)
Prof J. ZOUNDJIEKPON (Génétique, Bénin)	Prof S. ALIDOU (Sciences de la Terre, Bénin)
Prof J.C. GANGLO (Foresterie, Bénin)	Prof V. AGBO (Sociologie, Bénin)

Annales de l'Université de Parakou

Revue publiée par le Vice Rectorat chargé de la Recherche Universitaire (RU/UP)
Université de Parakou, BP 123 Parakou (Bénin) ; Tél/Fax : (229) 23 61 07 12

Série « Sciences Naturelles et Agronomie »

ISSN 1840-8494 / eISSN : 1840-8508

Dépôt légal N° 13888 du 10/02/21, 1er trimestre, Bibliothèque
Nationale du Bénin

Email : revue.sna.annaes-up@fa-up.bj

Sommaire - Volume 10, Numéro 1 (Juin 2020)

Contenu et auteurs	Pages
Caractérisation phytoécologique des zones fréquentées par l'hippopotame commun en milieu anthropisé au Nord-Ouest du Bénin	1-12
G.N. KPERA, A.F. AZIHOU, C.A.M.S. DJAGOUN, G.F. KAKPO, G.R.M. ADOUNKE, B.D. KASSA, G.A. MENSAH	
Déterminants socio-techniques de la faible production des variétés de semences améliorées dans la commune de Banfora, Burkina Faso	13-26
Tionyéfé FAYAMA, Alkassoum MAIGA	
Efficacités agronomique et économique des amendements de <i>Tithonia diversifolia</i> pour la production de <i>Macrotyloma geocarpum</i> (Harms) Marechal & Baudet à Parakou au Nord Bénin	27-32
Richie L. B. ANANI, Pierre G. TOVIHOUDI, Rodrigue V. C. DIOGO, Tobias GODAU	
Développement du gboma (<i>Solanum macrocarpon</i> L.) sous l'influence du biochar, de la fréquence d'arrosage et des nématodes à galles en conditions de serre	33-40
Néhal T. M. DJAUGA, Rodrigue V. Cao DIOGO, Hugues BAIMEY, Tobias GODAU	
Analyse de la diversité génétique moléculaire de <i>Haematostaphis barberi</i> (Prune rouge) à l'aide des marqueurs RAPD	41-54
Bienvenue Nawan KUIGA SOUROU, Kifouli ADEOTI, Gustave DJEDATIN Farid BABA- MOUSSA, Fatiou TOUKOUROU, Christine OUIINSAVI	
Instructions aux auteurs	55-62



Caractérisation phytoécologique des zones fréquentées par l'hippopotame commun en milieu anthropisé au Nord-Ouest du Bénin

G.N. Kpéra¹, A.F. Azihou², C.A.M.S. Djagoun², G.F. Kakpo², G.R.M. Adoukè², B.D. Kassa², G.A. Mensah¹

¹ Institut National des Recherches Agricoles du Bénin ; 01 BP 884 Cotonou Bénin

² Université d'Abomey Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Département Aménagement et Gestion de l'Environnement, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

Reçu le 17 Mars 2020 - Accepté le 20 Juin 2020

Phytoecological characteristics of the areas visited by the common hippopotamus in the human habitat in the North-Western Benin

Abstract: Listed as "vulnerable" in the IUCN Red List and in the Benin Red List, *Hippopotamus amphibius* is frequently observed outside Protected Areas. The study aimed to identify the phytoecological characteristics of the areas visited by hippopotamus along the Pendjari River outside the Pendjari Biosphere Reserve. Carried out in the Municipalities of Natitingou and Toukountouna in the North-Western Benin, data were collected through 50 phytosociological surveys following Braun Blanquet method. Plant species collected were submitted to a Detrended Correspondence Analysis (DCA) and the hierarchical ascending classification for plant group determination. Shannon and Pielou indexes were calculated for each group. 61 plant species grouped in three plant groups were recorded in the habitat visited by hippopotamus along the Pendjari River outside the Biosphere Reserve of Pendjari. The three plant groups consisted of the grassland plant group (G1) of *Hyparrhenia involucreta* and *Pennisetum purpureum*; the shrub savannah plant group (G2) of *Vachellia sieberiana* and *Crotalaria retusa*; and the wood savannah plant group (G3) of *Desmodium gangeticum* and *Keetia venosa*. The Shannon diversity index varied from 2.48 bits to 4.90 bits and the Pielou evenness from 0.52 to 0.88. The G3 group recorded the higher (4.90 bits) Shannon and Pielou indexes (0.88) than G1 and G2. However, hippopotamus preferred plants were absent around the Pendjari River due to the important farming activities in the area. It is urgent for manager to plan the conservation action in order to restore the hippopotamus habitat around the Pendjari River.

Keywords: Life forms, Chorology, Specific diversity, Detrended Correspondence Analysis, *Hippopotamus amphibius*.

Résumé : Classé dans la catégorie 'espèce vulnérable' sur la Liste Rouge de l'UICN et du Bénin, l'hippopotame commun est fréquemment observé en dehors des Aires Protégées. L'étude visait à identifier les caractéristiques phytoécologiques des zones fréquentées par l'hippopotame commun le long de la Rivière Pendjari. Conduite dans les Communes de Natitingou et de Toukountouna au Nord-Ouest du Bénin dans les terroirs villageois, l'étude était basée sur 50 relevés phytosociologiques effectués suivant la méthode de Braun Blanquet. Les placeaux installés avaient tenu compte de l'homogénéité floristique des strates végétatives des habitats prospectés. 61 espèces végétales avaient été recensées et soumises à une Analyse de Correspondance Détendue (ACD) puis à une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) pour construire les différents groupes écologiques. A partir de ces groupes, des indices de Shannon et de Pielou avaient été mesurés. Trois formations végétales composaient le biotope de l'hippopotame le long de la Rivière Pendjari avec des groupements végétaux spécifiques : la savane herbeuse caractéristique du groupement G1 à *Hyparrhenia involucreta* et *Pennisetum purpureum* ; la savane arborescente caractéristique du groupement G2 à *Vachellia sieberiana* et *Crotalaria retusa* et la savane arborée caractéristique du groupement G3 à *Desmodium gangeticum* et *Keetia venosa*. Le groupe G3 était le mieux représenté en richesse spécifique avec

48 espèces suivi des groupes G2 et G1 avec respectivement 29 et 28 espèces. Ainsi, les espèces étaient mieux réparties dans le groupe G3 que dans les deux autres avec une diversité de Shannon de 4,90 bits et une équitabilité de Pielou de 0,88. Néanmoins, on a noté l'absence de plusieurs plantes préférées par les hippopotames traduisant une dégradation des terres de parcours. Des aménagements doivent être effectués autour de la Rivière Pendjari pour restaurer les parcours naturels.

Mots clés: Type biologique, Type phytogéographique, Diversité spécifique, Analyse de correspondance détendue, *Hippopotamus amphibius*.

1. Introduction

Les milieux naturels africains constituent, pour les populations locales, un domaine essentiel tant sur les plans écologique, économique que social. Ils représentent d'importants réservoirs de biodiversité. Leur disparition s'est accentuée ces dernières décennies avec la croissance démographique, les besoins en produits alimentaires dont la viande de brousse (Kpété, 2009). Parmi les ressources potentielles de ces milieux naturels, la faune tient une place de choix. Au Bénin, les perturbations des habitats naturels de la faune constituent la principale source de menace et d'extinction de nombreuses espèces jadis communes et abondantes sur le territoire. Les habitats des animaux ont été réduits de 65%, au profit de l'agriculture et de l'élevage, ou par suite de la surexploitation du bois de feu (Gnanho, 2008). Le reste des habitats naturels est soumis à une pression perpétuelle du fait de la démographie galopante.

En effet, la perte de l'habitat est l'une des plus grandes menaces qui pèse sur la faune sauvage (Lougbégnon, 2003). Cette dernière représente la principale menace qui confère le statut vulnérable à l'hippopotame. L'hippopotame commun a pour habitat préférentiel les zones humides principalement les rivières, les étangs, les mares de boues, et les lacs. Jusqu'au début du 20^{ème} siècle, on trouvait des hippopotames communs dans toute l'Afrique, surtout au sud du Sahara, partout où il existait de l'eau et des végétaux adéquats (Kingdom, 2015). Mais ils sont de nos jours en majorité confinés dans des zones protégées. Néanmoins, ils survivent toujours dans les plus grandes rivières et marais. Ils vont même jusque dans les estuaires, dans la mer et même jusqu'à une altitude de 2000 m (Eltringham, 1993 ; Kingdom, 2015). Certaines régions du Bénin se sont révélées comme des refuges et des habitats de choix de l'hippopotame. On retrouve les hippopotames du Nord au Sud du Bénin notamment dans le complexe des parcs du W et de la Pendjari (Dibloni *et al.*, 2010), dans les forêts classées de l'Ouémé Supérieur et de

l'Okpara (PGFTR, 2007 ; Kpété, 2009), dans les forêts classées de Wari Maro et Monts Kouffé (PAMF, 2006), dans le Fleuve Mono (Amoussou, 2002), dans la Sota, dans certains affluents comme la Bouli (zone de Gogounou) (PGFTR, 2010) et dans la Mékrou (Sinsin *et al.*, 2004). Ainsi, seuls six (6) aires protégées sur les cinquante-huit (58) que compte le Bénin abritent des populations d'hippopotames. Plusieurs études précédentes ont fourni des données sur l'espèce dans différentes zones comme celle de Amoussou *et al.* (2006) dans la Réserve de Biosphère du Mono, les travaux de Kpetere *et al.* (2015) au Nord Est du Bénin. La mise en place de programme de conservation de l'espèce s'avère alors primordiale et nécessite des informations précises autant quantitatives que qualitatives sur l'espèce ainsi que sur les différents habitats où elle se retrouve. C'est dans cette optique que cette étude a été réalisée afin de fournir une base de données scientifiques sur les facteurs pouvant favoriser la survie de l'hippopotame commun hors de la Réserve de Biosphère de la Pendjari au Nord-ouest du Bénin. De façon spécifique, il s'est agi d'évaluer la diversité floristique des aires de parcours de l'hippopotame le long de la Rivière Pendjari. Le milieu étant caractérisé par différents faciès environnementaux, nous faisons l'hypothèse de la présence de plusieurs groupements végétaux.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Le milieu d'étude couvre deux Communes (Natitingou et Toukountouna) du Département de l'Atacora au Nord-Est du Bénin et est localisé entre les longitudes 1°10'0'' - 1°40'0'' E et les latitudes 10°00'0'' - 10°40'0'' N (Figure 1). La Commune de Kouandé représente la limite Ouest, Sud partagé par la Commune de Boukoubé et Nord partagée par la Commune de Tanguiéta. Les Communes de Tanguiéta et de Boukoubé représentent aussi les limites Est du milieu d'étude.

* Auteur Correspondant : nathalie.kpera@gmail.com ;

Tél : +229 66372793

Copyright © 2020 Université de Parakou, Bénin

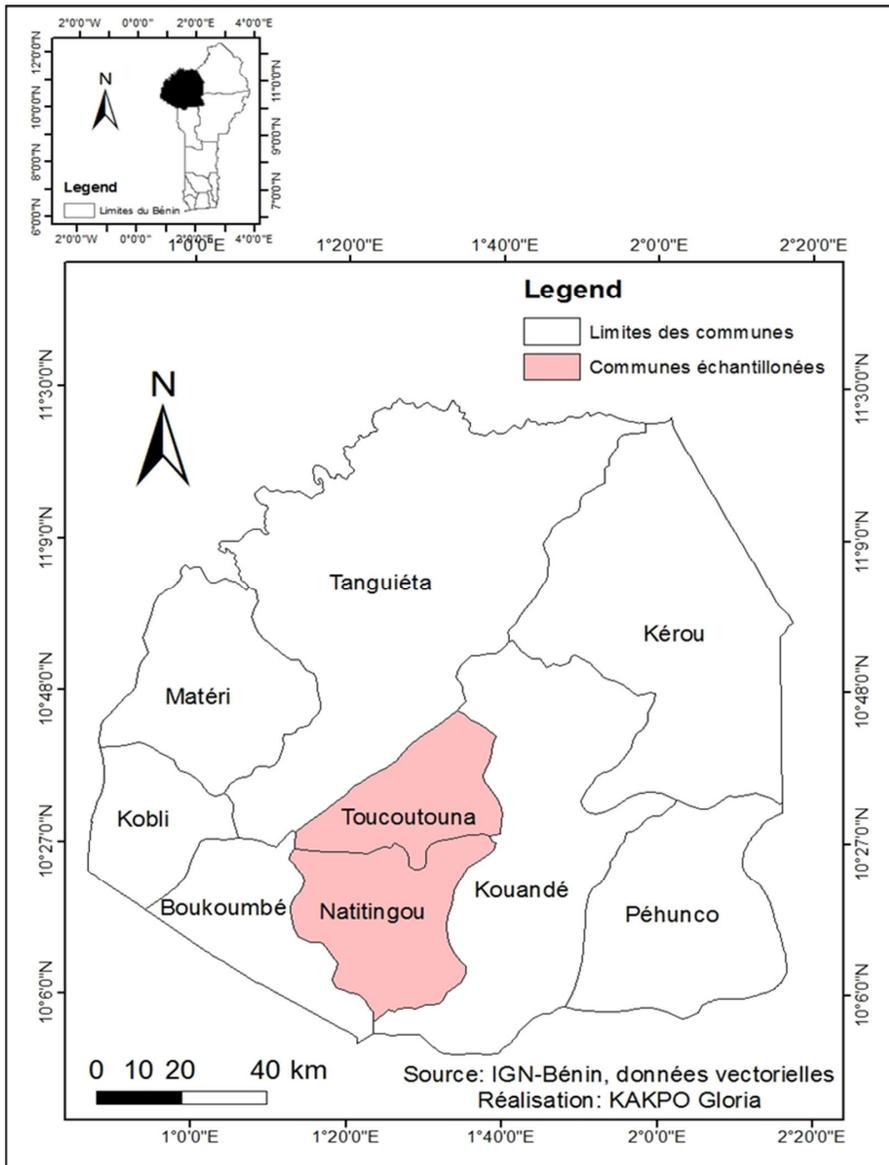


Figure 1 : Carte du milieu d'étude / Map of study area (Source, Kakpo, 2018)

Le relief est caractérisé par la chaîne de l'Atacora d'où elle tient son relief accidenté, composé surtout de plateaux et de collines dont les vallées se présentent souvent en pente forte (Monographie, 2005). Le climat est de type soudanien caractérisé par une saison sèche qui s'étend de Novembre à Mi-Mai et une saison pluvieuse de Mi-Mai à Octobre avec une pluviométrie annuelle de 900 à 1100 mm (Mul *et al.*, 2015). La température moyenne est d'environ 27°C avec des variations extrêmes de 20,8°C à 32,2°C. La Rivière Pendjari représente le plus important réseau hydrographique du milieu d'étude. La végétation est caractérisée par différents types de savanes dont les plus dominants sont les

savanes arbustives et arborées. On rencontre aussi le long de la Rivière Pendjari, des forêts galeries. Le baobab (*Adansonia digitata*), le karité (*Vitellaria paradoxa*), le néré (*Parkia biglobosa*), le kaïlcédrat (*Khaya senegalensis*) et le tamarinier (*Tamarindus indica*) sont les espèces les plus communes. Cette végétation est assez dégradée par les activités agricoles et l'exploitation forestière anarchique. Cette végétation abrite de nombreuses espèces animales depuis les petits rongeurs jusqu'aux grands herbivores et carnivores sans omettre les oiseaux. Cependant on note un recul important de cette faune vers le parc de Pendjari dus à la chasse et aux feux de végétation anarchiques et tardifs.

2.2. Choix des sites de prospection et de relevés phytosociologiques

L'identification et le choix des localités de prospection sont dictés par l'existence confirmée de l'hippopotame dans les localités. Pour ce faire, une enquête de présence de l'espèce a été faite dans toutes les localités traversée par la Rivière Pendjari auprès des populations riveraines et en particulier les chasseurs et agriculteurs. Suite à cela, des prospections directes ont été faites dans les localités où l'espèce est signalée pour récolter des indices de présences tangibles que sont les crottes, les empreintes les parcours et les sites de pâturage. Les localités retenues comme sites dans cette étude sont celles où les observations directes de l'espèce ont été confirmées. Ainsi, sur la base de la présence actuelle avérée de l'hippopotame, cinq villages ont été retenus (Figure 1). Il s'agit de Perporiyacou et Koudengou dans la Commune de Natitingou et de Kokota, Tampégré et Moussitingou dans la Commune de Toukountouna.

2.3. Collecte des données

L'étude de la caractérisation phytoécologique de l'habitat de l'hippopotame a été réalisée à partir des placeaux installés dont le nombre par village tient compte des strates présentes et de l'homogénéité floristique de ces strates. Les inventaires ont été réalisés à l'intérieur des faciès floristiques suffisamment homogènes dans des quadrats de 900 m². Pour identifier les groupements végétaux parcourus par les hippopotames, 50 relevés phytosociologiques ont été effectués au pic de biomasse selon la méthode de Braun-Blanquet (1932). Pour chaque relevé, les coefficients d'abondance dominance, la nature des sols, le taux de recouvrement, la structure de la végétation et les activités agricoles constituent les paramètres notés. Les coefficients d'abondance-dominance attribués aux espèces sont : 5 : espèces recouvrant 75 à 100% de la superficie du relevé (RM = 87,5%) ; 4 : espèces recouvrant 50 à 75% de la superficie du relevé (recouvrement moyen, RM = 62,50%) ; 3 : espèces recouvrant 25 à 50% de la superficie du relevé (RM = 37,5%) ; 2 : espèces recouvrant 5 à 25% de la superficie du relevé (RM = 15%) ; 1 : espèce recouvrant 1 à 5% de la superficie du relevé (RM = 3%) + : espèces recouvrant moins de 1% de la superficie du relevé (RM = 0,5%). Des herbiers ont été réalisés spécialement pour les espèces non identifiées sur le terrain. Ces herbiers ont été soumis à identification à l'Herbier National du Bénin.

2.4. Traitement des données collectées

La matrice de données constituée de 50 relevés phytosociologiques et de 61 espèces végétales a été soumise à une Analyse de Correspondance Détendue (ACD) afin de les regrouper en groupements végétaux. Ainsi, les différents relevés ont été encodés à l'aide du

tableur Excel. L'ordination des relevés, le dendrogramme, la réalisation des plans factoriels et le calcul des valeurs des espèces indicatrices ont été obtenu l'aide du logiciel R en utilisant le package Vegan. Une fois les groupements individualisés, leurs spectres biologiques et phytogéographiques bruts et pondérés ont été représentés selon Raunkiaer (1934) et White (1986). En outre, la structure des communautés végétales issue des différents groupements est analysée grâce à l'indice de diversité de Shannon et à l'équitabilité de Piélou. L'indice de diversité de Shannon calculé pour chaque groupement végétal est donné par la formule suivante : $H = -\sum p_i \log_2 p_i$ avec P_i = proportion de l'espèce i au sein du groupement. Le calcul de l'indice de Shannon est fondé sur l'hypothèse que la diversité est fonction de la probabilité $P_i = N_i / N$ de présence de chaque espèce i dans un ensemble d'individus. Cet indice est compris entre 0,5 bit (très faible) et 4,5 bits (très élevés) environ ou exceptionnellement plus dans le cas d'échantillon de grande taille de communautés complexes (Frontier, 1983). L'équitabilité de Piélou qui mesure de la régularité des espèces au sein de la communauté est donnée par la formule :

$$E = H / \log_2 S$$

avec $E \in [0,1]$ et S = nombre d'espèces.

Si $0 < E < 0,5$ la régularité est faible ;

Si $0,5 < E < 0,7$ la régularité est moyenne ;

Si $E > 0,7$ la régularité est forte.

3. Résultats

3.1. Identification des différents groupements végétaux

La classification hiérarchique ascendante obtenue avec une matrice de 50 relevés et 61 espèces a permis une discrimination de trois groupements végétaux (Figure 2). Il s'agit de :

- G1 : Groupement végétal à *Hyparrhenia involucreta* et *Pennisetum purpureum* qui rassemble 19 relevés effectués dans les savanes herbeuses sur sol ferrugineux non hydromorphe.
- G2 : Groupement végétal à *Vachellia sieberiana* et *Crotalaria retusa* qui est constitué de 9 relevés effectués dans les savanes arbustives sur sol ferrugineux non hydromorphe.
- G3 : Groupement végétal à *Desmodium gangeticum* et *Keetia venosa* qui comporte 20 relevés effectués dans les savanes arborées sur sol ferrugineux non hydromorphe et argileux hydromorphe.

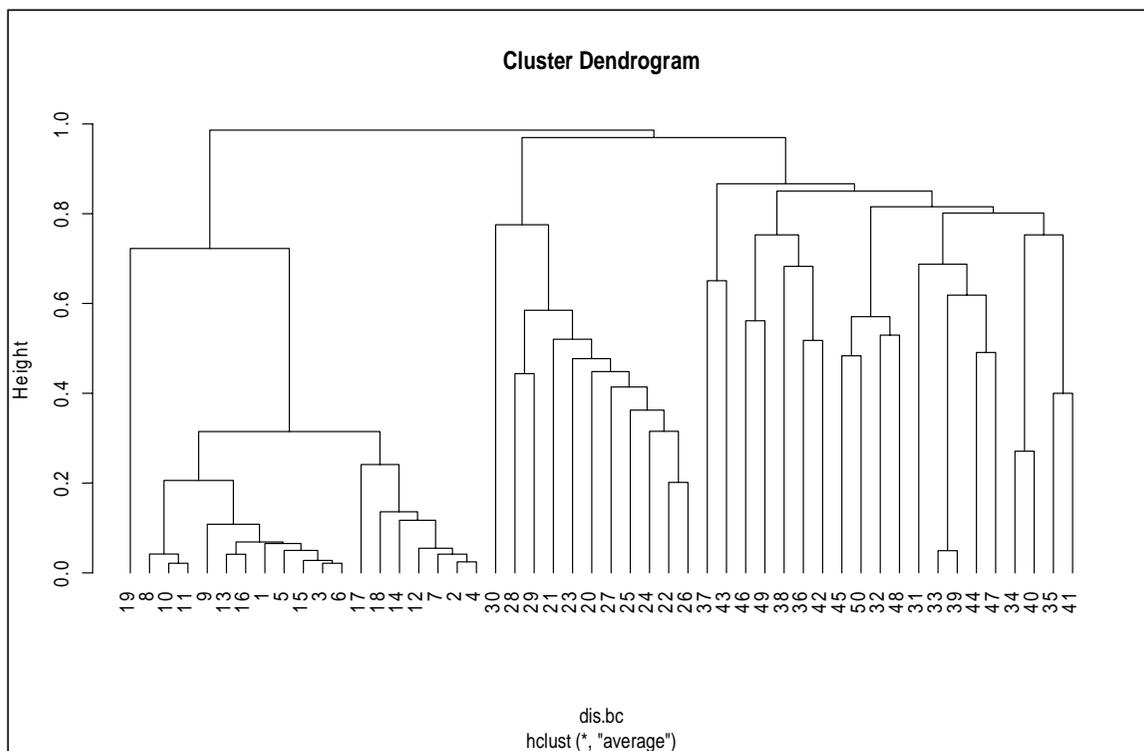


Figure 2: Dendrogramme présentant les différents groupements végétaux / Dendogram of plant groups
 Légende : G₁: groupement végétal à *Hyparrhenia involucrata* et *Pennisetum purpureum* ; G₂: groupement végétal à *Vachellia sieberiana* et *Crotalaria retusa* ; G₃: groupement végétal à *Desmodium gangeticum* et *Keetia venosa*

La représentation de ces trois groupements dans un plan factoriel (Figure 3) montre que l'axe 1 traduit un gradient de densité de végétation (on quitte les formations les plus ouvertes vers les formations les plus fermées) alors que l'axe 2 traduit un gradient croissant d'humidité du sol (on quitte les sols les plus secs vers ceux les plus humides). Il ressort de l'analyse de cette figure que l'axe 1 montre une succession des groupements G₂ (savanes arbustive), et G₁ (savane herbeuse). Cet axe traduit donc un gradient décroissant du couvert arboré. En ce qui concerne l'axe 2, elle montre successivement, du bas vers le haut, les groupements G₂ (sol ferrugineux non hydromorphe), G₃ (sol ferrugineux et argileux hydromorphe) et G₁ (sol ferrugineux non hydromorphe). Il traduit donc un gradient topographique révélé par l'hydromorphie du sol.

3.2. Groupement végétal à *Hyparrhenia involucrata* et *Pennisetum purpureum*

Ce groupement caractéristique des savanes herbeuses regroupe 28 espèces appartenant à 27 genres répartis en 19 familles avec une forte représentation des Leguminosae (17,85 %), les Rubiaceae (14,28 %) et les Poaceae (10,71 %). La strate herbacée est représentée

par 23 espèces, dominée par *Hyparrhenia involucrata* et *Pennisetum purpureum*. Les fréquences relatives pour ces espèces caractéristiques de ce groupement sont respectivement de 17,72% et 7,42% et les contributions spécifiques de contact sont de 53,82% et 22,54% avec une forte colonisation de la famille des Poaceae. L'indice de diversité de Shannon est de 2,48 bits et l'équité de Pielou s'élève à 0,52. Ainsi, le groupement à *Desmodium gangeticum* et *Keetia venosa* est un milieu isotrope.

3.2.1. Types biologiques

Le spectre brut révèle l'abondance des Thérophytes (50%) suivis des Hémicryptophytes (20%) et des Chaméphytes (17%). En revanche, les Géophytes (13%) sont le type biologique le moins abondant. Quant au spectre pondéré, il révèle la même tendance avec un fort taux de recouvrement des Thérophytes (58%) suivis des Hémicryptophytes (15%), des Chaméphytes (10%) et les Géophytes (12%) (Figure 4).

3.2.2. Types phytogéographiques

Le spectre phytogéographique montre que les espèces soudano-guinéennes (26 %) et soudano-

zambésienne (26 %) sont les plus abondants dans le milieu (Figure 5). Elles sont suivies respectivement des espèces Pantropicales (16 %) et soudaniennes (14 %). La même tendance est observée pour le spectre pondéré

qui montre que les espèces de type phytogéographique soudano-guinéennes et soudano-zambésienne (13,40 %) dominent ce groupement suivi des Pantropicales (8,37 %) et soudaniennes (6,70 %).

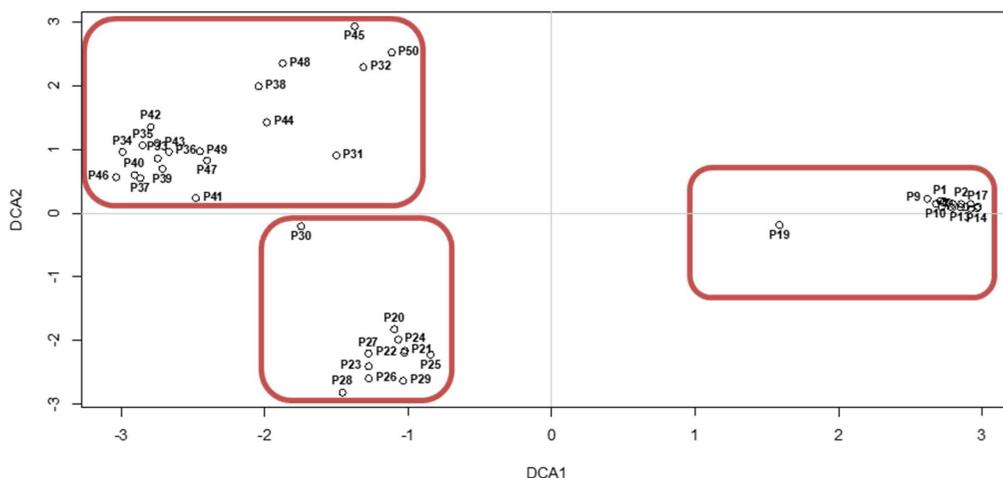


Figure 3 : Plan factoriel montrant la répartition des relevés suivant les axes 1 et 2 / Factorial plan showing plant groups distribution

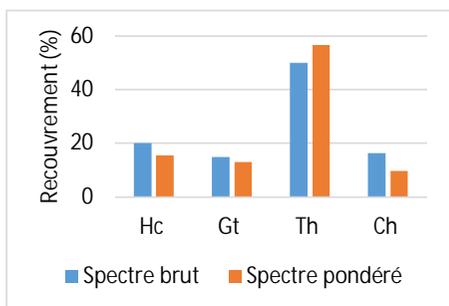


Figure 4 : Spectre biologique du groupement végétal à *Hyparrhenia involucrata* et *Pennisetum purpureum*/ Life forms spectrum of *Hyparrhenia involucrata* and *Pennisetum purpureum* plant group

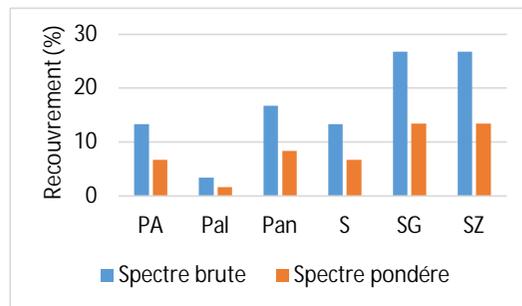


Figure 5 : Spectre phytogéographique du groupement végétal à *Hyparrhenia involucrata* et *Pennisetum purpureum*/ Geographic forms spectrum of *Hyparrhenia involucrata* and *Pennisetum purpureum* plant group

3.3. Groupement à *Vachellia sieberiana* et *Crotalaria retusa*

Ce groupement est constitué de 11 relevés effectués dans les savanes arbustives, sur sol non hydromorphe. Il compte 29 espèces appartenant à 25 genres répartis en 15 familles dont les Leguminosae (34,48 %), les Rubiacae (13,79 %) et les Poaceae (10,34 %) sont les plus représentées avec une dominance marquée de *Hyparrhenia rufa* et *Vachellia sieberiana*. Les fréquences relatives relevés pour ces espèces respectivement de 3,49% et 2,17% et les contributions spécifiques sont respectivement 16,68% et 10,38%. L'indice de diversité de Shannon est de 4,18 bits et l'équitabilité de Pielou est

égale à 0,86. Le groupement à *Vachellia sieberiana* et *Crotalaria retusa* est donc un milieu isotrope.

3.3.1. Types biologiques

Dans ce groupement, il y a une nette abondance des phanérophytes (50%) et des chaméphytes (18%). En revanche, les hémicryptophytes (11%) et les géophytes (8%) sont les types biologiques les moins abondants. De même, on remarque dans ce groupement, une nette dominance des phanérophytes (55%) et des chaméphytes (15%). Alors que, les hémicryptophytes (13%) et les géophytes (5%) sont les types biologiques les moins dominants (Figure 6).

3.3.2. Types phytogéographiques

Au sein du groupement, les espèces soudano-zambésiennes (41%), soudano-guinéennes (25%) et soudaniennes (14 %) et afro-tropicales (12 %) sont les plus abondantes et les plus dominants. Les moins

représentés et dominants sont les espèces plurirégionales africaines (5,33 %) et les pantropicales (1,33 %) (Figure 7).

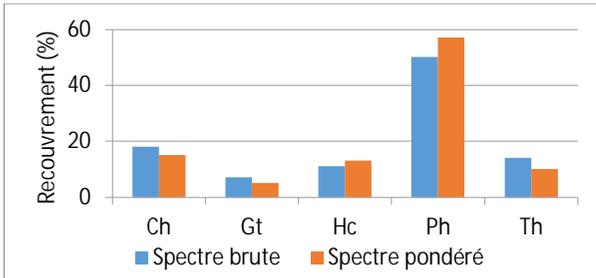


Figure 6 : Spectre biologique du groupement végétal à *Vachellia sieberiana* et *Crotalaria retusa* / Life forms spectrum of *Vachellia sieberiana* and *Crotalaria retusa* plant group

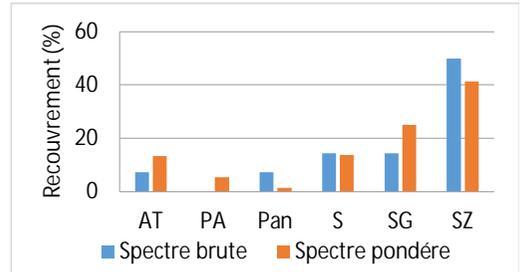


Figure 7 : Spectre phytogéographique du groupement végétal *Acacia sieberiana* et *Crotalaria retusa* / Geographic forms spectrum of *Acacia sieberiana* and *Crotalaria retusa* plant group

3.4. Groupement à *Desmodium gangeticum* et *Keetia venosa*

Ce groupement comporte 20 relevés effectués dans les savanes arborées sur sol ferrugineux non hydromorphe et argileux hydromorphe. Il possède une richesse spécifique de 48 espèces appartenant à 19 familles. Les Leguminosae (22,91 %) et les Rubiaceae (16,66 %) sont les familles les plus représentées avec une forte dominance de *Hyptis suaveolens* et *Fadogia erythrophloea*. Les plus fortes fréquences relatives ont été enregistré pour ces espèces et sont respectivement de 26,29 et 3,27. Quant aux contributions spécifiques, elles sont de 42,61% pour *Hyptis suaveolens* et 5,30% pour *Fadogia erythrophloea*. L'indice de diversité de Shannon est de 4,90 bits et l'équitabilité de Pielou est égale à 0,88. Ainsi, le groupement à *Desmodium gangeticum* et *Keetia venosa* est un milieu isotrope.

Le spectre biologique montre l'abondance des phanérophytes (43%) et des Thérophytes (23%). Ces deux formes de vie dominant également la végétation avec la même tendance comparativement au spectre pondéré. Ainsi, les phanérophytes sont toujours en tête avec un recouvrement de 37 % du sol contre 21 % pour les thérophytes. Les chaméphytes (14 %) géophytes (7 %) sont les types biologiques les moins recouvrant (Figure 8).

3.4.1. Types biologiques

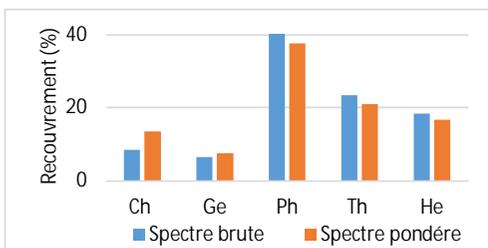


Figure 8 : Spectre biologique du groupement végétal à *Desmodium gangeticum* et *Keetia venosa* / Life forms spectrum of *Desmodium gangeticum* and *Keetia venosa* plant group

3.4.2. Types phytogéographiques

Le spectre brut indique l'abondance des espèces soudano-zambésiennes (34,04 %), soudano-guinéennes (17,02 %) et soudaniennes (17,02 %). Les types phytogéographiques Afro Tropicales (4,25%) et Paléo Tropicales (2,12) sont les moins représentés. Par contre, le spectre pondéré montre que les espèces soudano-zambésiennes (35,57 %), soudaniennes (12,88%) et pantropicales (13,26 %) sont les plus dominants et les paléo tropicales les moins dominants (Figure 9).

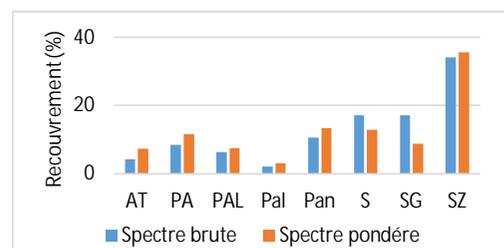


Figure 9 : Spectres phytogéographiques du groupement végétal à *Desmodium gangeticum* et *Keetia venosa* / Geographic forms spectrum of *Desmodium gangeticum* and *Keetia venosa* plant group

4. Discussion

4.1. Caractérisation des groupements végétaux

La richesse spécifique est relativement élevée dans le groupement G3 (groupement des savanes arborées) tandis qu'elle est relativement faible dans le groupement G1 (groupement des savanes herbeuse) et G2 (groupement des savanes arbustives). Ces résultats peuvent s'expliquer par le nombre de relevés réalisés dans chaque type de formation végétale et aussi par le type de substrat caractéristique de chaque formation. En effet, au total 20 relevés ont été réalisés dans la formation à savanes arborées contre seulement neuf (9) dans la savane arbustive. Dans ce cas, le nombre élevé de relevés réalisés au sein de la formation à savane arborée a permis de rendre compte d'une plus grande diversité spécifique du milieu. Cependant, malgré le nombre important de relevés réalisés au sein de la savane herbeuse, la richesse spécifique reste faible comparée à celle de la savane arborée et relativement égale à la richesse spécifique de la savane arbustive. Ainsi, le type de substrat caractéristique des savanes herbeuses du milieu ne favorise pas l'installation des espèces. De plus, cette forte diversité au sein du groupe G3 est due non seulement à un nombre élevé d'espèce mais surtout à cause d'une bonne régularité (codominance, absence de dominance) traduite par une valeur élevée de l'indice de Pielou. Le tableau 1 montre aussi que l'indice de diversité de Shannon est plus élevé au niveau des groupements G2 et G3. Ceci suggère que le type de sol caractéristique de ces deux formations (ferrugineux non hydromorphe et argileux hydromorphe) serait favorable au développement de plusieurs espèces végétales. Cependant, le faible indice de Shannon observé au sein de la savane herbeuse (G1) comparé à la savane arbustive (G2) s'explique par le fait que le groupement G2 est un milieu isotrope (qui offre différentes conditions pour la cohabitation de plusieurs espèces) en opposition à G1 (qui n'offre pas ces conditions variées mais favorise peu d'espèces qui dominent sur les autres). Ceci peut être influencé non seulement par le substrat, mais aussi par les perturbations anthropiques, chimiques, le pâturage dans le milieu. La forte proportion de Thérophyte dans le groupement G1 représente en effet un indicateur de la perturbation du milieu. Ce qui nous permet de valider l'hypothèse de départ qui stipule la présence de différents groupements végétaux résultant de la diversité des facies environnementaux dans le milieu.

4.2. Analyse des types biologiques

Le tableau 2 montre que les Phanérophytes (31%) et les Thérophytes (28,66%) sont les types biologiques les plus abondants dans l'ensemble des trois groupements étudiés. Ces résultats corroborent ceux de Aïtondji *et al.* (2015). En effet, selon Vidal (1966) ; Aïtondji *et al.* (2015), la prédominance des Phanérophytes est typique au climat tropical. Quant aux Thérophytes, leur prédominance traduit une adaptation aux forts régimes de perturbation (Grime, 1977, 1985 ; Shackleton, 2000 ; Bzdouk, 2009). Dans le cadre de cette étude, l'abondance des Thérophytes sur les sites de fréquentation saisonnière de l'hippopotame traduit une disponibilité d'aliments dans le milieu. En effet, l'hippopotame étant un brouteur sélectif (*grazers*) (Owen-Smith, 1992) avec une préférence pour les herbes vertes et courtes (environ 15 cm de hauteur) (Field, 1970; Field, 1972; Lock, 1972; Scotcher *et al.*, 1978; McCarthy *et al.*, 1998; Harrison *et al.*, 2007), son régime alimentaire se résume principalement aux Graminées et aux Cyperacées qui sont pour la plus part de Thérophytes. Néanmoins, les dicotylédones peuvent représenter une part importante de son alimentation (Boisserie *et al.*, 2005; Cerling *et al.*, 2008; Michez *et al.*, 2013).

Cette étude montre que les genres préférés de l'hippopotame comme *Desmodium*, *Hyparrhenia*, *Pennisetum* (Field, 1970; Olivier et Laurie, 1974; Scotcher *et al.*, 1978; Owen-Smith, 1992; Noirard *et al.*, 2004; Amoussou *et al.*, 2006; Chansa *et al.*, 2011b; Michez *et al.*, 2013) sont représentés dans le milieu et caractérisent les groupements G1 et G2. Cependant, on constate une absence d'un grand nombre de genres préférés de l'hippopotame dans le milieu. Il s'agit notamment des genres *Andropogon*, *Antheophora*, *Chloris*, *Commelina*, *Cyperus*, *Echinochloa*, *Eleusine*, *Heteropogon*, *Hyperthelia*, *Leersia*, *Panicum*, *Paspalum*, *Phragmites*, *Setaria*, *Sporobolus*. Il est possible que ce déficit alimentaire soit comblé par l'hippopotame dans les champs installés aux environs des sites de fréquentation. En effet, plusieurs cultures pratiquées dans les champs avoisinants la rivière Pendjari constituent des ressources alimentaires potentielles pour les hippopotames (Adounke *et al.*, 2020). Selon Sekhar (1998), lorsque les sources naturelles sont épuisées ou lorsque leur stade de maturité n'est pas optimal pour la consommation, les cultures peuvent être particulièrement attractives.

Tableau 1 : Synthèse des diversités spécifiques des différents groupements végétaux identifiés / Summary of specific diversity of plant group identified

Diversités spécifiques Groupements végétaux	Diversité des familles	Richesse spécifique	Indice de Shannon (bits)	Equitabilité de Pielou
G1	19	28	2,48	0,52
G2	15	29	4,18	0,86
G3	19	48	4,90	0,88

G1 : Groupement végétal à *Hyparrhenia involucrata* et *Pennisetum purpureum* ; G2 : Groupement végétal à *Vachellia sieberiana* et *Crotalaria retusa* ; G3 : Groupement végétal à *Desmodium gangeticum* et *Keetia venosa*.

Tableau 2 : Synthèse des types biologiques par groupement végétal / Summary of biological type for each group plant

Types biologiques Groupements végétaux	Phanérophytes	Chaméphytes	Hémicryptophytes	Thérophytes	Géophytes
G1	0%	17%	20%	50%	13%
G2	50%	18%	11%	13%	8%
G3	43%	09%	18%	23%	7%
Moyenne	31%	14,66%	16,33%	28,66%	9,33%

G1 : Groupement végétal à *Hyparrhenia involucrata* et *Pennisetum purpureum* ; G2 : Groupement végétal à *Vachellia sieberiana* et *Crotalaria retusa* ; G3 : Groupement végétal à *Desmodium gangeticum* et *Keetia venosa*.

Cerling *et al.* (2008) ; Kanga *et al.* (2012) ont trouvés aussi que le pâturage des hippopotames dans les champs s'explique principalement par le manque de pâturages naturels adéquats et l'opportunité d'accéder facilement à une alimentation alternative à faible toxicité qui est très nutritive.

4.3. Analyse des types phytogéographiques

Il ressort de l'analyse des graphes de l'ensemble des groupements étudiés que les espèces de type géographique Soudano-Guinéen et Soudano-Zambéziens sont les plus abondants dans le milieu suivi des types Soudaniens. Ces espèces sont typiquement caractéristiques des centres régionaux d'endémisme Soudanien, Zambézien et Guinéo-congolais. Dans le cadre de cette étude, ces résultats traduisent une forte colonisation des espèces endogènes du milieu d'étude et par conséquent une anthropisation relativement peu sévère et des sols peu dégradés. Ainsi, les conditions pédologiques du milieu sont relativement adéquates et ne favorisent pas l'abondance des espèces à large distribution géographique et des espèces rudérales. En effet une forte

abondance de ces derniers traduirait une dégradation et une perte de fertilité des sols (Djego & Sinsin, 2006 ; Toko & Sinsin, 2008).

5. Conclusion

L'étude de la caractérisation phytoécologique des habitats saisonniers fréquentés par l'hippopotame en milieu anthropisés au nord du Bénin a permis d'identifier les groupements végétaux et de faire une synthèse sur les différents types biologiques et phytogéographiques des groupements reconnus. Ainsi, trois principaux groupements végétaux ont été identifiés dans le milieu à partir de 50 relevés phytosociologique regroupant 61 espèces réparties dans 56 genres. Parmi les trois groupements identifiés, l'hippopotame a une préférence marquée pour les groupements à savane herbeuse et arborés caractérisés par les genres *Hyparrhenia*, *Pennisetum* et *Desmodium*. Par contre, on note une absence d'un grand nombre des genres préférés par l'hippopotame dans le milieu créant ainsi un déficit. Ce

déficit pourrait être comblé par les ressources alimentaires dans les champs situés dans le voisinage immédiat de l'habitat naturel et constitue une source de conflit entre les agriculteurs et l'hippopotame. Des aménagements doivent être effectués autour de la Rivière Pendjari pour restaurer les terres de parcours.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- Adounke M.G.R., Djagoun C.A.M.S, Kpéra G.N., Kassa B.D. (2020). Common hippopotamus distribution along the Pendjari River and local perceptions on human-hippopotamus conflict outside the Pendjari Reserve. Document Technique d'Information. Dépôt légal N° 12118 du 30/03/2020, 1er Trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin. ISBN: 978-99982-0-366-2.
- Aïtondji A. L. Toyi M. S. S. Kassa B. D. & Sinsin B. 2015. Caractéristiques floristiques, phytosociologiques et écologiques de la végétation des carrières en République du Bénin. Rev. Cames, 3 (2): 13-24.
- Amoussou K. M. 2002. Constitution d'une base de données biologiques, éco-éthologiques et socio-économiques sur les groupes d'hippopotames (*Hippopotamus amphibius*) isolés dans les terroirs villageois en zones humides: Cas du département du Mono/ Couffo au Bénin. Thèse d'ingénieur agronome /UAC/FSA/UNB, pp. 187.
- Amoussou K. A. Mensah G. A. & Sinsin B. 2006. Données biologiques, éco-éthologiques et socio-économiques sur les groupes d'hippopotames (*Hippopotamus amphibius*) isolés dans les terroirs villageois en zones humides des départements du Mono et du Couffo au Sud-Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin, 53: 22-35.
- Boisserie J.-R. Zazzo A. Merceron G. Blondel C. Vignaud P. Likius A. et al. 2005. Diets of modern and late Miocene hippopotamids: Evidence from carbon isotope composition and micro-wear of tooth enamel. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 221, (1-2): 153-174.
- Bzdouk G. 2009. Floristic diversity of gravel-pits of the Siedlce Plateau: an analysis of the flora. Annales Universitatis Mariae Curie Skłodowska Lublin-Polonia LXIV (1): 35-66.
- Cerling T.E. Harris J.M. Hart J.A. Kaleme, P. Klingel, H. Leakey M. G. et al. 2008. Stable isotope ecology of the common hippopotamus. Journal of Zoology, 276 (2): 204-212.
- Dibloni O. T. Vermeulen C. Guenda W. & Millogo N. A. 2010. Structure démographique et mouvements saisonniers des populations d'hippopotame commun, *Hippopotamus amphibius* Linné 1758 dans la zone Sud soudanienne du Burkina Faso, Tropical Conservation Science, 3 (2) : 175-189.
- Djègo J. & Sinsin B. 2006. Impact des espèces exotiques plantées sur la diversité des phytocénoses de leur sous-bois. Système Géographique 76 : 191-209.
- Dossou E.M. Houessou L.G. Lougbegnon T.O. & Codjia J.T.C. 2018. Common hippopotamus (*Hippopotamus amphibius*) habitat suitability modeling in Southwestern Benin. Annales de l'Université de Parakou Série « Sciences Naturelles et Agronomie », 8 (1) : 57-64.
- Eltringham S.K. 1993. The Common Hippopotamus (*Hippopotamus amphibius*) 161-171. In: Olivier, W.L.R. (Eds.), Pigs, Peccaries and Hippos: Status Survey and Action Plan. IUCN, Gland Switzerland,
- Field C.R. 1970. A study of the feeding habits of the hippopotamus (*Hippopotamus amphibius*) in the Queen Elizabeth National Park, Uganda, with some management implications. Zoologica Africana, 5 (1): 71-86.
- Field C.R. 1972. The food habits of wild ungulates in Uganda by analyses of stomach contents. African Journal of Ecology, 10 (1): 17-42.
- Frontier S. 1983. Stratégies d'Echantillonnage en Ecologie. Masson : Paris; 494 p.
- Gnanho J.B. 2008. Impacts environnementaux des systèmes culturels dans la commune d'Allada. Mémoire de maîtrise de géographie, FLASH/UAC, 90p.
- Grime J.P. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. American Naturalist 111: 1169-1194.
- Grime J.P. 1985. The C-S-R model of primary plant strategies - origins, implications and tests: 371-393. In: Gottlieb L.D. & Jain S.K. (eds), Plant Evolutionary Biology. Chapman and Hall, London & New-York.

- Harrison M.E. Kalindekaffe M.P. & Banda, B. 2007. The ecology of the hippopotamus in Liwonde National Park, Malawi: implications for management. *African Journal of Ecology*, 46: 507-514.
- Kanga E. M. Ogutu J.O. Piepho H.-P. & Olff H. 2012. Human-hippo conflicts in Kenya during 1997-2008: vulnerability of a megaherbivore to anthropogenic land use changes. *Journal of Land Use Science*, 7 (4): 395-406.
- Kakpo G.F.M. 2018. Conservation de l'hippopotame commun *Hippopotamus amphibius* (Linnaeus, 1758) en zone anthropisée : habitats et relations avec les communautés locales de Peporyacou au Nord-Ouest du Bénin. Mémoire de Master Professionnel. EAGE/FSA/UAC, Bénin. 40 p + Annexes
- Kingdom J. 1997. The Kingdom Field Guide to African Mammals. Academic Press:
- Kpetere J. 2009. Valorisation écotouristique des mares aux hippopotames d'Affon : Forêt classée de l'Ouémé Supérieur (Bénin). Mémoire de fin de cycle B. Ecole de faune, Garoua, Cameroun. 85p.
- Kpetere J. Nago S.G.A. Natta A. K., Houessou L. & Keita N. T. 2015. Connaissances ethnozoologiques et importance de l'hippopotame commun (*Hippopotamus amphibius*) pour les populations du Nord Est Bénin : Implication pour sa conservation et sa valorisation durable. *Annales de l'Université de Parakou* 5 (1): 54-67.
- Lock J.M. 1972. The Effects of Hippopotamus Grazing on Grasslands. *Journal of Ecology*, 60 (2) : 445-467.
- Loughégnon T. 2003. Le rôle de l'habitat sur la diversité de la faune avienne dans la zone subéquatoriale du sud-Bénin. Mémoire de DEA en Gestion de l'Environnement, FLASH UAC, Bénin, 105 p.
- McCarthy T.S. Ellery W.N. & Bloem, A. 1998. Some observations on the geomorphological impact of hippopotamus (*Hippopotamus amphibius*) in the Okavango Delata, Botswana. *African Journal of Ecology*, 36: 44-56.
- Michez A. Doucet J.-L. Dendoncker N. Bouché P. & Vermeulen C. 2013. Preliminary description of the diet of *Hippopotamus amphibius* L. in Loango National Park (Gabon). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 17 (4): 580-583.
- Mul M. Obuobie E. Appoh R. Kankam-Yeboah K. Bokoe-Obeng E. Amisigo B. *et al.* 2015. Water resources assessment of the Volta River basin. IWMI Working Paper 166. International Water Management Institute, Colombo.
- Neuenschwander P. Sinsin B. & Goergen G. (eds). 2011. *Nature Conservation in West Africa: Red List for Benin*. Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 3645 p.
- Noirard C., Le Berre M. Ramousse R. Sépulcre C. & Joly P. 2004. Diets of sympatric hippopotamus (*Hippopotamus amphibius*) and zebu (*Bos indicus*) during the dry season in the "W" National Park (Niger Republic). *Game and Wildlife Science*, 21 (3): 423-431.
- Olivier R.C.D. & Laurie W.A. 1974. Habitat utilization by hippopotamus in the Mara River. *East African Wildlife Journal*, 12: 248-271.
- Owen-Smith R.N. 1992. *The Influence of Very Large Body Size on Ecology*. 2e édition, Cambridge, Cambridge University Press, 388 p.
- PAMF 2006. Plan d'Aménagement Participatif du complexe des forêts classées de Wari-Marou et des Monts Kouffè. Projet d'Aménagement des Massifs Forestiers d'Agoua, des Monts Kouffè et de Wari-Marou, 242p.
- Programme de Gestion des Forêts et Terroirs Riverains (PGFTR). 2007. Aménagement de la mare aux hippopotames de Affon et du circuit des éléphants des forêts classées de Goungoun et de Sota; Rapport de la mission d'évaluation, DGFRN /MEPN Cotonou Bénin, 27p.
- Programme de Gestion des Forêts et Terroirs Riverains (PGFTR). 2010. Plan d'aménagement participatif de la Forêt Classée des Trois Rivières 2010 - 2019 / MEHU/ DGFRN, 93p.
- Raunkiaer C. 1934. *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Clarendon Press: Oxford.
- Scotcher J.S.B. Stewart D.R.M. & Breen C.M. 1978. The diet of the hippopotamus in Ndumu Game Reserve, Natal, as determined by faecal analysis. *South African Journal of Wildlife Research*, 8: 1-11.
- Shackleton C. 2000. Comparison of plant diversity in protected and communal lands in the Bushbuckridge lowveld savana, South Africa. *Biological Conservation* 94: 273-85.
- Sinsin B. Hessou C. Houessou L. Niyonkuru C. Loughégnon T. & Mama A. 2004. Evaluation de la diversité biologique des zones d'intervention du programme de gestion des forêts et terroirs riverains. Rapport de synthèse PGFTR / MAEP Cotonou, Bénin, 81p.

- Toko I. & Sinsin B. 2008. Les phénomènes d'érosion et d'effondrement naturels des sols (dongas) du Parc national du W et leur impact sur la productivité des pâturages. *Sécheresse*, 19 (3): 193-200.
- Vidal J.E. 1966. Types biologiques dans la végétation forestière du Laos. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 113 : 197-203, DOI: 10.1080/00378941.1966.10838487.
- White F. 1986. *La Végétation d'Afrique*. Mémoire accompagnant la carte de la végétation de l'Afrique. UNESCO/ AETFA/UNSO, ORSTOM-UNESCO, 384p.



Déterminants socio-techniques de la faible production des variétés de semences améliorées dans la commune de Banfora, Burkina Faso

Tionyéfé FAYAMA¹, Alkassoum MAIGA²

¹ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Département Gestion de Ressources Naturelles/Systèmes de Productions-Ouest, Farakô-ba, Laboratoire de Recherche "Genre et Développement", Département de Sociologie, Université Joseph KI-Zerbo, BP : 910, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

² Enseignant Chercheur, Département de Sociologie, Université Joseph KI-Zerbo, Laboratoire de Recherche "Genre et Développement", BP : 7021, Ouagadougou, Burkina Faso

Reçu le 3 Octobre 2019 - Accepté le 20 Juin 2020

Sociotechnical determinants of the low production of improved seed varieties in the district of Banfora, Burkina Faso

Abstract: Agricultural intensification based on improved seeds in Burkina Faso has led to the development of an important cereal technological package by agricultural research. These new varieties, which are intended to increase production in order to meet the food security needs of the population and at the same time provide a response to the adverse effects of climate change, are facing adoption problems among producers. This article tries to understand and explain the logics of farmers who slow down the adoption of these findings in the municipality of Banfora, especially those related to the technical production routes, through a socio-anthropological view of the practices of farmers. It does not exclude to apprehend the social logics which also govern the choice of the farmers in front of the varieties of improved seeds. A quantitative and qualitative method was used and data were collected from questionnaires and semi-directive interviews in the villages concerned and technical structures and research. The literature search was also combined to capture what already existed and refine the analysis. Quantitative data were processed and subjected to statistical analysis and qualitative data were processed and analyzed according to the content analysis. Field survey data, after analysis, show that the lack of mastery of the technical itineraries and the perceptions that farmers have of innovation strongly explain the weakness of production of these improved varieties. Admittedly, these indexed factors can not sufficiently explain the low appropriation of agricultural innovations in general, but remain rather decisive in the district of Banfora specifically in terms of results, although this reluctance of farmers is an overall of factors.

Keywords: Agricultural innovation, adoption, farmer's perception, technical routes, technological package, agricultural intensification, Burkina Faso.

Résumé : L'intensification agricole basée sur les semences améliorées a abouti au Burkina Faso à la mise au point par la recherche agronomique d'un important paquet technologique de céréales. Ces nouvelles variétés qui ont pour but d'accroître la production afin de répondre aux besoins de sécurité alimentaire des populations et constituer en même temps une réponse aux effets adverses du climat, rencontrent des problèmes d'adoption chez les producteurs. Cet article tente de comprendre et d'expliquer les logiques paysannes qui freinent l'adoption de ces trouvailles dans la commune de Banfora, en particulier celles liées aux itinéraires techniques de production, à travers un regard socio-anthropologique sur les pratiques des paysans. Il n'exclut pas d'appréhender les logiques sociales qui gouvernent également le choix des paysans face aux variétés de semences améliorées. Une méthode à la fois quantitative et qualitative a ainsi été mise à profit et les données ont été collectées à partir de la passation de questionnaires et d'entretiens semi-directifs dans les villages concernés et les structures techniques

et la recherche. La recherche documentaire a également été associée pour saisir l'existant et peaufiner l'analyse. Les données quantitatives ont été traitées et soumises à une analyse statistique et celles qualitatives ont été traitées et analysées selon l'analyse de contenu. Les données d'enquêtes-terrain, après analyse, montrent que la non-maîtrise des itinéraires techniques et les perceptions que les paysans ont de l'innovation, expliquent fortement la faiblesse de production de ces variétés améliorées. Certes, ces facteurs indexés ne peuvent suffisamment pas expliquer la faible appropriation des innovations agricoles mais restent aussi déterminants pour comprendre la réticence des paysans dans la commune de Banfora.

Mots clés: Itinéraire technique, innovation agricole, adoption, perceptions paysannes, logiques paysannes, paquet technologique, intensification agricole, Burkina Faso.

1. Introduction

L'agriculture burkinabè est caractérisée par une faible mécanisation. Elle utilise très peu d'intrants dans les systèmes de production bien qu'elle soit le moteur de l'économie. Les performances de cette activité agricole dépendent fortement des facteurs climatiques et pluviométriques qui, de nos jours, apparaissent capricieuses. (Fayama et Maïga, 2017). Cette situation s'est également dégradée ces dernières décennies avec la pression sur les ressources en terre combinée aux effets des nuisibles et/ou maladies comme le *Striga hermonthica* (Sanou, 2011 ; DGPÉR-LAME, 2013). Les performances des variétés traditionnelles ont aussitôt diminué et les paysans ont en conséquence vu leur capacité de productivité agricole affaiblie.

Pour faire face à cette situation, l'Etat burkinabè à travers la recherche agricole et environnementale et les partenaires au développement, a mis au point un programme de développement variétal depuis les années 1960 qui connaîtra son fonctionnement effectif à partir des années 2006 (Pémou, 2017). L'accent est donc mis sur l'amélioration des performances des semences pour combler le gap de productivité constaté au niveau des variétés traditionnelles. Ainsi, une gamme variée de semences améliorées, à haute teneur de rendement a été mise à la disposition des producteurs (Fayama et Maïga, 20017). Depuis lors des campagnes de distributions de semences se font chaque année à travers les structures de vulgarisation. (Africa verte, 2010 ; Pémou, 2017). Ces variétés de semences améliorées rencontrent aujourd'hui des problèmes d'adoption par les producteurs. Des études (Vom Brocke, 2008 ; Vom Brocke *et al.* 2008 ; Vom Brocke *et al.* 2010 ; Weltzien *et al.* 2008 ; UEMOA, 2014 ; Fayama et Maïga, 2017) ont relevé la faiblesse de leur taux d'adoption au niveau national. Il est estimé à 8,4% selon les conclusions des travaux de Vom Brocke *et al.* (2008). Ce taux bien qu'il ait été re-

levé à 15% en 2013 au niveau national selon la Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles (PNVACA, 2016) demeure toujours faible et en deçà des attentes des chercheurs. Les variétés locales dominent avec surtout le sorgho rouge et blanc malgré cette diversité de variétés que les sélectionneurs leur offrent (Vom Brocke *et al.* 2008 ; CEF COD, 2013 ; MAFAP, 2013). Ce qui fonde notre réflexion sur les éventuels facteurs qui freinent l'appropriation de ces trouvaillles au niveau des utilisateurs. Cette réflexion est d'autant plus fondée, dans la mesure où, malgré cette pluralité de variétés améliorées, le constat du faible niveau d'adoption est toujours prégnant.

Pour comprendre ce phénomène dans la commune rurale de Banfora, nous sommes partis de l'hypothèse que la faible adoption des variétés céréalières (maïs, sorgho, mil et riz) de semences améliorées par les producteurs, s'explique par la combinaison d'un certain nombre de facteurs parmi lesquels, on note :

« i) les facteurs socio-culturels (perceptions, culture, habitudes alimentaires) ; ii) les facteurs technico-économiques (coût de production, non maîtrise des itinéraires techniques de production) ; les facteurs d'ordre communicationnel (méconnaissance des variétés, améliorées, manque d'information) ; iii) les facteurs politiques (faible accompagnement du monde paysan) ; iv) les facteurs liés à l'approche paysanne (la sélection participative, les méthodes de diffusion et de vulgarisation, liaison recherche, vulgarisation et producteur ».

(Fayama et Maïga 2017, p. 12).

C'est ainsi qu'à travers la présente étude, nous nous penchons particulièrement sur les déterminants socio-techniques qui freinent l'adoption des variétés améliorées, quoi que probants au niveau de la recherche. Les résultats des travaux de terrain révèlent que la commune rurale de Banfora, se caractérise par une faible appropriation des variétés de semences améliorées, interpellant la classe politique et les acteurs de développement.

* Auteur Correspondant : tionyele@yahoo.fr

Copyright © 2020 Université de Parakou, Bénin

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Les travaux de recherche se sont déroulés dans la commune rurale de Banfora, située à l'extrême sud-ouest du Burkina Faso.

La production des données a été essentiellement basée sur la méthode mixte qui préconise à la fois des outils quantitatifs et qualitatifs. Elle a concerné un échantillon de 09 villages tirés parmi les 22 villages que compte la commune plus le centre de la ville de Banfora. Un questionnaire et un guide d'entretien ont donc été élaborés à cet effet, et administrés aux acteurs en tenant compte de leur répartition catégorielle. Le questionnaire a été administré à un échantillon de 270 producteurs de céréales de consommation, et le guide d'entretien à 68 personnes ressources comprenant les chercheurs, les ONG, les responsables des structures techniques du ministère de l'agriculture et des aménagements hydrauliques, les responsables du système semencier, les firmes et structures de multiplication de semences certifiées, les associations de transformatrices des céréales, les autorités coutumières et religieuses, les traditionnalistes. Les données collectées ont été analy-

sées suivant l'analyse de contenu (Bardin, 2003) ; Leray, 2008) en ce qui concerne les entretiens. Cette méthode permet de classifier et de codifier plusieurs éléments du matériel analysé dans le but de mieux connaître les caractéristiques et la signification en profondeur des propos recueillis sur le terrain. Pour ce qui est des questionnaires, nous avons procédé à l'analyse statistique. Une analyse documentaire a également été mise à profit pour étayer les résultats des enquêtes-terrain. Soumis au modèle d'analyse socio-anthropologique, cette étude combine à la fois l'analyse statistique (Somda, 2014) et l'analyse du contenu ci-dessus indiquée, une méthode de classification et de codification de plusieurs éléments du matériel analysé, afin de mieux comprendre les caractéristiques et le sens. Dans le domaine de l'analyse statistique, Somda (2014, p. 5) a un " processus d'examen et d'interprétation des données pour élaborer des réponses aux questions ". Ensemble de techniques descriptives, dont le principal outil mathématique est l'algèbre matricielle. Ces statistiques sont utilisées pour décrire la position, la dispersion, le rythme des populations étudiées. L'analyse statistique ne se réduit donc pas à une série de calculs, même justes et justifiés " .

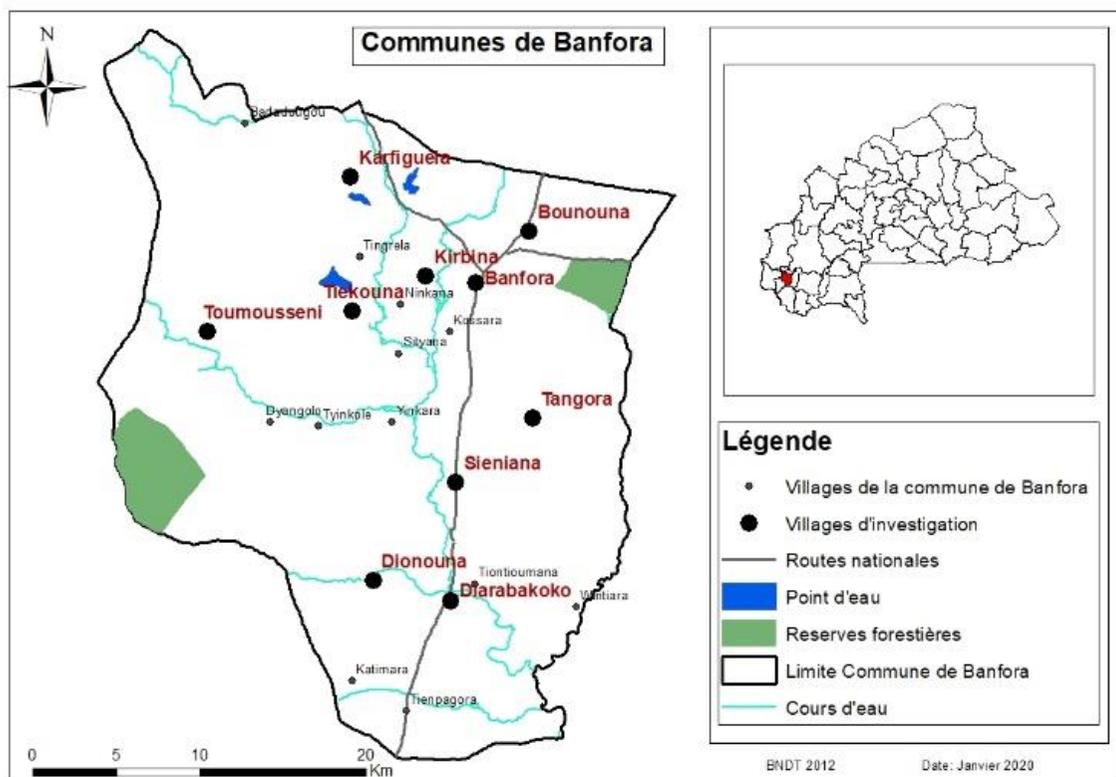


Figure 1 : Situation géographique des villages de la commune de Banfora

Figure 1: Geographical location of the villages in the municipality of Banfora

Ce travail s'inscrit dans la théorie globale de la sociologie de la traduction et la sociologie de l'innovation. Dans le système de transfert de technologies vers les utilisateurs, cette réflexion semble apporter des éclairages significatifs au moment où l'on parle de « priorités de terrain » et de « transfert des innovations » par rapport à une dynamique de changement où les controverses sont vivaces comme nous l'enseigne L'homme et Fleury (1999, p. 6). Le mérite revient aux deux cofondateurs de cette approche des innovations à savoir Michel Callon et Bruno Latour. Pour ces auteurs, la notion de traduction, nous permet « d'échapper aux sphères, aux institutions, qui ont des frontières claires, découpées... Elle permet de comprendre comment des aidés et des aidants se concèdent, se lient et s'intéressent les uns aux autres ». Dans le domaine d'adoption des innovations agricoles, le chercheur qui met au point son innovation (variété de semence améliorée dans le cadre de ce travail), doit rentrer en contact avec l'utilisateur qui, lui, ne maîtrise pas forcément le langage du chercheur. Il naît donc une relation entre les deux qui peuvent conduire à l'acceptation systématique de la technologie ou pas par l'entremise du code de la traduction dont parle ces auteurs. Pour ces derniers, « le contenu de la prestation qui est offerte, il faut évidemment que le prestataire interagisse avec l'utilisateur. Et pas seulement avec l'utilisateur, mais aussi avec tous les aidés qui encadrent, influencent l'utilisateur » (L'homme et Fleury, 1999, p. 9).

En effet, il existe une relation immédiate et constante entre « la galaxie des utilisateurs et la galaxie des producteurs de la prestation de service ». Cette relation permanente existante entre les prestataires et les bénéficiaires, a de fortes chances de faire surgir en permanence des innovations. Cependant, ces innovations ne deviennent visibles, capitalisables, que si des procédures de formalisation et de collecte sont mises en place.

« Il faut faire circuler tout cela, le rendre visible, communicable, de telle sorte que l'innovation locale soit pillée, utilisée par d'autres, dans des contextes différents, ce qui nécessite des adaptations. À partir du moment où il y a une « mise en visibilité » des innovations locales ainsi qu'une présentation et discussion de ces innovations, on peut dire que l'organisation est innovante. Des solutions qui se sont avérées efficaces dans un endroit, peuvent être transposées en un autre endroit ». (L'homme et Fleury, 1999, p. 9).

3. Résultats

Les résultats des enquêtes-terrain font état de quelques facteurs explicatifs de la faible production des variétés de semences améliorées par les producteurs de la commune rurale de Banfora. Les facteurs sociotechniques ont donc fait l'objet de diagnostic.

3.1. L'adoption des semences améliorées passe nécessairement par la maîtrise des itinéraires techniques

Selon les sélectionneurs de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, la production des semences améliorées est très exigeante et recommande une maîtrise des itinéraires techniques chez les producteurs. Avant d'aborder les déterminants de la faible production des variétés de semences améliorées dans la commune rurale de Banfora, que recouvre la notion d'itinéraire technique ?

3.1.1. De la compréhension du concept d'itinéraire technique et de l'amélioration variétale

Les itinéraires techniques renferment l'ensemble des directives de production des variétés améliorées. Pour Vom Brocke (2008), l'itinéraire technique consiste à :

- respecter la date de semis indiquée sur la fiche technique ;
- prendre en compte les conditions locales (date d'arrivée et quantité des pluies),
- préparer le sol ;
- labourer en terrain humide (traction animale ou motorisée) ;
- respecter la profondeur du labour, les doses de fertilisants (fumure organique, compost ou de fumier d'animaux à répartir uniformément dans le champ) ;
- respecter la fertilisation minérale recommandée pour chaque région sur la fiche technique ;
- utiliser des semences traitées par un fongicide insecticide, semer en ligne et dans de bonnes conditions, c'est-à-dire avec assez d'humidité pour éviter d'avoir à ressemer ;
- adopter un écartement de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets ;
- procéder au démarrage des plants ;
- procéder à l'entretien du champ, en cas d'attaque et si l'attaque est sévère ;
- faire appel à un traitement phytosanitaire, protéger les plantes contre les attaques d'oiseaux et la divagation des animaux ;
- procéder au sarclage et un buttage à la montaison après le semis pour éviter la verse et à retenir l'eau dans le champ.

Pour l'auteur, la maîtrise de ces itinéraires techniques permet de mesurer la performance des semences et peut favoriser l'adoption de la nouvelle variété.

Le concept en lui-même n'exclut-il pas dans son contenu, la majeure partie des agriculteurs familiaux, lorsqu'on sait qu'au Burkina Faso, ces derniers occupent d'une part, une place assez importante, mais aussi

et surtout, se caractérisent par un fort taux d'analphabétisme ?

En marge de la compréhension techniciste du concept d'itinéraire technique que propose la recherche par le biais du conseil d'appui agricole, les producteurs ont une compréhension toute différente des itinéraires techniques. Pour le producteur, les itinéraires techniques sont le produit de l'école.

Le mécanisme du conseil agricole mis en œuvre au Burkina Faso prend source depuis le niveau central jusqu'aux collectivités territoriales. Les variétés améliorées sont proposées par les chercheurs, transférées au niveau des agents de l'agriculture pour diffusion au niveau des producteurs avec une absence d'interaction entre les trois maillons de la chaîne. Les protocoles sont donc élaborés au niveau central pour être transférées au niveau des directions régionales, qui à leur tour les acheminent aux directions provinciales pour leur application avec les producteurs qui sont réduits aux simples bénéficiaires sans implication véritables. Ces protocoles et fiches techniques sont rédigés en français et non dans la langue locale pendant que les récepteurs de ces technologies sont quasiment non instruits. Bien que l'Etat tente de rattraper ce volet par l'affectation des agents d'unité technique du milieu, ils sont en nombre insuffisant. Du reste on note que les perceptions que les populations agricoles ont des semences améliorées et des itinéraires techniques influence négativement l'appropriation des semences améliorées.

En plus, un point fait sur le dispositif du conseil d'appui agricole de Banfora fait état de 9 chefs Zone d'Appui Technique dont deux cumulant le poste d'agent d'Unité d'Animation Technique, 21 agents d'Unité d'Animation Technique en poste dont 23 d'Unité d'Agriculture Technique fonctionnelles, 1 chef de plaine, 4 agents de plaine et 6 UAT vacantes (MAAH, 2016.). Ce dispositif n'est pas à même de satisfaire les besoins des producteurs en matière de couverture et d'encadrement technique.

Outre ce fait, les producteurs ont une perception assez négative des variétés améliorées introduites. Les producteurs. Pour eux, comment peut-on "fabriquer" une semence à cycle court. Ce producteur de variétés traditionnel à Bounouna, utilise le terme "OGM" pour désigner les trouvailles des chercheurs et pour lui, ces variétés ne sont pas sans conséquences sur la santé humaine.

« *Ce sont ces fabrications-là qui créent toute sorte de maladie maintenant et on ne sait pas d'où ça vient. On bombarde avec les engrais, les pesticides pour que ça produise vite. Vous voyez les enfants aujourd'hui, quand ils naissent, vous les voyez ils grandissent sans arrêt mais aucune force, quand tu les pousses, ils tombent, il ne peut même pas attraper une bonne daba. Tous les enfants aujourd'hui sont faibles, faibles comme ça. Moi je ne suis pas un commerçant, je préfère*

ma semence traditionnelle que j'ai eue avec mes parents ». [Soulama Sôrômandi, chef de village de Bounouna, entretien réalisé le 27/08/2016].

La perception que les producteurs ont de l'amélioration variétale (comme par exemple quelque chose de mauvais) les empêche de produire les nouvelles variétés.

La perception que le chercheur a de la semence, est contraire à celle que le paysan a de la semence. Tous parlent de la même chose sans pour autant dire la même chose. La différence est beaucoup plus liée à la culture. On note donc une opposition entre culture et science. Pour le chercheur, l'objectif est d'arriver à améliorer le substrat sans pour autant penser à sa réception, alors que le paysan se situe dans un registre de croyance. Le paysan conçoit mal qu'on achète de la semence, lorsqu'on sait les rituels qui codifient la semence. Pour lui, même donner sa semence à une tierce personne, s'il n'a pas encore fini de semer, c'est emporter sa productivité. Il ne donnera que de la semence à une tierce personne que si et seulement si, lui-même, a fini de semer et qu'il en reste, sinon il enlèvera dans le grenier pour ce dernier, c'est-à-dire de la céréale de consommation qui n'était pas réservée pour être utilisée comme semence mais pour être consommée.

3.1.2. Pour produire la semence améliorée, faut-il nécessairement avoir été à l'Ecole ?

Les enquêtés interrogés sur la maîtrise des itinéraires techniques de ces variétés dans la commune rurale de Banfora traduisent leurs difficultés à s'adapter à ces directives de production qu'ils jugent assez académiques. Certains producteurs optent pour l'abstention, face aux nouveautés dont la maîtrise des itinéraires techniques leur est impossible, passant ainsi, leurs, cet adage de précaution qui soutient que « *mieux vaut être seul que d'être mal accompagné* ». Ceci pourrait expliquer certaines réticences quant à l'adoption des variétés améliorées.

Les chercheurs reconnaissent les exigences de production des variétés améliorées mais pensent que c'est la rentabilité qui doit attirer le producteur et non les coûts de production. Pour le chef de Programme Gestion des Ressources Naturelles et Systèmes de Production :

« *Les variétés améliorées céréalières de façon générale et plus particulièrement le maïs, sont très exigeantes en matière de production ; et si ce n'est pas bien suivie, vous récoltez les pots cassés. Pour une variété de maïs mal suivie, vous ne récoltez rien* ». [Souleymane OUEDRAOGO, chercheur, Zootechnicien, entretien du 22/07/2016].

Pour lui, lorsque vous suivez bien les itinéraires techniques associées aux conditions pluviométriques acceptables, vous obtenez des bénéfices quel que soit le coût de production.

La figure 2 ci-dessous révèle que seulement 13,8% des producteurs pensent que les itinéraires techniques ne constituent pas un frein à l'adoption, contrairement à 38 % de producteurs qui pensent qu'ils le sont et le reste des enquêtés soit 48,2% n'ont pas émis d'opinions.

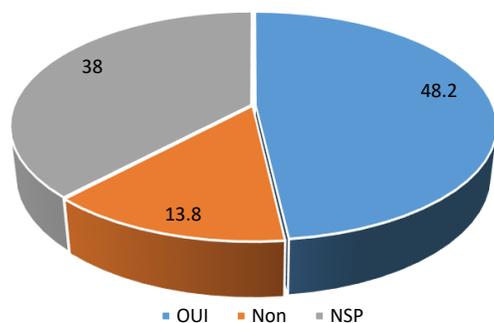


Figure 2 : Point de vue des producteurs sur l'exigence des Itinéraires techniques (Source : données de terrain, 2016)

Figure 2: Producers' point of view on the requirement for Technical Routes (Source: field data, 2016)

En effet, les itinéraires techniques de production des variétés améliorées ne sont pas facilement maîtrisables par les producteurs. La situation est assez critique déclare un producteur semencier de Toumousseni : « *Même ceux qui ont fait le papier n'arrivent pas à suivre ces conseils des encadreurs, ce n'est pas nous autres là* ». [Moustapha OUATTARA, entretien du 29/08/2016].

3.1.3. De la responsabilité des acteurs

Dans les normes, l'achat d'une variété améliorée est toujours accompagné d'une fiche technique élaborée par le sélectionneur pour les directives de production. Pour un autre producteur (Dionouna, non adoptant), « *Les variétés améliorées sont l'affaire de blanc. Je veux dire de ceux qui ont fait l'école* ». À contrario, certains agents du réseau d'encadrement des producteurs pensent que les producteurs refusent délibérément de suivre les recommandations de production. Pour l'agent de l'Unité d'Appui Technique(UAT) de Diarabakoko,

« *Les paysans ne veulent pas suivre les itinéraires techniques. Ils trouvent toujours des moyens pour contourner, soit ils n'appliquent pas les engrais comme il faut et le peu qu'ils mettent, il y a beaucoup de perte. C'est évident que les rendements ne seront pas bons* ». [Mariam PARE/OUATTARA, agent technique d'agriculture, entretien du 18/02/2016].

Les contraintes techniques expliquent en partie donc le refus d'adopter les variétés améliorées. Vous pouvez être convaincu de la rentabilité et de la nécessité d'aller vers les variétés améliorées, vous inscrire dans le système, mais vous ne durez pas parce que vous faites face à des contraintes. L'exigence technique de production de variétés améliorées (respect des doses Fumure Organique, Élément Minéraux, Pesticides, renouvellement de la semence) comme l'a souligné le chef de Zone d'Appui Technique (ZAT) empêche un bon nombre de producteurs à adopter ces trouvailles. Ce qui traduit la méconnaissance des variétés par les producteurs.

Un autre facteur non moins négligeable est celui de la qualité des semences. Pour le point focal du Programme National de Vulgarisation (PNVACA), tout n'est pas lié à l'itinéraire technique ou à l'exigence de la semence en engrais.

« *On ne peut pas semer de l'ivraie et attendre quelque chose. Les paysans achètent les semences de partout même sur la place du marché, vous convenez avec moi que ce n'est pas forcément de la qualité. Beaucoup ont essayé la variété de maïs komsaya et Bondofa à Diarabakoko et Tengrela maïs ils n'ont rien récolté et ce qui les a découragés. Et nous aussi, tu ne peux pas défendre l'indéfendable, aller défendre la qualité d'une semence dont tu ignores la provenance ? Non... c'est assez compliqué* ». [Nadège Y. C. SANOU/KAM, ingénieur en vulgarisation, entretien du 29/08/2016].

Pour ce facilitateur en milieu paysan et producteur de semences améliorées, la qualité de la semence peut poser certes, un problème mais il fait reconnaître dit-il que, « *les itinéraires techniques de production ne sont pas maîtrisés à cause du taux trop élevé d'analphabétisme* ».

La faible vulgarisation des semences améliorées (sensibilisation/information, appui-conseil à la production) est un facteur important et est à l'origine également de la non-adoption des variétés améliorées. Pour le point focal du Programme National de Vulgarisation et d'Appui Conseil Agricole :

« *Nous ne sommes pas associés dans beaucoup de cas aux travaux des chercheurs. Vous savez que les protocoles pour la vulgarisation sont proposés depuis le centre pour nous les acheminer à Banfora ici alors que ceux qui les conçoivent sont des ingénieurs comme nous. Souvent tu prends le protocole, tu trouves que ce n'est pas adapté, tu fais comment. Il faut par moment les retourner avec des amendements qui ne sont pas toujours pris en compte. Les agents de vulgarisation sont souvent dépassés par les choses, ce qui fait souvent que le travail n'est pas bien fait* ». [Nadège Y. C. SANOU/KAM, ingénieur en vulgarisation, entretien du 29/08/2016].

Pour le chef de l'équipe des sélectionneurs céréales de l'INERA-Farakoba, « *Certaines de nos variétés ont*

été envoyées pour diffusion au niveau de l'agriculture et les agents de vulgarisation ont pris les semences mais ne l'ont jamais fait ». [Dr Jacob SANOU, sélectionneur plantes, entretien du 02/08/2016].

Ce qui peut être une réponse à la non-implication des ingénieurs de conception en vulgarisation dans l'élaboration des protocoles évoqué par le point focal PNVACA.

3.1.4. Des agents de vulgarisation mal lotis

L'équipe de vulgarisation rencontrée a lié cette faible adoption des variétés aux difficultés que connaissent les agents. Ils soulignent en bloc les problèmes de déplacements, de carburant et l'insuffisance des agents de terrain pour couvrir les zones qui leur sont confiées. Le travail n'est pas bien couvert, bien exécuté. Pour ce qui concerne également ces variétés, la non collaboration entre les chercheurs et la vulgarisation constitue un frein à l'adoption. Certains producteurs ont en effet, témoigné cette absence de la vulgarisation sur le terrain. C'est le cas des producteurs de Bounouna, de Kiribina, de Tengrela et de Simiena qui reçoivent à peine ou presque pas les agents du réseau d'encadrement. Certains disent ne pas appartenir au Burkina Faso à travers des propos définis comme suit :

« On nous a complètement laissé tomber, aucun agent ne passe ici, il y avait une dame qui venait entre temps mais l'année passée et cette année, elle ne vient plus mais si on ne fait plus partie des producteurs du Burkina, qu'on nous le dise. Comment on peut maîtriser les nouvelles techniques de productions. Ce n'est pas possible ».

3.2. De l'adoption des variétés améliorées, une affaire d'éducation

Les adoptants sont guidés le plus souvent par leur niveau de connaissance et de compréhension des innovations. En ce qui concerne les variétés améliorées dans la commune de Banfora, le niveau d'instruction joue fortement sa partition dans les décisions des producteurs. La figure 3 ci-dessous présentée, indique que seulement 31% des adoptants n'ont aucun niveau d'instruction et le reste (69 %) est instruit d'une manière ou d'une autre à des niveaux différents. 27% des adoptants ont un niveau secondaire, 23% ont un niveau primaire, 13% sont alphabétisés et 6% ont un niveau coranique. Le choix d'adopter est donc fortement lié au niveau d'instruction du chef de ménage qui est garant de l'exploitation.

A l'analyse des données de la figure 3, on peut conclure que le niveau d'instruction se révèle un facteur déterminant dans le processus d'adoption. Au regard donc des résultats du graphique, nous pouvons admettre avec les producteurs que le niveau d'instruction est un facteur assez essentiel dans les décisions d'adoption des innovations agricoles céréalières. En dehors du niveau d'instruction, l'âge des producteurs influence également

dans la décision d'adopter. Mais qu'est ce qui explique cet état de fait ?

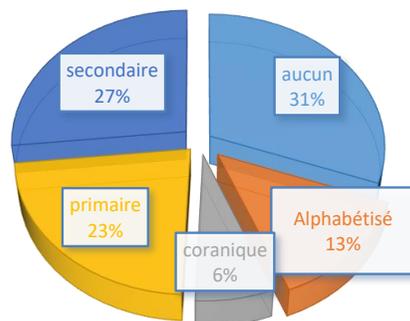


Figure 3 : Corrélation entre le niveau d'instruction et la décision d'adoption (Source : données de terrain, 2016)

Figure 3: Correlation between the level of education and the adoption decision (Source: field data, 2016)

3.3. L'âge, une variable explicative de la décision d'adoption

La figure 4 ci-dessous traduit les tranches d'âges des adoptants. L'intervalle d'âge renseigné, est un facteur qui influence sur la décision d'adopter. En effet, parmi les adoptants 8% de producteurs ont moins de 30 ans, 24% ont plus de 50 ans et essentiellement 68% ont un âge compris entre 30 et 50 ans.

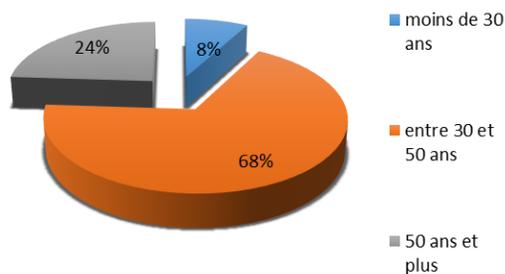


Figure 4 : Pourcentage des adoptants en fonction de l'âge (Source : données de terrain, 2016)

Figure 4: Percentage of adopters by age (Source: field data, 2016)

Une analyse de la figure 4 permet de dire que les producteurs âgés de 50 ans et plus, ne produisent pas les variétés améliorées. Ils ont toujours gardé les variétés traditionnelles bien que les rendements ne soient pas performants pour raisons de pauvreté des sols et des poches de sécheresses, effets des changements climatiques. Cette corrélation entre l'âge et la décision d'adopter, montre que ces derniers sont assez réticents quant à l'adoption des variétés améliorées, tandis que

ceux dont l'âge est inférieur à 50 ans s'y intéressent sensiblement. Par conséquent, la variable âge a une influence sur la décision d'adopter. Si la variable âge a un impact sur la décision d'adoption des semences améliorées, peut-on en dire autant de la variable sexe ?

3.4. Le choix des spéculations à produire par le ménage est la seule volonté des hommes

La majorité des personnes enquêtées soit 85,5% de la population, est masculine contre 14,1% d'enquêtées de sexe féminin. Cette disparité montre que la culture de céréales est l'apanage des chefs de ménages, donc des hommes. Les femmes s'adonnent plus aux oléagineux et légumineuses. La décision de produire revient plus aux hommes dans les ménages et donc l'adoption s'explique par la décision du chef de ménage. Il y a une répartition de la production entre l'homme et la femme dans la commune de Banfora. En effet, en matière de productions céréalières, les femmes ne s'intéressent qu'au riz et les autres spéculations reviennent aux hommes. Les raisons avancées par les aînés se résument aux idées conservatrices de la tradition, à la place d'assistante de l'homme dans la famille et au rôle de reproduction de la femme, contrairement à celui de production de l'homme dans la société.

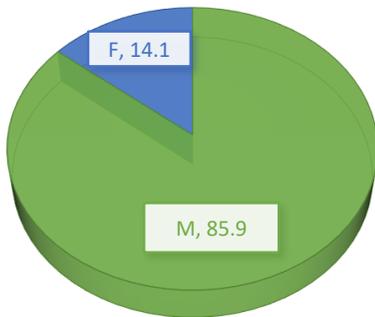


Figure 5 : Répartition des enquêtés en fonction du sexe (Source : données de terrain, 2016)

Figure 5: Distribution of respondents by sex (Source: field data, 2016)

Au delà des variables analysées plus haut, est-il possible d'établir une corrélation entre la religion pratiquée par un paysan et sa décision d'adopter les variétés améliorées ?

3.5. Corrélation entre décision d'adoption et religion dans la commune de Banfora

La figure 6 indique que la majorité des personnes enquêtées soit 65,7%, sont de la religion d'animiste contre respectivement 25,7%, de musulmans et 8,6% de chrétiens. Cette variable religion a une influence sur la décision d'adopter ou non les variétés de semences améliorées. Ces producteurs, majoritairement animistes, ont des croyances qui s'exercent contre la décision

d'adopter. L'ancrage culturel exerce une influence qui fait que les enquêtés sont réticents à l'adoption de ces variétés.

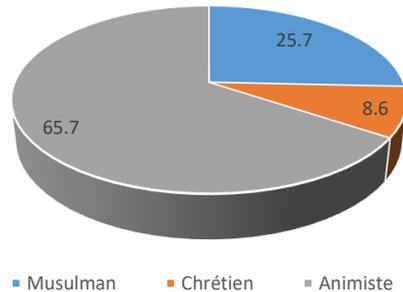


Figure 6 : Pourcentage des enquêtés selon la religion (Source : données de terrain, 2016)

Figure 6: percentage of surveys by religion (Source: field data, 2016)

La religion est un phénomène qui guide et encadre les comportements et pratiques humains. La religion est également le canal par lequel se véhicule et s'impose des modes de pensées, de cultures. De ce point de vue, on peut se demander de savoir si l'appartenance à un environnement socio-culturel peut déterminer la décision d'adoption ou non des variétés améliorées.

3.6. L'environnement socio-culturel d'une formation sociale influence les décisions de production du ménage

Les données de la figure 7 ci-dessous montre que la majorité des enquêtés sont des Goin (43%). Ils sont suivis respectivement des Karaboro (34,4%), des Turka (11,5%), des Mossi (5,2%) et des peulh (1,9%). Le reste des populations enquêtées est très peu représenté. On note paritairement 1,1% de Lobi, de Samo et de Dafing(Marka) contre 0,7% Senoufo. Les goin sont nombreux du fait de la configuration de notre site d'étude qui couvre substantiellement l'aire goin. Cette variable « formation sociale » ou « ethnie » a sans doute une influence du point de vue culturel et des préférences alimentaires sur la décision de produire ou pas une variété de semence améliorée. Elle est renforcée de près par les autres ethnies autochtones comme les Karaboro et les Turkas qui partagent sensiblement les mêmes valeurs culturelles.

De tout ce qui précède, il ressort que l'adoption des innovations en matière de semences améliorées est influencée par plusieurs variables telles le niveau d'instruction, le sexe, l'âge, la religion la culture. Cependant, le statut d'autochtone ou d'allochtone peut-il jouer sur la volonté d'adoption des semences améliorées ?

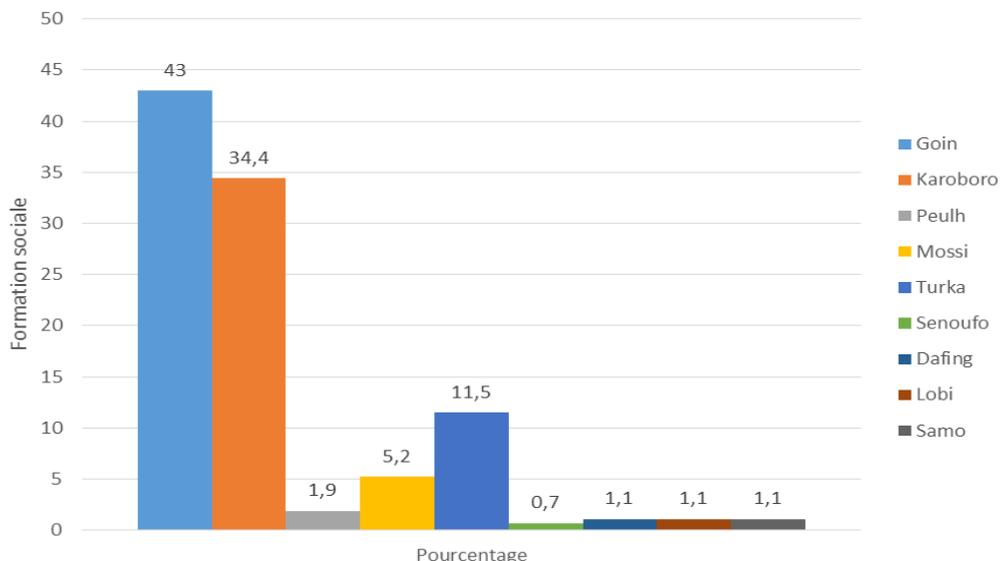


Figure 7 : les enquêtés en fonction de l’ethnie (Source : données de terrain, 2016)

Figure 7: respondents according to ethnicity (Source: field data, 2016)

3.7. L’innovation est davantage mieux reçue par les allochtones

La figure 8 ci-dessous représente le pourcentage des enquêtés selon leur provenance. On retient que la majorité des enquêtés sont des autochtones soit 87,4% de la population d’enquête contre seulement 12,6% d’allochtones. Au regard des données, on risque de se tromper pour admettre que les autochtones adoptent plus les nouvelles variétés de semences que les allochtones. En fait, il faut noter que les 12,6% représentent la totalité des allochtones enquêtés soit 100% des migrants enquêtés. Même statistiquement minoritaires, on peut conclure que les allochtones adoptent plus que les autochtones, surtout les variétés de sorgho et de mil contrairement à l’apriori qu’offrent les données, qui permet de dire que les autochtones adoptent. Pour le président de l’Union Régionale des Producteurs Semenciers de la Région des Cascades,

« Cela s’explique par le fait que nous n’avons pas les mêmes habitudes alimentaires que les goin et autres. De deux, ils n’ont pas de problème de terre, ils sont favorisés par la nature, elle leur offre tout, ils ont une culture de conservation donc, nous on cherche à manger, à rentabiliser, on n’a pas de terre comme je disais, donc on se bat ». [Joseph TIEBA, technicien d’agriculture à la retraite, président de l’Union régionale des producteurs semenciers, entretien du 31/08/2016].

Suite aux propos du président, on convient que les migrants sont dans des situations d’hostilité, contraints par leur situation, ils profitent de tout. Pour eux, tout est opportunité. C’est justement ce qui justifie leur forte

adhésion à la production des variétés de semences améliorées. Ils sont plus ouverts aux innovations que les autochtones.

Les résultats des enquêtes-terrain montrent que la production de variétés améliorées est beaucoup plus pratiquée par les allochtones que les autochtones.

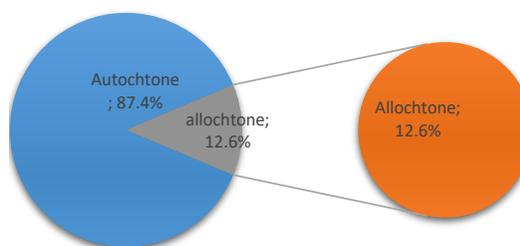


Figure 8 : le pourcentage des enquêtés selon leur provenance (Source : données de terrain, 2016)

Figure 8: the percentage of respondents by origin (Source: field data, 2016)

3.8. De l’adoption stratégique du paquet technologique

L’adoption des itinéraires techniques par les paysans, même si lesdits itinéraires ne sont pas évidents quant à

leurs résultats (impacts) et, de ce fait, sont rejetés, portera au moins sur un élément du paquet technologique. Le choix d'un élément du paquet technologique par le paysan relève d'une stratégie d'acteur face à l'innovation (Olivier de Sardan, 2003 ; Olivier de Sardan, 1998, Crozier, 1977). Pour Crozier (1977), l'acteur est ici vu comme un fin stratège qui opère un choix qui lui est profitable et rejeté le reste. Cet élément adopté est utilisé pour faire valoir sa pratique antérieure. Les producteurs font le choix et lorsqu'on observe leurs pratiques, on se rend compte qu'il y a eu des emprunts de part et d'autre de certains éléments du paquet technologique que compose l'itinéraire technique, pour produire la semence améliorée. Ce producteur semencier de Banfora confie :

« Moi je ne peux pas respecter les écartements de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets que les encadreurs me demande parce que lorsque je le fais, au moment de buter, les écartements de ma charrue me posent problème. Par contre le démariage que je ne faisais pas du tout, quand j'ai eu la formation sur la production des variétés améliorées avec l'INERA farakoba, je connais son avantage, aujourd'hui même pour produire ma semence locale, je fais le démariage tout en sachant que ce n'est pas assez simple. Quand je le fais la différence est nette entre les épis. Je ne fais que 1 ha et demi de maïs pour ma consommation et donc je fais tout pour réussir le démariage ». [Karim KONE producteur leader et responsable de la plaine rizicole de Karfiguela, entretien du 31/02/2017].

Dès lors que le producteur adapte ce qu'il a appris de la recherche agronomique sur sa production locale, nous pensons qu'il y a un changement de comportement qui est issu d'une rationalité du producteur. Nous sommes en droit de dire que la non-adoption des itinéraires n'est pas totale s'agissant des itinéraires techniques. Il y a donc une adoption partielle des éléments du paquet technologique.

4. Discussion

De l'analyse avec certains auteurs comme (Etoundi et Kamgnia, 2008), qui lient fortement la décision d'adoption du producteur à la mesure du risque de production, on note que la décision de produire une variété améliorée sans en avoir la maîtrise en termes d'information, est faible et pas certaine. Pour ces auteurs, le risque associé à l'introduction d'une nouvelle technolo-

gie est très déterminant pour son adoption par le producteur. Il est alors nécessaire d'apporter le maximum d'informations aux producteurs sur les variétés vulgarisées surtout pour ceux qui n'ont pas participé au processus de sélection (Weltzien *et al.*, 2008). Par conséquent, nous admettons substantiellement que plus le producteur est informé et formé sur l'innovation céréalière, plus il est réceptif et adopte.

Au regard des données d'enquête et le taux d'adoption des variétés améliorées dans la commune de Banfora, nous convenons avec Etoundi et Kamgnia (2008) qui font en parallèle une analyse de la situation des paysans camerounais. Dans leur analyse, ils rapportent que l'agriculteur, qui décide d'adopter une nouvelle technique, choisit une innovation en fonction des caractéristiques techniques et de l'état de l'environnement selon ses critères de choix. En fait, une innovation ne sera adoptée que lorsque les individus concernés seront convaincus, compte tenu des informations dont ils disposent, de l'intérêt ou des gains qu'ils peuvent en tirer car d'après la théorie économique traditionnelle (Jevons, 1875 ; Menger, 1892 ; Walras, 1874), la rationalité de l'individu se détermine en fonction de son seul intérêt à travers la main invisible (Smith, 1776). L'adoption, de la part de ces individus, n'est plus le résultat d'un processus social à proprement parler, mais une conséquence de leurs caractéristiques propres, intrinsèques : goût pour la nouveauté, du fait qu'ils aient été pris comme cibles d'une stratégie de marketing particulière ou de l'aversion au risque (Walras, 1874 ; Fayama et Maïga, 2017).

Par ailleurs, une étude française a révélé que même *« Si le caractère innovant d'un bien peut être un atout de séduction pour le consommateur, il ne suffit manifestement pas à motiver l'achat face à la concurrence de produits déjà connus. Le consommateur semble vouloir limiter les risques en préférant le plus souvent le produit qui a fait ses preuves ».* (Piau, 2003, p. 52).

Cette théorie explique mieux le fait que plus de producteurs n'adoptent pas et préfèrent garder leurs anciennes variétés même s'ils sont tentés par la nouveauté (Fayama et Maïga, 2017). Ils ont là, gratuitement les anciennes variétés de semence alors que pour la nouveauté, ils vont acheter sans en avoir la certitude de rentabiliser.

Se donnant pour objectif de comprendre les logiques des agriculteurs de transition dans l'île de Madagascar, Rouveyran (1973, p. 10) témoigne qu'en dehors des

freins socio-culturels, la crainte du risque économique comme un immense facteur d'inertie est présente. En effet, pour le paysan englobé dans un univers de pauvreté, le risque de l'innovation est insoutenable et s'oppose à la sécurité de l'acquis. Il conclut que :

« *Un des problèmes majeurs du développement agricole reste celui du comportement du paysan à l'égard de l'innovation technique au sens strict; le fossé est immense entre les techniques « primitives » du paysan « sous-développés » et les techniques déjà mises au point par la recherche agronomique* ».

Si le paysan est la propre cause de ses maux, l'adhésion à l'innovation ne sera véritable que lorsque celle-ci sera intégrée au système de valeurs. Cet ouvrage a été d'une importance capitale de par son approche sociologique, en dépit de sa relative ancienneté. Tout en partageant ces opinions, il n'en demeure pas moins que les approches ont évolué et que toutes les innovations introduites ne sont plus d'origine étrangère. S'il faut des personnes issues de lieux d'introduction des innovations pour assurer la diffusion, pourront-elles toujours faire preuve de distanciation ?

Les entretiens ont fait l'état des facteurs qui freinent l'adoption des variétés améliorées céréalières par les producteurs. Ces facteurs qui sont d'ordre technico économique, socio-culturel et institutionnel ne rencontrent toujours pas les objectifs de l'agronomie. Ainsi, les conclusions des travaux de Pichot *et al.* (2006), signalaient déjà que la recherche agronomique n'était fondamentalement basée que sur les différents processus de production. Ces processus de production également aux attentes purement techniques ne prennent pas en compte les dimensions non productives des technologies. Ce qui compromet les aspects post-production comme l'appropriation de leurs résultats de recherche par les producteurs. La présente réflexion sur les facteurs de non adoption des variétés améliorées dans la commune de Banfora semble également aboutir relativement aux mêmes résultats. Les innovations agricoles céréalières en milieu rural peuvent certes concerner les processus de production mais doivent obligatoirement tenir compte des facteurs extérieurs au processus de production pour exprimer par la suite son utilité sociale par l'adoption.

« *Cependant la maîtrise en amont de l'accès aux facteurs de production (terre, eau, travail, crédit, semences, intrants) et en aval de la sécurisation post-récolte des produits (séchage, fermentation, stérilisation, conservation des stocks), voire de leur transformation*

et de leur mise en marché, peut s'avérer bien plus importante que la production pour l'amélioration de la productivité et de la compétitivité du secteur agricole et pour la rémunération du travail familial ». (Pichot *et al.*, 2006, p. 53).

C'est d'ailleurs ce qu'une étude antérieure à la nôtre a fait ressortir. En effet, pour comprendre les déterminants de l'adoption des variétés améliorées de maïs et plus spécifiquement l'impact de la « CMS 8704 », Etoundi et Kamgnia (2008, p. 51), ont réalisée des enquêtes dans des exploitations de Yaoundé. Ils sont parvenus à la conclusion que certains indicateurs socio-économiques notamment le niveau d'instruction sont déterminants pour l'adoption d'une nouvelle technologie agricole.

Contrairement à ce qui ressort comme résultats dans la commune de Banfora à l'Ouest du Burkina, dans une étude réalisée par le Centre International de Recherche Agricole pour le Développement sur l'adoption et la diffusion des variétés de sorgho issues de la sélection participative dans les régions Centre-Nord, le niveau d'instruction de base (scolarisation ou alphabétisation) des producteurs ne semble pas avoir d'incidence majeure. Dans les deux régions étudiées, les deux groupes de producteurs SP n'ont pas le même type d'instruction et ont néanmoins adopté à des fréquences égales les variétés améliorées au sein de leurs exploitations (Sanou 2014). L'analyse de cette situation contraire à celle des producteurs de Banfora s'explique par le fait que l'évaluation a concerné les producteurs qui ont participé à la sélection variétale bien qu'ils aient des niveaux d'instruction différents. Mais cette étude reconnaît néanmoins que « les producteurs SP ont plus, intégré les variétés améliorées dans leurs systèmes de culture que les producteurs non-SP » (Sanou 2014, p. 51).

Notons avec Rouveyran (1973), que toutes les sociétés ont connu l'innovation, y compris les plus « archaïques » ou les plus « traditionnelles ». Mais à l'exception de quelques belles réussites dans les agricultures de transition, l'efficacité d'ensemble de ces interventions conçues à l'extérieur, est modeste. L'auteur tient pour raison explicative des échecs enregistrés, les stratégies de transfert des « techniques d'origine étrangère, portées par des étrangers ou des hommes de culture non paysanne » qui méconnaissent trop fréquemment l'état réel des sociétés dans lesquelles on veut les implanter. Cette situation entraîne un déphasage de langage et termes techniques entre vulgarisateur et paysan

qui ont des perceptions différentes, ce qui amène à douter de l'efficacité des innovations. Par contre, il note aussi le refus du progrès du paysan par sa fidélité naturelle à la tradition et la crainte des conflits avec ses pairs :

« *Quelle que soit la décision prise, le paysan sait qu'elle heurtera les uns et les autres; avant que ne soit prouvée la justesse de l'option retenue, il vit dans l'angoisse de gagner moins qu'avant, de perdre la face vis-à-vis des siens, des voisins et du moniteur...* ». [Rouveyran, (1973, p. 3)].

Si une responsabilité écrase le paysan, c'est bien celle « d'accepter des transformations dont on ne connaît ni la sanction ni le terme » à travers l'assimilation de l'innovation. Ainsi, au regard de ce qui précède, convenons avec cet auteur que :

« *Il s'agit notamment de mieux comprendre les processus incrémentaux d'innovation variétale et la compatibilité de ceux-ci aux nouvelles variétés proposées par la recherche agronomique. Cette "contextualisation" de la recherche et de la vulgarisation agricoles devrait permettre d'intégrer les connaissances et l'expertise des agriculteurs dans les programmes de recherche agronomique. La production de connaissances issues de ces interactions peut alors constituer une ressource potentielle pour la conception même des nouvelles variétés* ». [Mabah et al. (2013, p. 11)].

5. Conclusion

Au Burkina Faso, l'agriculture a été affectée ces dernières décennies par un faible taux d'appropriation des résultats de la recherche et des innovations céréalières dans le domaine de l'amélioration variétale. On note un faible taux d'adoption des variétés améliorées à travers le pays. Cependant les déterminants de cette faiblesse d'adoption des variétés de semences améliorées varient d'une localité à une autre. La réticence des producteurs face aux variétés de semences améliorées s'explique par plusieurs facteurs dans la commune de Banfora dont ceux relevant du domaine technique, se révèlent préoccupants de nos jours.

Les données empiriques montrent que la non maîtrise des itinéraires techniques, les perceptions sur l'innovation, expliquent fortement la faiblesse de production de ces variétés améliorées car, comme toute innovation, elle se révèle être comme un processus mais doit être accompagnée par un dispositif ou mécanisme favori-

sant son adoption. Cependant ce dispositif peine et entache le processus d'appropriation de ces technologies et / ou innovation agricoles.

La position d'un producteur face à l'adoption d'une innovation céréalière quelconque est tributaire de sa connaissance de l'innovation et de la maîtrise des itinéraires techniques. Cependant, il reste que les facteurs sus étudiés, que ce soit par l'approche empirique ou saisis par la littérature, ne sont pas à mesure d'expliquer le comportement réticent du paysan face à l'adoption de l'innovation. L'aversion au risque en est une explication, au même titre que l'innovation proposée elle-même. Ce qui pose les bases d'une éventuelle réflexion sur les autres facteurs d'ordre institutionnel, socio-culturel et organisationnel dont l'adoption pourrait être fortement liée et ce en fonction du contexte.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- Bardin L. 2003. L'analyse de contenu, Paris, PUF, 320p
- CEFCOD 2013. Situation de référence des principales filières agricoles au Burkina Faso. Version finale publié. Ministère de l'Agriculture et de la fonction publique, Burkina Faso, 208p.
- Crozier M. et Friedberg E. 1977. L'acteur et le système - Les contraintes de l'action collective, Paris, Les Éditions du Seuil, 512p.
- DGPER-LAME 2013. (Direction générale de la promotion de l'économie rurale-Laboratoire d'analyse mathématique des équations), Etudes de modélisation climatique, d'évaluation des risques et d'analyse de la vulnérabilité aux changements, Elaboration du PANA programmatique du Burkina Faso, rapport d'étude, 192p.
- Fayama T.& Maiga A. 2017. Perceptions économiques de non-adoption des variétés de semences améliorées dans la commune de Banfora, Burkina Faso, UAC, DEZAN, NUMERO 013 Volume 2, pp.127-141.

- Jevons W.S. 1875. "Money and the Mechanism of Exchange", London: Appleton, 394p.
- L'homme R et Fleury J., 1999. Pour une sociologie de la traduction en innovation, Recherche et Formation N°31 – 1999, pp. 113-126
- Leray C. 2008. L'analyse de contenu : de la théorie à la pratique, la méthode Morinchartier, Quebec, PUQ, 204p.
- MAAH 2016. Dispositif de vulgarisation et d'appui-conseil agricoles de la direction regionale de l'agriculture et des aménagements hydrauliques des cascades, document de travail, DRAAC, 11p
- MAFAP 2013. Analyse des incitations et pénalisations pour le sorgho au Burkina Faso. FAO, 42p.
- Menger C. 1892. "On the Origin of Money", Economic Journal, 2, June, pp. 239-255.
- Ntsama Etoundi S.M. et Kamgnia D.B. 2008, Les déterminants de l'adoption des variétés améliorées de maïs : adoption et impact de la « CMS 8704 ». Université de Yaoundé II Soa, 23p.
- Olivier de Sardan J. P. 1998. Anthropologie et développement. Essai en socio-anthropologie du changement social, Paris, APAD-Karthala, 224p.
- Olivier de Sardan J. P. 2003. L'enquête socio-anthropologique de terrain, Enquête Collective Rapide d'Identification des conflits et des groupes Stratégiques, Etudes et travaux n°13, LASDEL, 59p
- Piau C. 2003. Les français face à l'innovation : entre séduction, méfiance et agacement, Paris, CREDOC, département Conditions de vie et aspirations des français, 96p,
- Pichot J. P., Sedogo M., Deguine J-P. 2006, De nouveaux défis pour la recherche cotonnière dans un contexte difficile, in « Le coton, des futurs à construire » Cah. Agric.15, 150-177.
- PNVACA 2016, Protocole de mise en place et conduite des parcelles de démonstration promotion variétale au Burkina Faso, DVRD, document technique, 10p.
- Rouveyran, J-C. La logique des agricultures de transition. L'exemple des sociétés paysannes malgaches, In: Cahiers d'études africaines, vol. 16, n°63-64, 1976. pp. 647-648;
- Sanou A. 2014. Adoption et diffusion des variétés de Sorgho issues de la sélection participative dans les Régions du Centre-Nord et de la Boucle du Mouhoun, document de travail, résultats des travaux dubilan thématique : production agricole et sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest, (sdr) Myriam Adam, Kirsten vom Brocke et Gilles Trouche, CIRAD, 68p
- Sanou A. 2011. Evaluation de la résistance variétale du sorgho contre *Striga hermonthica* (Del.) Benth. au Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option agronomie. Institut du Développement Rural, 61p.
- Smith A. 1776. "An Enquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations", Ed. Edwin Cannan 1976, The University of Chicago Press, Chicago, 22p.
- Somda M. B., 2015, Analyse statistique, communication scientifique, Institut de Développement Rural, 35 p
- UEMOA 2014. Valorisation de variétés de maïs à haut rendement dans l'espace UEMOA, conception-projet, Burkina, Mali, Niger, 43p.
- Vom Brocke K. 2008. Amélioration variétale du Sorgho au Burkina Faso 2005 - 2008. INERA, CIRAD, 63p.
- Vom Brocke K., Barro-Kondombo C.P., Dioma S., Sidibé A., Traoré Y., Singbéogo J. et al. 2008, Développement des populations du sorgho avec adaptation spécifique au Burkina Faso. Poster. ICRISAT, INERA, 1p
- Vom Brocke K., Trouche G., E. Weltzien, Barro-Kondombo C.P., Gozé E., Chantereau J. 2010. Participatory variety development for sorghum in Burkina Faso: Farmers' selection and farmers' criteria. Field Crops Research, 119, pp. 183-194.

- Walras L. 1874. « Éléments d'économie politique pure », Paris 1988, Economica Wortmann, C.S.; Kirby, R.A.; Eledu, C.A. and Allen, D.J. (2004), "Atlas of Common Bean (*Phaseolus vulgaris*, L) Production in Africa", CIAT-Pan-Africa Bean Research Alliance, CIAT, Cali, Colombia, Publication No.297, 22p.
- Weltzien E. 2008. vom Brocke K., Touré A., Rattunde F., Chantereau J., Revue et tendances pour la recherche en sélection participative en Afrique de l'Ouest. Cahiers Agricultures vol. 17, n° 2, pp.165-171.



Efficacités agronomique et économique des amendements de *Tithonia diversifolia* pour la production de *Macrotyloma geocarpum* (Harms) Marechal & Baudet à Parakou au Nord Bénin

Richie L. B. ANANI¹, Pierre G. TOVIHOUDJI¹, Rodrigue V. C. DIOGO^{2*}, Tobias GODAU³

¹ Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Département des Sciences et Techniques de Production Végétale, BP 123 Parakou, Bénin

² Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire d'Innovation en Systèmes de Production IntégREs (InSPIREs), BP 123 Parakou, Bénin

³ Protection et Réhabilitation des sols pour améliorer la Sécurité alimentaire (ProSOL/GIZ) 08 BP 1132 Cotonou, Bénin

Reçu le 19 Mars 2020 - Accepté le 20 Juin 2020

Agronomic and economic efficiency of *Tithonia diversifolia* amendments for the production of *Macrotyloma geocarpum* (Harms) Marechal & Baudet in Parakou, Northern Benin

Abstract: The ground beans (*Macrotyloma geocarpum* [Harms] Marechal & Baudet) is a legume that is highly consumed in central and southern Benin and less consumed in the North of the country. However, with its high nutritional and market values, compared to other pulses, this legume is poorly cultivated in northern Benin. This is probably due to the high crop tillage requirement, the low soil fertility which resulted in very low yield on average 500 kg/ha and the poor post-harvest capacity. Hence, this study aimed at improving and intensifying the production of ground beans *Macrotyloma geocarpum* (Doyiwé in Fongbe) using green biomass of *Tithonia diversifolia* in northern Benin. An experiment was conducted to study the efficacy of the biomass on the agronomic and economic performance of *M. geocarpum* in Parakou. The experimental set-up was a randomized complete block design with four application rates of *T. diversifolia* leaves biomass: T₀= without any biomass applied, T₁=0.25 tonnes (t dry matter (DM/ha)), T₂=0.75 t DM/ha and T₃=1t DM/ha replicated three times. Data were collected on the vegetative growth variables (leaf growth rate, at 7 days interval) and yield at 5 months after sowing. The results indicated that *T. diversifolia* biomass applied at 1 t DM/ha significantly (P<0.05) improved growth and grain yield of ground beans. High grain yield of 800.0 ± 83.21 kg DM/ha was obtained. The economic analysis also indicated a high profit margin of 938000 FCFA/ha (about 1722 USD/ha) with 1 t DM/ha *T. diversifolia* biomass applied. This study highlights the potential of recycling/turning waste into valuable resource that can be used to intensify the production of ground beans in northern Benin. Intensifying the production of ground beans surely will improve smallholders' incomes thereby ensuring their food security.

Keywords: Doyiwe, green manure, profitability, sustainable agriculture, *Tithonia diversifolia*.

Résumé : La lentille de terre (*Macrotyloma geocarpum* [Harms] Maréchal & Baudet) est une légumineuse très prisée et bien consommée par les populations du Centre et Sud du Bénin et peu dans le septentrion. Cependant, elle est peu cultivée dans le nord bien qu'elle soit très prisée sur le marché par rapport aux autres légumineuses à graines. Cela est probablement dû à son rendement très faible (500 kg/ha en moyenne), son aptitude médiocre au stockage et sa culture qui nécessite une quantité importante de travail du sol. Ainsi, pour améliorer et intensifier sa production dans le Nord, un essai a été installé afin d'étudier les efficacités agronomique et économique de la biomasse verte de *Tithonia diversifolia* sur la production de

Macrotyloma geocarpum (Doyiwé) à Parakou au Nord Bénin. L'essai était installé suivant un bloc aléatoire complet avec quatre taux d'application de biomasse feuilles de *T. diversifolia*: T₁ = sans biomasse appliquée, T₂ = 0,25 tonne (t de matière sèche (MS / ha)), T₃ = 0,75 t MS / ha et T₄ = 1 t MS / ha répliqué trois fois. Des données ont été recueillies sur les variables de croissance végétative (taux de croissance des feuilles, à une fréquence de 7 jours) et le rendement 5 mois après le semis. Les résultats ont indiqué que la biomasse de *T. diversifolia* appliquée à 1 t MS / ha a amélioré significativement (P < 0,05) la croissance et le rendement en grains de la lentille de terre. Un rendement de 800,0 ± 83,21 kg MS / ha a été obtenu. L'analyse économique a également indiqué une marge bénéficiaire de 938000 FCFA / ha (environ 1722 USD/ha) avec 1 t de MS / ha de biomasse de *T. diversifolia* appliquée. Cette étude met en évidence le potentiel de recyclage / transformation des déchets en ressource précieuse pouvant être utilisée pour intensifier la production de la lentille de terre dans le nord du Bénin. L'intensification de la production de la lentille de terre améliorerait certainement les revenus des petits exploitants tout en garantissant ainsi leur sécurité alimentaire.

Mots clés: Agriculture durable, engrais vert, *Macrotyloma geocarpum* (Doyiwé), *Tithonia diversifolia*.

1. Introduction

Plusieurs cultures vivrières (maïs, sorgho, igname, manioc, niébé, arachide, mil, etc.) constituent de plus en plus la base de la nutrition des communautés. Parmi ces cultures, les légumineuses sont reconnues comme source de protéine alimentaire et d'énergie principalement dans les pays en développement où le coût des protéines animales est élevé et difficile à payer (Chickwendu, 2007). Parmi ces légumineuses, nombreuses sont sous-utilisées et négligées alors qu'elles contribuent à la sécurité alimentaire, à l'amélioration de l'état nutritionnel, et procurent des revenus substantiels aux populations rurales (Magbagbeola et al. 2010). C'est le cas de la lentille de terre (*Macrotyloma geocarpum*) qui est une légumineuse annuelle cultivée surtout pour ses graines comestibles (Borus et Bosch, 2007), et qui contiennent des nutriments tels que les protéines (25%), 60-70% de glucides, des acides amino essentiels tels que la leucine, la lysine, la phénylalanine et la valine (42%) (Chickwendu, 2007). Cette légumineuse est aussi une source de sels minéraux et peut être utilisée comme complément alimentaire pour les enfants pour lutter contre la malnutrition (Chickwendu, 2007 ; Dansi et al., 2012). Malheureusement, de nos jours, la lentille de terre est en cours de disparition du fait de son rendement et de son aptitude au stockage qui sont médiocres (Borus et Bosch, 2007). C'est le cas au Bénin où la production nationale est passée de 2358 tonnes en 2005 à 1050 tonnes en 2010 (MAEP, 2011). Très peu d'études ont été faites sur ses performances agronomiques au Bénin. Les quelques rares études faites sur la culture sont des études de caractérisation agro-morphologique, socio-économique et nutritionnelle. Ainsi, la présente étude vise à améliorer la productivité de la lentille de

terre à partir de l'apport d'engrais vert de *T. diversifolia*, une plante vivace poussant le long des rues et envahissant les champs des producteurs au Nord du Bénin. La biomasse des feuilles contient 3,53% d'azote, 0,42 % de phosphore, 4,70 % de potassium, 3,52 % de calcium et 0,52 % de magnésium (Kaho et al., 2011) et pourrait être aussi un excellent fertilisant pour l'amélioration de la fertilité des sols. Les premiers essais sur la valorisation des biomasses feuilles de *T. diversifolia* ont été faits sur le piment au Bénin avec un fort potentiel d'amélioration du rendement du piment. Testé à une dose de 1,25 t/ha, des rendements supérieurs de 11,75 t/ha (pour le piment long : Sunny F1) et 3 t/ha (pour le piment vert : Avenir F1) ont été obtenus par rapport aux témoins sans amendement (Sériki et Diogo, 2018). Cette étude a été effectuée dans le but de déterminer la dose idéale d'application de la biomasse en feuilles de *T. diversifolia* efficace pour optimiser le rendement à un seuil rentable pour les petits producteurs.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

Capitale régionale du Nord Bénin, la ville de Parakou, est située au centre de la République du Bénin à 417 km de Cotonou, entre 9°21' de latitude Nord et à 2°36' de longitude Est, à une altitude moyenne de 350 m et présente un relief assez modeste. Parakou appartient à la zone climatique soudanienne. C'est un climat caractérisé par une saison sèche et une saison humide. La saison pluvieuse va de Mai à Octobre, avec une pluviométrie moyenne de 1300 mm par an. Ces pluies sont liées au déplacement du front intertropical (FIT) du tropique du Capricorne vers le tropique du Cancer. Ce déplacement du FIT est favorisé par le fait qu'en cette période s'estompe momentanément l'anticyclone saisonnier du Sahara (BOPEN, 2008). Les amplitudes thermiques sont très fortes. Les températures baissent parfois jusqu'à 10°C la nuit et montent jusqu'à 40°C en début

* Auteur Correspondant : rodrigue.diogo@fa-up.bj
Copyright © 2020 Université de Parakou, Bénin

d'après-midi. Cette saison est surtout caractérisée par une forte isolation et un vent sec et chaud en provenance de l'anticyclone continental du Sahara appelé Harmattan (Novembre-Février).

2.2. Expérimentation

Pour atteindre nos objectifs nous avons conduit un essai sur le site expérimental de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou (latitude : 9°20'14'' ; longitude 2°38'55''). Le dispositif expérimental utilisé était un bloc aléatoire complet. Ainsi, pour tester l'effet de différentes doses de fertilisant organique (Biomasses feuilles de *T. diversifolia*) dans la production de la lentille de terre (*M. geocarpum*), trois doses de biomasse étaient testées avec un témoin. Il s'agit des doses $T_1=0,25$ t MS/ha, $T_2=0,75$ t MS/ha et $T_3=1$ t MS/ha. L'essai comportait ainsi 4 traitements et trois répétitions, soit 12 unités expérimentales de 6.25 m² (2.5 x 2.5). Le semis a été réalisé à raison de quatre graines par poquet avec démarrage à deux plants par poquet une semaine après la levée.

2.3. Collecte des données

2.3.1 Données de croissance

Les données de croissances collectées ont concerné principalement le nombre de feuilles par plant choisis. Au début de la floraison, 5 plants ont été choisis par la méthode des diagonales sur chaque parcelle élémentaire pour le comptage du nombre de feuilles.

2.3.3 Données de rendements

La récolte s'est effectuée cinq mois après semis. Les plants contenus dans le carré de rendement ont été récoltés. Les gousses ont été séparées des fanes. Chaque partie a été pesée et ensuite séchées par échantillon de 100g. Après séchage, les gousses ont été battues pour séparer les graines des coques. Les graines sont ensuite séchées à l'étuve à 75°C pendant 72 heures et pesées après étuve.

2.3.4. Analyse économique

L'évaluation de la rentabilité de la production de la lentille de terre avec apport de *Tithonia diversifolia* a été faite à l'aide des outils d'analyse suivants :

- revenu brut (*RB*) : c'est le revenu que le producteur peut espérer de son activité en vendant toute sa production. Le revenu brut constitue la valeur monétaire de la production physique (*P*) par hectare au prix unitaire du produit (*p*), $RB = P \times p$;
- marge brute (*MB*) : c'est le revenu dégagé par le producteur après avoir déduit du revenu brut les coûts variables totaux (*CVT*), c'est-à-dire la somme des coûts variables monétaires et des coûts variables d'opportunité. Les coûts variables totaux sont des coûts qui varient en fonction du volume de la production, ce sont les charges relatives aux intrants et à la main-d'œuvre (familiale et salarié). Les coûts variables

d'opportunité reflètent principalement la main-d'œuvre familiale non payée, $MB = RB - CVT$.

- marge nette (*MN*) : c'est la rentabilité globale de l'activité. Elle est dégagée après avoir déduit de la marge brute, les coûts fixes totaux (*CFT*). Les coûts fixes totaux sont des coûts qui ne varient pas en fonction du volume de la production, $MN = MB - CFT$
- le ratio bénéfice-coût (*BC*) : c'est le rapport entre le bénéfice net et le coût total de production.

2.3.5. Analyse statistique des données

Avant l'analyse, la distribution normale a été soigneusement vérifiée à l'aide du test d'Anderson-Darling et l'homogénéité de la variance a été évaluée à l'aide du test de Levene. Les données ont été ensuite soumises à une analyse de variance (ANOVA) sous le logiciel SPSS version 21 (SPSS v.21). Le test de Tukey HSD a été utilisé pour la comparaison des moyennes à un seuil de probabilité de 5%.

3. Résultats

3.1. Effet de différentes doses de la biomasse de *Tithonia diversifolia* sur la croissance et le rendement de la lentille de terre

3.1.1 Nombre de feuilles par plant

Le nombre moyen de feuilles par plant a varié significativement suivant la dose de fertilisant ($p < 0,05$) (Figure 1). En effet, le nombre moyen de feuilles le plus élevé par plant a été compté sur les plants ayant bénéficié d'une dose de 1 tonne à l'hectare soit $66,66 \pm 13,58$ feuilles en moyenne par plant. Les plants ayant bénéficié des doses de 0,75 tonne à l'hectare et de 0,25 tonne à l'hectare ont produit le même nombre de feuilles ($P > 0,05$), soit respectivement $63,33 \pm 13,63$ et $62 \pm 14,33$ feuilles en moyenne par plant. Par ailleurs, les plants n'ayant bénéficié d'aucune dose comptent moins de feuilles en moyenne que les précédents, soit $59,4 \pm 8,96$ feuilles en moyenne par plant. En résumé, ces résultats montrent que plus la dose augmente plus le nombre de feuilles par plant augmente. Par contre, la dose de 0,25 tonne à l'hectare et 0,75 tonne à l'hectare ont présenté le même degré d'efficacité en termes de ce paramètre.

3.1.2. Rendement en fanes

L'application des différentes doses de biomasse de *Tithonia diversifolia* a montré une différence significative des traitements ($P < 0,05$) sur le rendement en fanes de la lentille de terre par rapport au traitement témoin T_0 sans amendement. Le rendement moyen le plus élevé en fanes était de 1130,2 kg/ha obtenu avec la dose $T_3=1$ t/ha alors qu'avec le traitement témoin nous avons obtenu le plus faible rendement en fanes de 490,4 kg/ha (Figure 2).

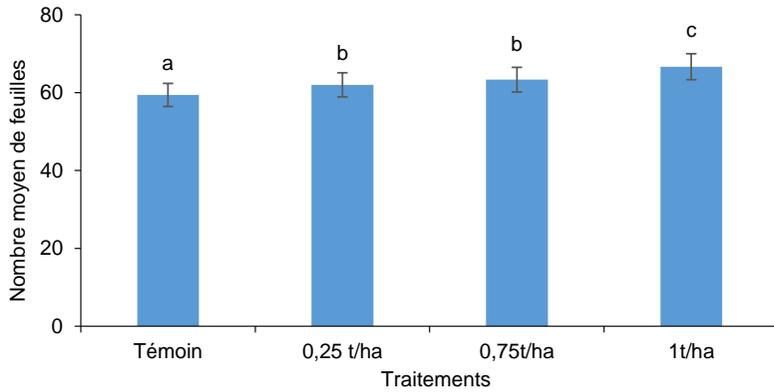


Figure 1 : Nombre moyen de feuilles à la floraison (50 jours après semis), en fonction de la dose de biomasse de *Tithonia diversifolia*

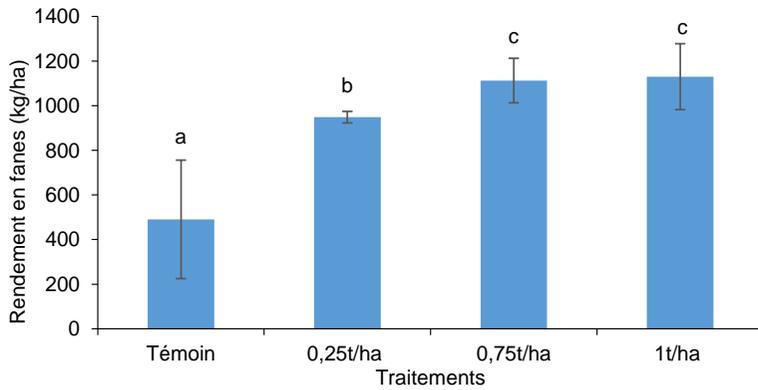


Figure 2 : Effet de différentes doses de biomasse de *Tithonia diversifolia* sur le rendement en fanes (biomasse feuille + coque) de la lentille de terre à Parakou, Nord Bénin.

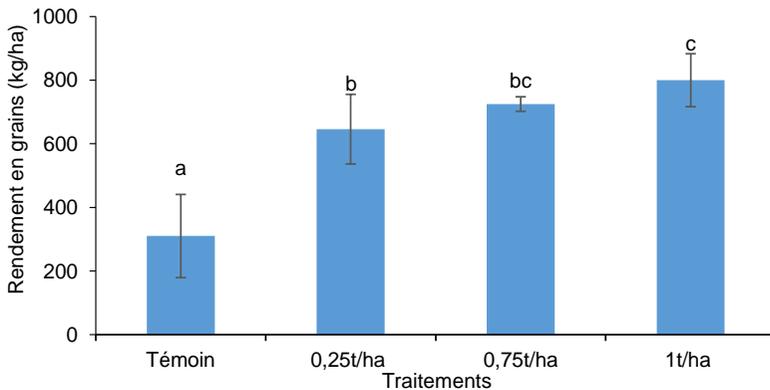


Figure 3 : Effet de différentes doses de la biomasse feuille de *Tithonia diversifolia* sur le rendement en grains de la lentille de terre à Parakou, Nord Bénin.

3.1.2 Rendement en grains

L'analyse de variance a montré un effet significatif ($P < 0,05$) des différents traitements sur le rendement en grains de la lentille de terre par rapport au traitement témoin T_0 . Le meilleur rendement moyen en grains déterminé était de 800 kg/ha et était obtenu avec la dose de 1t MS/ha de la biomasse en feuilles de *T. diversifolia* (Figure 3).

3.2. Analyse économique de l'utilisation de *Tithonia diversifolia* pour la production de la lentille de terre

L'analyse des différents coûts de production et la marge bénéficiaire de la production de la lentille de terre à partir de *Tithonia diversifolia* ont révélé que les trois doses de matière sèche de *Tithonia diversifolia* utilisées, étaient rentables. Mais du point de vu rendement et marge nette appréciable, il est préférable d'adopter l'apport de la biomasse de *Tithonia diversifolia* à la dose de 1 t/ha (Tableau 1).

Tableau 1: Analyse économique de l'utilisation de *Tithonia diversifolia* par les différentes doses utilisées.

Paramètres	0,25 t/ha	0,75 t/ha	1 t/ha
Coûts variables (Fcfa)	238875	229625	243500
Coûts fixes (Fcfa)	18500	18500	18500
Rendement en grain (kg/ha)	646,0	725,0	800,0
Produits brute en valeur (Fcfa)	960000	1087500	1200000
Marge brute (Fcfa)	961125	970375	956500
Marge nette (Fcfa)	942625	951875	938000
Ratio bénéfice-coût	3,7	3,8	3,6

Au Bénin, peu d'études ont été réalisées par rapport à l'apport d'engrais organiques sur la lentille de terre en particulier. Selon Kouelo et al. (2012), un bon travail du sol combiné à la fertilisation minérale pourraient alors en milieu paysan améliorer significativement le rendement en grains de la lentille de terre. Dans ces conditions, le rendement habituel en grains de 500 kg/ha est passé à plus de 900 kg/ha avec apport de 100kg/ha de NPK (Kouelo et al., 2012). En ce qui concerne la fertilisation organique avec *T. diversifolia*, nos résultats obtenus ici montrent que l'application d'une 1 t/ha de *T. diversifolia* améliore significativement le rendement en grains de la lentille de terre (Figure 3). L'apport d'un 1 t/ha *T. diversifolia*, fait augmenter le rendement habituellement cité (500kg/ha), à un rendement de 800 kg/ha. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Kasongo et al. (2013) en R.D. Congo sur le soja, qui ont montré que les parcelles ayant reçu les biomasses de *T. diversifolia* ont donné des rendements plus élevés comparées au témoin. Au cours de notre essai toutes les doses de *T. diversifolia* utilisées ont augmenté de façon significative le nombre de feuilles par plant par rapport aux plants témoins (Figure 1). Ce résultat concorde bien avec celui de Aboyeji et al. (2017) qui

4. Discussion

Le présent travail a permis de montrer que l'apport de la biomasse verte de *Tithonia diversifolia* à la dose de 1t/ha de matière sèche a un effet significatif et positif sur le rendement en grains avoisinant 800kg/ha de grains de lentille de terre. Des études antérieures ont montré que l'apport de 5 t/ha de biomasses feuilles de *Tithonia diversifolia* a amélioré la productivité de la culture du maïs avec un rendement variant de 1,8 à 6,4 t/ha, comparativement à l'apport d'engrais minéral (Kaho et al., 2011). Ces meilleurs résultats pourraient s'expliquer par la richesse des biomasses de *T. diversifolia* en azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca) et magnésium (Kaho et al., 2011). Par ailleurs, les résultats de Kaho et al. (2011) et Ngosong et al. (2016) au Cameroun ont montré aussi que la combinaison des biomasses de *T. diversifolia* aux engrais minéraux améliore mieux la fertilité du sol et la production du maïs et de la tomate.

stipule que l'application de *T. diversifolia* comme engrais vert augmente la hauteur et le nombre de feuilles du radis. L'augmentation des doses de *T. diversifolia* entraîne également l'augmentation des paramètres de croissance considérés. Cette augmentation pourrait être attribuée à la minéralisation rapide et précoce de la biomasse de *T. diversifolia*, libérant ainsi les nutriments disponibles. D'après les résultats de l'analyse des coûts de production de la lentille de terre avec apport de *T. diversifolia* à 1t/ha, les marges nette et brute obtenues avec apport de 0,75 t/ha de biomasse sont positives et supérieures à celles obtenues avec les doses de 0,25 et 1 t/ha de biomasse de *Tithonia diversifolia*. Cependant, c'est la dose de 1t/ha qui a généré le plus grand rendement (800 kg/ha). Du point de vue économique, il est préférable d'appliquer 0,75 t/ha de la biomasse de *T. diversifolia* pour réduire les coûts de production et obtenir un rendement économiquement appréciable. La variation des coûts de production est due à la quantité de biomasse à collecter. Plus la quantité est élevée, plus les coûts variables augmentent. Ceci correspond aux résultats de Assogba et al. (2015) selon qui la production de cette culture engendre des coûts élevés de production. Bien que les marges bénéficiaires générées par toutes

les doses soient positives, la production de la lentille de terre avec apport de *Tithonia diversifolia* est très rentable avec la dose de 0,75 t MS/ha et est fortement recommandée.

5. Conclusion

Le présent travail permet de déduire que l'apport de la biomasse verte de *Tithonia diversifolia* à la dose de 1t/ha de matière sèche a un effet positif sur le rendement en grains de lentille de terre avoisinant 800kg/ha. Toutefois, ce rendement n'est pas économiquement faisable à cause des coûts de production élevés qu'il engendre.. Ainsi, au terme de cette étude, nous recommandons aux producteurs de lentille de terre, l'usage de la biomasse verte de *Tithonia diversifolia* à la dose de 0,75t/ha afin d'améliorer non seulement les rendements de la lentille de terre mais aussi de contribuer à l'amélioration de la fertilité des sols et de leurs revenus pour une amélioration durable de la sécurité alimentaire des ménages.

REMERCIEMENTS

Cette recherche a été financée par le Projet de Protection et Réhabilitation des Sols pour améliorer la Sécurité alimentaire (ProSOL), de la Coopération Allemande GIZ. Nous remercions tous les acteurs de ce projet. Notre reconnaissance va à l'endroit des agriculteurs rencontrés au cours de la phase exploratoire de l'étude pour la collecte d'informations en milieu rural.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- Aboyeji C. M., Adekiya A. O., Dunsin O., Agbaje G. O., Olugbemi O., Okoh H. O., et Olofintoye T. A. J. (2017). Growth, yield and vitamin C content of radish (*Raphanus sativus* L.) as affected by green biomass of *Parkia biglobosa* and *Tithonia diversifolia*. *Agroforestry Systems An International Journal incorporating Agroforestry Forum*. ISSN 0167-4366.
- Assogba P., Ewedje E-E. B. K., Dansi A., Loko Y. L., Adjatin A., Dansi M., Sanni A. (2015). Indigenous knowledge and agro-morphological evaluation of the minor crop Kersting's groundnut (*Macrotyloma geocarpum* (Harms) Maréchal et Baudet) cultivars of Benin.
- Bénin Option Environnement (2008). Mission d'étude d'impact environnemental et social du Programme complémentaire du PGUD-2.Volet : Etude d'impact environnemental et social-Ville de Parakou. Rapport provisoire, p 35.
- Borus D. J. et Bosch C. H. (2007). Céréales et légumes secs. Ressources végétales de l'Afrique Tropicale. Agropolis International. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas.328pp.
- Chickwendu N.J. (2007). Chemical composition of four varieties of groundbean (*Kerstingiella geocarpa*). *J Agric Food Environ Ext* 6(2):73–84
- Dansi A., Vodouhè S.R., Azokpota P., Yedomonhan H., Assogba P., Adjatin A., Loko Y.L., Dossou Aminon I., Akpagana K. (2012). Diversity of the neglected and underutilized crop species of importance in Benin. *Sci World J*. Article ID 932947, p 19.
- Kaho F., Yemefack M., Feujio-Teguefouet P., Tchanchaouang J.C. (2011). Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. *TROPICULTURA* 29(1) :39-45.
- Kasongo L. M. E., Mwamba M. T., Tshipoya M. P., Mukalay M. J., Useni S.Y., Mazinga K. M., Nyembo K.L.(2013). Réponse de la culture de soja (*Glycine max* L. (Merril) à l'apport des biomasses vertes de *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray comme fumure organique sur un Ferralsol à Lubumbashi, R.D. Congo. *Journal of Applied Biosciences* 63: 4727 – 4735. ISSN 1997–5902.
- Kouelo A. F., Badou A., Houngnandan P., Francisco M. M. F., Gnimassoun C. J-B., Sochime D. J. (2012). Impact du travail du sol et de la fertilisation minérale sur la productivité de *Macrotyloma geocarpum* (Harms) Maréchal & Baudet au centre du Bénin. *Journal of Applied Biosciences* 51: 3625–3632. ISSN 1997–5902.
- MAEP (2011). Données sur l'évolution des principales cultures du Bénin.
- Magbagbeola J.A.O, Adetoso J.A, Owolabi O.A. (2010) Neglected and underutilized species (NUS): a panacea for community focused development to poverty alleviation/poverty reduction in Nigeria. *JEIF* 2(10):208–211.
- Ngosong C., Mfombep P. M., Njume C. A., Tening A. S. (2016). Comparative Advantage of *Mucuna* and *Tithonia* Residue Mulches for Improving Tropical Soil Fertility and Tomato Productivity. *International Journal of Plant & Soil Science* 12(3): 1-13, 2016; Article no.IJPSS.28093 ISSN: 2320-7035.
- Sériki N.I., Diogo R.V.C. (2018). Valorisation de *Tithonia diversifolia* et des fientes de volaille sur le piment à Parakou. In : XVIIIème Journées Scientifiques Internationales de Lomé (JSIL), Lomé, Togo, 8-13 Octobre 2018, L'Afrique face aux ODD : Quelles Recherche et Innovation pour un Développement Durable ? Livre des Résumés des Communications. Direction de la Recherche et de l'Innovation, Université de Lomé, Togo, p.300.



Développement du gboma (*Solanum macrocarpon* L.) sous l'influence du biochar, de la fréquence d'arrosage et des nématodes à galles en conditions de serre

Néhal T. M. DJAUGA¹, Rodrigue V. Cao DIOGO^{1,2}, Hugues BAIMEY^{1*}, Tobias GODAU³

¹ Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Département des Sciences et Techniques de Production Végétale, BP 123, Parakou, Bénin

² Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Département des Sciences et Techniques de Production Animale et Halieutique, BP 123, Parakou, Bénin

³ Protection et Réhabilitation des Sols pour améliorer la Sécurité Alimentaire (ProSOL-GIZ), 08 BP 1132 Cotonou, Bénin

Reçu le 19 Avril 2020 - Accepté le 20 Juin 2020

Development of gboma (*Solanum macrocarpon* L.) under the influence of biochar, the frequency of watering and root-knot nematodes in greenhouse conditions

Abstract: Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) are key pests affecting qualitative and quantitative yield of nightshade (*Solanum macrocarpon* L.) also called *gboma* in Benin. To overcome the problems related to the use of chemical nematocides by farmers in the management of those pests' populations, this study aimed to assess the effects of biochar made of corn cobs on some physico-chemical properties of the soil, on their population density and on the growth of nightshade. To do so, an experiment was conducted under greenhouse conditions in Parakou, Benin. The experimental design was a simple randomized block with eight replicates per block. The pots treated with biochar received 15g of biochar per kg of soil, i.e. 30g of biochar per pot. Nematodes were inoculated two weeks after transplantation at the density of 2000 second stage juveniles per pot. Nightshade the plants were watered at two-day intervals for regular watering and at the onset of wilting of the leaves for irregular watering. Growth data (plant height, number of leaves, leaf index, circumference of nightshade plants and leaf, stem and root biomass) from plants and population density of nematodes were collected. The results show that the amendment of biochar significantly increases soil moisture ($p < 0.05$) and the growth parameters ($p < 0.05$) of the nightshade. Also, biochar has a significant effect ($p < 0.05$) on the population density of nematodes in roots and soil, the number of galls and the gall index. In addition, the method of watering and its combination with biochar has a significant effect on the population density of nematodes in roots and soil ($p < 0.05$). The biochar made of corn cobs could therefore be recommended as an amendment in an integrated control of nightshade root-knot nematodes to increase the crop productivity even under the presence of these pests.

Keywords: Amendment, nightshade, root-knot nematode, watering method, Benin.

Résumé : Les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) sont des ravageurs redoutables affectant le rendement qualitatif et quantitatif de la grande morelle (*Solanum macrocarpon* L.) encore appelé *gboma* au Bénin. Pour pallier aux problèmes liés à l'utilisation des nématicides chimiques par les producteurs dans la gestion des populations de ces ravageurs, la présente étude se propose d'évaluer les effets du biochar à base de rafles de maïs sur quelques propriétés physico-chimiques du sol, sur leur densité de population et sur la croissance de la grande morelle. Pour ce faire, une expérimentation a été conduite en conditions de serre à Parakou, Bénin. Le dispositif expérimental était un bloc aléatoire simple à randomisation totale avec huit répétitions par bloc. Les pots traités au biochar ont reçu 15g de biochar par kg de sol, soit 30g de biochar par pot. Les nématodes ont été apportés deux semaines après transplantation à la densité de 2000 juvéniles de deuxième stade par pot. Les plants de grande morelle ont été arrosés à intervalle de deux jours pour l'arrosage régulier et dès l'apparition d'un

flétrissement des feuilles pour l'arrosage irrégulier. Les données de croissance (hauteur de la plante, nombre de feuilles, indice foliaire, circonférence des plants et biomasses feuilles, tiges et racines de la grande morelle) des plants et celles de la densité de population des nématodes ont été collectées. Les résultats montrent que l'amendement au biochar augmente significativement l'humidité du sol ($p < 0,05$) et les paramètres de croissance ($p < 0,05$) de la grande morelle. Aussi, le biochar a un effet significatif ($p < 0,05$) sur la densité de population des nématodes dans les racines et dans le sol, le nombre de galles et l'indice de galles. De plus, le mode d'arrosage et sa combinaison au biochar a un effet significatif sur la densité de population de nématodes dans les racines et le sol ($p < 0,05$). Le biochar à base de rafles de maïs pourrait alors être recommandé comme un amendement dans la lutte intégrée contre les nématodes à galles du *gboma* pour augmenter la productivité de la culture même en présence de ces ravageurs.

Mots clés: Amendement, grande morelle, mode d'arrosage, nématode à galles, Bénin.

1. Introduction

Le maraîchage occupe une place importante pour l'alimentation humaine et contribue significativement aux revenus des familles de producteurs en Afrique de l'Ouest avec un revenu net de 185.000 Fcfa/mois (Allagbe et al., 2014; Yarou et al., 2017). Au Bénin la grande morelle (*Solanum macrocarpon* L.) est l'un des légumes-feuilles les plus produits avec une superficie annuelle moyenne emblavée de 643 m² par producteur et représente une source importante de revenu pour les maraîchers qui la cultivent (Anihouvi, 2007). Malheureusement, cette culture est fortement attaquée par les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) qui s'avèrent être parmi les ravageurs les plus redoutables en maraîchage (Affokpon et al., 2012; Afouda et al., 2012). En effet, ils se nourrissent des cellules racinaires et sont à l'origine de la déformation des parties racinaires, la chlorose ou jaunissement des feuilles, le retard de croissance des plantes, la distribution inégale des plantes dans les champs, l'amincissement des feuilles, et le flétrissement des plantes (James et al., 2010). Ils occasionnent des dégâts à l'origine de 60% des pertes de récoltes (Afouda et al., 2012). Pour pallier à ce problème, les pesticides chimiques de synthèse tels que Cadusafos (Rugby ® 10 % G), Carbofuran (Furadan® 10 % G), Ethoprop (Mocap® 10 % G), Fosthiazate (Nemathorin ® 10 % WG) et Oxamyl (Vydate ® 10 % G) sont généralement utilisés (Ahmed, 2012). Cependant, ces pesticides ne sont pas sans danger sur l'environnement et la santé des consommateurs. Ainsi, le recours aux amendements organiques pourraient renforcer les mécanismes de défense de la plante et constituer une alternative dans la réduction des pressions parasitaires des nématodes à galles. Ces amendements, en plus d'améliorer la structure et l'activité biologique du sol peuvent indirectement contribuer à la réduction des parasites

des plantes (Rahman et al., 2014). En effet, ils favorisent la promotion des organismes antagonistes, la stimulation du statut compétitif des organismes non pathogènes et la libération de substances toxiques au cours du processus de décomposition, susceptibles de contrôler ou de supprimer les agents pathogènes y compris les nématodes parasites (Oka, 2010). D'après certaines études, en plus d'améliorer la qualité du sol et la production agricole, le biochar contribue à l'amélioration du pH des sols acides, la rétention d'eau et l'apport direct en nutriments (Laird et al., 2010). Il a été démontré que les biochars diminuent la pourriture des racines de *Fusarium* des asperges, les lésions des tiges de *Phytophthora* dans les arbres et la fonte des semis de *Rhizoctonia* dans le concombre (Rahman et al., 2014). Bien que de nombreuses études aient signalé l'effet des biochars sur les populations fongiques et bactériennes dans le sol, très peu d'études sur l'interaction des biochars avec les nématodes avaient été effectuées jusqu'à ce qu'une étude récente sur le microcosme montre que le biochar de paille de blé augmentait l'abondance des fongivores du sol et diminuait les populations de nématodes phytoparasites (Zhang et al., 2013). La présente étude se veut donc de contribuer à la connaissance sur l'effet du biochar sur les nématodes à galles en particulier en production de grande morelle. Elle vise à apprécier l'effet du biochar à base de rafles de maïs et de la fréquence d'arrosage sur les propriétés physico-chimiques du sol, les paramètres de croissance et le rendement de la grande morelle.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude et matériel végétal

Cette étude a été réalisée dans la serre implantée sur le site de la ferme de l'Université de Parakou (N 09°18.908', E 002°42.106') de Juillet à Novembre 2019 et les travaux de laboratoire ont été réalisés au laboratoire de nématologie à Djougou dans la même période.

La grande morelle de variété «kombara » a été utilisée pour les travaux. Cette variété à une pureté de 98%.

* Auteur Correspondant : baimeyhugues@gmail.com
Copyright © 2020 Université de Parakou, Bénin

2.2. Dispositif expérimental

Après une pépinière qui a duré un mois dans du sol stérilisé (85°C, 72h), les plantules ayant 5-6 feuilles ont été repiquées dans les pots de 2L de contenance (une plantule par pot). Ces pots ont été préalablement remplis avec le sable stérilisé et le biochar à base de rafles de maïs à la dose de 15g par kg de sol. En effet, Sousa & Figueiredo (2016) ont démontré que les doses de biochar comprises entre 10 et 30g avaient un effet positif sur la croissance des plantes. Le biochar a été obtenu suite à la pyrolyse des rafles de maïs dans un four de fabrication artisanal à 350°C. Au total, huit traitements définis par la combinaison des différents facteurs (biochar, nématodes, fréquence d'arrosage) ont été utilisés. Ainsi nous avons:

- T₀** : -biochar-nématodes+arrosage régulier,
- T₁** : -biochar-nématodes+arrosage irrégulier,
- T₂** : +biochar+nématodes+arrosage régulier,
- T₃** : +biochar-nématodes+arrosage irrégulier,
- T₄** : +biochar-nématodes+arrosage régulier,
- T₅** : -biochar+nématodes+arrosage régulier,
- T₆** : -biochar+nématodes+arrosage irrégulier,
- T₇** : +biochar+nématodes+arrosage irrégulier ;

avec : +biochar = traitement contenant du biochar ; - biochar = traitement ne contenant pas du biochar ; arrosage régulier = arrosage des plants tous les deux jours et arrosage irrégulier = arrosage dès l'apparition de flétrissement sur les feuilles des plantes.

Les pots ont été arrangés selon un dispositif de bloc aléatoire simple randomisé et chaque traitement répété huit fois. A l'aide du logiciel CropWat (FAO, 2012), les besoins réels en eau de la grande morelle ont été calculés en fonction du stade de développement de la plante et de la superficie des pots. Ainsi, les quantités d'eau suivantes ont été apportées aux plantes : 50ml de la date du repiquage au 27^e jour, 63ml du 28^e au 37^e jour, 76ml du 38^e au 49^e jour, 88ml du 50^e au 58^e jour et 130ml du 59^e au 76^e jour après repiquage. Les nématodes à galles ont été inoculés deux semaines après repiquage à la densité de 2000 juvéniles de deuxième stade dans un millilitre d'eau soit (2000/ml/pot). Ces juvéniles ont été obtenus suite à l'éclosion des œufs de nématodes collectés sur les racines de la laitue obtenues sur un site maraîcher de Djougou.

2.3. Collecte des données

L'expérimentation a duré 76 jours à compter du jour de repiquage des plants. Différentes données ont été collectées toutes les deux semaines en ce qui concerne les conditions du milieu (Humidité et pH des substrats), le nombre de galles et l'indice de galles, la densité de population de nématode, la croissance et la biomasse des feuilles, des tiges et des racines des plants. Concernant la croissance et la biomasse, plusieurs variables ont été mesurées. Il s'agit de :

- nombre de feuilles produites par plant: il a été relevé chaque deux semaines dès le repiquage jusqu'à la maturité ;
- la hauteur des plants : elle a été mesurée du collet jusqu'à l'apex au niveau du point d'insertion de la dernière feuille apparente. Cette mesure a été prise à partir du jour de repiquage ;
- l'indice foliaire : la longueur et la largeur du limbe de chaque feuille d'un plant ont été mesurées afin de calculer l'indice foliaire. Ce calcul a été fait suivant la formule :
- Indice foliaire = $(L \cdot l) \cdot k$ avec L = longueur, l = largeur et $K=0,67$ (Gomez, 1972) ;
- le diamètre au collet : il a été mesuré à l'aide de la règle à coulisse le jour de la récolte ;
- la biomasse des plants : à la récolte (76 jours après repiquage), les feuilles, tiges et racines des plants ont été pesées séparément.
- Pour les paramètres relatifs aux nématodes et la densité de leurs populations
- le nombre de galles : il a été déterminé par comptage des galles présentes dans un gramme (1g) de racines fines au binoculaire ;
- l'indice de galles : il a été déterminé à l'aide de la table d'indexation pour les nématodes à galles dont l'échelle est de 0 à 10 avec pour 0 = pas de galles et 10 = toutes les racines ont des galles, plus de système racinaire, généralement plante morte (Coyne et al., 2018) ;
- Les racines provenant des plants ayant reçu l'inoculum de nématodes ont été soigneusement lavées et rincées. Ces racines ont été finement découpées à l'aide d'une paire de ciseaux. Les morceaux de racines ont été soigneusement mélangés et un échantillon de 50g de racines pris par pot pour l'extraction des nématodes en utilisant le dispositif de Baermann modifié (Coyne et al., 2018). Les nématodes ont été aussi extraits de 50 g de sol prélevé de chaque pot en utilisant le même dispositif. Pour ce faire, le sol contenu dans chaque pot a été soigneusement mélangé avant qu'un échantillon de 50g ait été pris. Dans les deux cas (des racines et du sol) chaque échantillon a été mis dans un tamis tapissé à l'intérieur de papier filtre et le tout a été placé dans une assiette en plastique. Ensuite, 150 ml d'eau a été rajoutée jusqu'à couvrir légèrement l'échantillon de sol ou de racines afin de favoriser la migration des nématodes des échantillons vers l'eau qui constitue le milieu d'extraction. Après 72 h, le tamis contenant le papier filtre sur lequel est déposé chaque échantillon a été retiré délicatement de l'assiette. Les suspensions de nématodes contenues dans les différentes assiettes ont été collectées et transférées dans des tubes gradués et après 30 min de décantation, les nématodes ont été comptés au binoculaire. La densité de population des nématodes contenus dans chaque tube a été évaluée trois fois ; et chaque fois dans un volume de

5 ml de suspension transférée dans une boîte de Petri de 9cm de diamètre quadrillée, et la densité de population des nématodes par gramme de sol ou de racines calculée par extrapolation.

2.4. Analyses statistiques des données

Les données collectées ont été saisies à l'aide du tableur EXCEL 2013. Les paramètres agro-morphologiques, les propriétés physico-chimiques (pH et humidité) du sol ont été soumises à une analyse de variance ANOVA à trois facteurs (biochar, nématodes et fréquence d'arrosage) avec le logiciel R version 3.4.4. Le modèle GLM (Modèle Linéaire Généralisé) a été utilisé pour les variables densité de population de nématodes au niveau des racines et du sol et du nombre de données sur les galles produites par les nématodes. Mais le modèle LM (Modèle linéaire simple) a été utilisé pour l'analyse de l'indice de galles. Ces différents modèles ont été utilisés suite à la vérification de la normalité de la distribution des données avec le test de Shapiro Wise. Le test de SNK a permis de faire la comparaison deux à deux en cas de différence significative entre les traitements au seuil de 5%.

3. Résultats

3.1. Effet du biochar, de l'arrosage et des nématodes sur le pH et l'humidité du sol et les paramètres agro-morphologiques de la grande morelle

Les résultats de l'effet des différents facteurs sur les propriétés physiques du sol et sur les paramètres agro-morphologiques sont résumés dans le Tableau 1. On ne note pas de différence significative entre le témoin et le traitement au biochar au niveau des valeurs du pH ($p > 0,05$). De même, il convient de noter que l'application du biochar seul ($p < 0,05$) et l'arrosage seul ($p < 0,05$) ainsi que l'interaction biochar*nématodes ($p < 0,05$) ont eu un effet significatif sur le taux d'humidité du sol dans les pots. L'analyse de variance réalisée sur les paramètres agro-morphologiques de la grande morelle a montré que l'arrosage a un effet significatif sur l'indice foliaire ($p < 0,05$) et le rendement en tige ($p < 0,05$). Quant au biochar, son application a eu d'effets significatifs sur l'indice foliaire ($p < 0,05$), la circonférence au collet ($p < 0,05$), la biomasse feuille ($p < 0,05$) et la biomasse racine ($p < 0,05$). Concernant l'effet des nématodes, un effet régressif a été observé sur la biomasse racine ($p < 0,05$). Cependant, l'interaction biochar*nématodes a eu un effet positif sur la biomasse racine avec ($p < 0,05$). Aucun des facteurs pris isolément ou en interaction n'a eu d'effet significatif sur la hauteur des plants de la grande morelle.

Le Tableau 2 présente les résultats de l'analyse de variance réalisée afin de mieux comprendre les

différents effets du biochar sur les différents paramètres étudiés. Notons que les plants de la grande morelle ayant reçu le biochar ont présenté de meilleures performances de croissance.

Le Tableau 3 montre que l'arrosage a eu un effet significatif sur la biomasse feuille, tige et sur l'humidité du sol ($p < 0,05$). On observe également que les plants de grande morelle ayant reçu un arrosage régulier ont produit plus de biomasse feuille. Toutefois, la biomasse tige est plus faible comparativement à celle des plants ayant reçu un arrosage irrégulier (Tableau 3).

3.2. Effet du biochar, de la fréquence d'arrosage et de l'infestation aux nématodes sur la densité de population des nématodes à galles dans le sol et les racines, le nombre de galles et l'indice de galles de la grande morelle produite sous serre

Le Tableau 4 montre un effet significatif ($P < 0,05$) du biochar sur la densité de population de nématodes à galles dans le sol et dans les racines, le nombre de galles et l'indice de galles de la grande morelle. La même tendance a été observée avec l'interaction entre le biochar et l'arrosage sauf pour le nombre de galles et l'indice de galles ($P > 0,05$). Le biochar combiné à l'infestation des nématodes a un effet significatif ($P < 0,05$) sur toutes les variables étudiées tandis que la combinaison des trois facteurs présente un effet significatif ($P < 0,05$) seulement sur la densité de population de nématodes dans le sol et les racines (Tableau 4).

4. Discussion

Le présent travail vise à étudier les effets du biochar à base de rafles de maïs ou de sa combinaison avec la fréquence d'arrosage ou de l'infestation des nématodes sur l'amélioration des conditions biophysiques du sol et la réduction des pressions des nématodes à galles sur la grande morelle cultivée sous serre à Parakou. Elle nous permet de comprendre le rôle du biochar et des modes d'arrosage et de leur interaction de même que l'interaction du biochar et des nématodes sur l'indice de galles de la grande morelle. Ces résultats ne corroborent pas ceux de Schulz & Glaser (2012) qui ont enregistré en culture de maïs en Allemagne une augmentation du pH des traitements au biochar de 1,5 unité comparativement à celui du traitement témoin. Cela pourrait s'expliquer par la nature et les propriétés du sol utilisé dont le pH était de 7,5 en moyenne au cours de notre expérimentation. En effet, il a été démontré que l'application du biochar aux sols arables induit une augmentation du pH et de la capacité de rétention des nutriments (Atkinson et al., 2010). Aussi, les amendements du biochar sur les sols très altérés et acides pourraient être à l'origine de l'augmentation du pH et de la teneur en humidité de ces sols (Harel et al., 2013; Huang et al., 2015).

Tableau 1 : Effet du biochar, de l'arrosage, et des nématodes sur les propriétés physico-chimiques du sol et sur les paramètres agro-morphologiques de la grande morelle

T	Propriétés physiques du sol				Paramètres agro-morphologiques			
	pH	Humidité (%)	Hauteur (cm)	Indice foliaire	Circonférence du collet (cm)	Biomasse feuille (g/plant)	Biomasse tige (g/plant)	Biomasse racine (g/plant)
A	0,25	0.0003***	0,31	0,0118*	0,12	0,34	0,0445*	0,13
B	0,45	0.0021**	0,12	0,04*	0,0145*	0,0120*	0,24	<0,0001***
N	0,24	0,85	0,89	0,55	0,20	0,52	0,63	0,0237*
A*B	0,84	0,22	0,60	0,34	0,33	0,97	0,84	0,48
A*N	0,57	0,15	0,99	0,99	0,84	0,56	0,88	0,92
B*N	0,38	0,0208*	0,77	0,39	0,43	0,79	0,91	0,0053**
A*B*N	0,80	0,63	0,63	0,85	0,62	0,13	0,55	0,98

T : Traitements, A : Arrosage, B : Biochar, N : Nématodes, A*B : Interaction Arrosage*Biochar, A*N : Interaction Arrosage*Nématodes, B*N : Interaction Biochar*Nématodes, A*B*N : Interaction Arrosage*Biochar*Nématodes, * : significatif au seuil de 10% ; ** : significatif au seuil de 5% ; *** : significatif au seuil de 1% ;

Tableau 2 : Effet du biochar sur les paramètres agro-morphologiques de la grande morelle.

Biochar	Circonférence du collet (cm)	Indice foliaire	Biomasse tige (g/plant)	Biomasse racine (g/plant)	Biomasse feuille (g/plant)
- biochar	6,2 ± 1,50 ^b	405,5 ± 217,75 ^b	4,4 ± 2,77 ^a	6,3 ± 4,91 ^b	1065,4 ± 532,79 ^b
+biochar	6,9 ± 0,69 ^a	525,2 ± 154,49 ^a	5,1 ± 1,59 ^a	12,6 ± 4,32 ^a	1360,1 ± 340,04 ^a
p	0,0145*	0,0476*	0,237	0,000001***	0,0120*

- biochar: absence de biochar ; +biochar : présence de biochar ; p = probabilité ; * : significatif au seuil de 10% ; ** : significatif au seuil de 5% ; *** : significatif au seuil de 1% ; Dans une même colonne, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% (Test de SNK). ns = non significatif

Tableau 3 : Effet de l'arrosage sur les paramètres agro-morphologiques de la grande morelle et l'humidité du sol

Fréquence d'arrosage	Circonférence du collet (cm)	Indice foliaire	Biomasse feuille (g/plant)	Biomasse tige (g/plant)	Humidité du Sol (%)
irrégulier	6,4 ± 1,00 ^a	418,8 ± 171,48 ^b	4,235 ± 1,75 ^a	540 ± 260,05 ^a	5,2 ± 1,06 ^b
régulier	6,8 ± 1,38 ^a	511,9 ± 211,63 ^b	5,374 ± 2,58 ^b	425 ± 176,54 ^b	6,0 ± 1,39 ^a
p	0,1211 ns	0,0118*	0,0436*	0,0445*	0,0002***

Irrégulier: Arrosage irrégulier ; Régulier: Arrosage régulier ; p = probabilité ; * : significatif au seuil de 10% ; ** : significatif au seuil de 5% ; *** : significatif au seuil de 1% ; Dans une même colonne, les moyennes suivies de différentes lettres sont statistiquement différentes au seuil de 5% (Test de SNK) ; ns = non significatif

Tableau 4 : Effet du biochar, des nématodes et de l'arrosage sur la densité de population de nématodes des racines et du sol, le nombre de galles et l'indice de galles

	Densité de population de nématodes dans les racines	Densité de population de nématodes dans le sol	Nombre de galles	Indice de galles
Arrosage				
Arrosage régulier	3,1 ± 0,76 ^b	1,1 ± 0,30 ^b	5,3 ± 1,27 ^b	0,8 ± 0,17 ^b
Arrosage irrégulier	5,1 ± 1,73 ^a	2,1 ± 0,59 ^a	6,5 ± 1,49 ^a	0,6 ± 0,15 ^a
Biochar				
+Biochar	4,7 ± 1,74 ^a	1,0 ± 0,29 ^b	8 ± 1,67 ^a	1,0 ± 0,08 ^a
-Biochar	3,5 ± 0,76 ^b	2,1 ± 0,59 ^a	3,9 ± 0,90 ^b	0,5 ± 0,20 ^b
Nématodes				
+Nématode	8,2 ± 1,59 ^a	3,2 ± 0,54 ^a	11,9 ± 1,25 ^a	1,5 ± 0,13 ^a
-Nématode	0,0 ± 0,00 ^b	0,0 ± 0,00 ^b	0,0 ± 0,00 ^b	0,0 ± 0,00 ^b
Arrosage + Biochar + Nématodes				
Arrosage	0,182539	0,117	0,245307	0,21751
Biochar	0,014568*	0,0008603***	0,001077**	0,01056*
Nématodes	0,000005741***	0,00000004857***	1,916e-12***	1,357e-13***
Arrosage:Biochar	0,008654***	0,0177286*	0,324738	0,21751
Arrosage:Nématodes	0,182539	0,0199223*	0,245307	0,21751
Biochar:Nématodes	0,014568*	0,0008603***	0,001077**	0,01056*
Arrosage:Biochar:Nématodes	0,008654**	0,0177286*	0,324738	0,21751

- biochar: absence de biochar ; +biochar : présence de biochar ; -Nématode=absence de nématodes ; +nématode=présence de nématode ; Arrosage+Biochar+Nématodes : interaction entre biochar, arrosage et nématodes ; p=probabilité ; * : significatif au seuil de 10% ; ** : significatif au seuil de 5% ; *** : significatif au seuil de 1% ; Dans une même colonne, les moyennes suivies de différentes lettres sont statistiquement différentes au seuil de 5% (Test de SNK)

Par ailleurs, selon Hagner et al. (2016), on ne note aucun effet du biochar de bouleau sur le pH à une dose d'application en dessous de 80g/L de sol. Cela pourrait expliquer nos résultats car nous avons appliqué 15g/L de sol (Sousa & Figueiredo, 2015). Toutefois, nos résultats montrent que les pots ayant reçu le biochar ont eu une humidité élevée comparativement aux pots ne l'ayant pas reçu. Ces résultats sont conformes à ceux de Schulz & Glaser (2012) qui ont trouvé que la teneur en eau des pots au traitement biochar de hêtre avait quintuplé comparativement à celle des pots au témoin sans biochar. De plus, la capacité de rétention d'eau du sol serait améliorée de manière significative par l'amendement au biochar dû à sa forte porosité (Fischer et al., 2019). De plus, nos résultats ont montré que l'amendement du biochar a permis l'augmentation des paramètres de croissance de la grande morelle dont l'indice foliaire, la biomasse feuille et la circonférence au collet des plants de la grande morelle. Plus intéressant est l'augmentation de la biomasse racine et le contrôle de l'indice de galles en présence des nématodes (Tableaux 1 & 4). Les résultats des travaux de Sousa & Figueiredo (2016) vont dans le même sens que les nôtres. En effet, selon ces auteurs, le biochar de boue d'épuration permet l'augmentation de tous les paramètres de croissance du radis en réduisant le lessivage des nutriments. Cette réponse des plantes au biochar a également été prouvée par plusieurs études avec différents types de biochars et de cultures: sur l'avoine avec du biochar de bois de hêtre (Schulz et al., 2013), sur les épinards avec du biochar de balles de riz (Varela Milla et al., 2013), sur la tomate avec du biochar de boue d'épuration (Khan et al., 2013) et sur le maïs avec du biochar de déchets verts de tomate (Smider & Singh, 2014). Ce développement adéquat des plantes pourrait être dû aux caractéristiques agronomiques du biochar, qui augmente la disponibilité des macros et micronutriments due à ces larges surfaces poreuses (Fischer et al., 2019).

Les résultats de nos travaux montrent également que les pots amendés au biochar ont enregistré le nombre de galles et la densité de populations de nématodes les plus élevés comparativement à ceux des pots non amendés au biochar. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les racines de la grande morelle ayant évolué dans les pots amendés au biochar ont développé d'importantes racines comparativement aux plants ayant évolué dans les pots non amendés au biochar. En effet, les plants non amendés au biochar avaient une masse racinaire plus ou moins faible comparativement à ceux amendés.

Aussi, on note qu'avec un arrosage irrégulier, la densité de population de nématodes dans les racines est plus élevée qu'avec un arrosage régulier. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les nématodes en milieu sec dans le but de trouver de l'humidité s'accumulent dans les racines de la plante. Par contre, en milieu humide, les conditions de prolifération étant réunies, les nématodes se multiplient plus rapidement ce qui

s'explique par la formation des galles correspondant aux sites d'installation des femelles. On peut donc conclure que malgré leur pénétration dans les racines, le niveau d'infestation reste faible avec l'application du biochar. Des résultats similaires ont été observés avec l'application de biochar dans un champ de blé où il n'y avait aucun effet significatif sur l'abondance totale de nématodes avec une application à court terme de biochar (9 mois en culture de blé) (Zhang et al., 2013). Par contre, de nombreuses études ont montré une réduction des populations de nématodes parasites avec l'utilisation d'amendements organiques. D'autres n'ont montré aucun changement ou augmentation des populations, l'efficacité de ces amendements dépendant principalement du matériel de départ (Renčo & Kováčik, 2012). Selon Lehmann (2007), de toute évidence des recherches supplémentaires doivent être effectuées pour quantifier dans quelle mesure le biochar déclenche la défense des plantes et déterminer les conditions les plus efficaces pour supprimer l'infection par les nématodes car le biochar présente une grande variabilité dans ses propriétés physiques et chimiques.

5. Conclusion

Au terme de cette étude, les résultats montrent que :

- le biochar contribue au maintien de l'humidité du sol ;
- le biochar permet l'amélioration de l'indice foliaire, de la biomasse foliaire, racinaire et de la circonférence au collet de la grande morelle;
- l'amendement du biochar permet d'obtenir un nombre de galles moins important ;
- la combinaison biochar-arrosage régulier permet d'enregistrer la meilleure performance notamment en ce qui concerne les paramètres de croissance.

Par ailleurs, l'expérimentation a été conduite en saison pluvieuse dans des conditions de température basse et d'humidité élevée comparativement à la saison sèche. Etant la première étude ayant recherché les effets du biochar sur les nématodes en cultures de la grande morelle, il serait bien que cette étude soit réalisée en saison sèche et pluvieuse afin de mieux comprendre les effets du biochar sur les nématodes.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le projet ProSol (Projet de Protection et Réhabilitation des Sols pour améliorer la Sécurité Alimentaire (ProSol)/GIZ) qui a financé cette recherche et les techniciens de laboratoire pour leur assistance.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- Afouda L., Baimey H., Bachabi F.X., Sero-Kpera D.H. B. R. 2012. Effet de l'hyptis (*Hyptis suaveolens*), du neem (*Azadirachta indica*), du vernonia (*Vernonia amygdalina*), et de l'amarante (*Amaranthus* sp.) sur les nématodes à Galles (*Meloidogyne* spp.) en cultures maraichères, *Agronomie Africaine*, 24 (3), pp. 209–218. Available from: <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/87010/76776>.
- Affokpon, A., Dan, C. B. S., Houedjissi, M. E., Hekpazo, B. A. et Tossou, C. 2012. L'efficacité des dérivés de graines de neem contre les nématodes à galles en cultures maraichères diffère en fonction du type de dérivé. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)* 72 : 48-58
- Ahmed N. S. 2012. Efficacy of some granular nematocides against root-knot nematode, *meloidogyne incognita* associated with tomato, *Pakistan Journal of Nematology*, 30 (1), pp. 41–47.
- Allagbe H., Aitchedji M. and Yadouleton A. 2014. Genesis and development of urban vegetable farming in Republic of Benin Genese et développement du maraichage urbain en Republique du Benin, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 7 (1), pp. 123–133.
- Anihouvi P. 2007. Pratiques culturales et teneur en éléments anti nutritionnels(nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au sud du Bénin.,7 (4), pp. 1–21.
- Atkinson C. J., Fitzgerald J. D. and Higgs N. A. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review, *Plant Soil*, pp. 1–18. DOI:10.1007/s11104-010-0464-5.
- Coyne D. L., Nicol J. M. and Claudius-Cole B. 2018. *Practical plant nematology: A field and laboratory guide*. 3rd edition, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria.
- Fischer B. M. C., Manzoni S., Morillas L., Garcia M., Johnson M. S. and Lyon S. W. 2019. Science of the Total Environment Improving agricultural water use efficiency with biochar – A synthesis of biochar effects on water storage and fluxes across scales, *Science of the Total Environment*, 657, pp. 853–862. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.11.312.
- Gomez K. A. 1972. *Techniques for field experiments with rice*, *Journal of Chemical Information and Modeling*.International Rice Research Institute, Los Banos,Laguna,Philippines.
- Hagner M., Kemppainen R., Jauhiainen L., Tiilikkala K. and Setälä H. 2016. The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth, *Soil and Tillage Research*, 163, pp. 224–234. DOI:10.1016/j.still.2016.06.006.
- Harel Y. M., Mehari Z. H., Elad Y. and Rav-david D. 2013. Induced systemic resistance in tomato (*Solanum lycopersicum*) by biochar soil amendment, *Biological Control of Fungal and Bacterial Plant Pathogens*, 86, pp. 59–64.
- Huang W., Ji H., Gheysen G., Debode J. and Kyndt T. 2015. Biochar-amended potting medium reduces the susceptibility of rice to root-knot nematode infections, *BMC Plant Biology*, pp. 1–15. DOI:10.1186/s12870-015-0654-7.
- James B., Atcha-Ahowé C., Godonou I., Baimey H., Goergen G., Sikirou R. and Toko M. 2010. Gestion intégrée des nuisibles en production maraichère : Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest., *Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), Ibadan, Nigeria.*, pp. 120 p.
- Khan S., Wang N., Reid B. J., Freddo A. and Cai C. 2013. Reduced bioaccumulation of PAHs by *Lactuca sativa* L. grown in contaminated soil amended with sewage sludge and sewage sludge derived biochar, *Environmental Pollution*, 175, pp. 64–68. DOI:10.1016/j.envpol.2012.12.014.
- Laird D., Flemming P., Wang B. and Horton R. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Mid-western agricultural soil, *Geoderma*, 158, pp. 436–442. DOI:10.1016/j.geoderma.2010.05.012.
- Lehmann J. 2007. Bio-energy in the black, *Frontiers in Ecology and Environment*, 5 (7), pp. 381–387.
- Oka Y. 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments-A review, *Applied Soil Ecology*. DOI:10.1016/j.apsoil.2009.11.003.
- Rahman L., Whitelaw-Weckert M. A. and Orchard B. 2014. Impact of organic soil amendments, including poultry-litter biochar, on nematodes in a Riverina, New South Wales, vineyard, *Soil Research*, 52 (6), pp. 604–619. DOI:10.1071/SR14041.
- Renčo M. and Kováčik P. 2012. Response of plant parasitic and free living soil nematodes to composted animal manure soil amendments, *Journal of Nematology*, 44 (4), pp. 329–336.

- Schulz H., Dunst G. and Glaser B. 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility, *Agronomy for Sustainable Development*, 33 (4), pp. 817–827. DOI:10.1007/s13593-013-0150-0.
- Schulz H. and Glaser B. 2012. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175 (3), pp. 410–422. DOI:10.1002/jpln.201100143.
- Smider B. and Singh B. 2014. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 191, pp. 99–107. DOI:10.1016/j.agee.2014.01.024.
- Sousa A. A. T. C. and Figueiredo C. C. 2016. Sewage sludge biochar : effects on soil fertility and growth of radish, *Biological Agriculture & Horticulture*, 32 (2), pp. 127–138. DOI:10.1080/01448765.2015.1093545.
- Varela Milla O., Rivera E. B., Huang W. J., Chien C. C. and Wang Y. M. 2013. Agronomic properties and characterization of rice husk and wood biochars and their effect on the growth of water spinach in a field test, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13 (2), pp. 251–266. DOI:10.4067/S0718-95162013005000022.
- Yarou B. B., Silvie P., Komlan F. A., Mensah A., Alabi T., Verheggen F. and Francis F. 2017. Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (Synthèse bibliographique), *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 21(4), pp. 288-304.
- Zhang X. K., Li Q., Liang W. J., Zhang M., Bao X. L. and Xie Z. Bin 2013. Soil nematode response to biochar addition in a chinese wheat field, *Pedosphere*, 23 (1), pp. 98–103. DOI:10.1016/S1002-0160(12)60084-8.



Analyse de la diversité génétique moléculaire de *Haematostaphis barteri* (Prune rouge) à l'aide des marqueurs RAPD

Bienvenue Nawan KUIGA SOUROU^{1*}, Kifouli ADEOTI², Gustave DJEDATIN³, Farid BABA- MOUSSA², Fatiou TOUKOUROU², Christine OUINSAVI¹

¹ Laboratoire d'Etudes et de Recherches Forestières (LERF), Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, BP : 123 Parakou, Bénin

² Laboratoire de Microbiologie et des Technologies Alimentaires (LAMITA), Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, ISBA-Champ de Foire, Cotonou, Bénin

³ Faculté des Sciences et Techniques de Dassa, Université des Sciences, des Technologies, de l'Ingénierie et des Mathématiques de Abomey, BP : 2282 Abomey, Bénin

Reçu le 16 Février 2020 - Accepté le 20 Juin 2020

Analysis of genetic diversity in *Haematostaphis barteri* (Blood plum) in Benin using RAPD markers

Abstract: *Haematostaphis barteri* is a savannah species of tropical Africa that has multiple uses and plays an important socio-economic role for rural populations. It is a species from tropical Africa, ranging from Côte d'Ivoire to Sudan, passing through Ghana, Togo, Benin, Nigeria, Cameroon and Tchad. In Benin, it is a confined species along the Atacora chain in north-western and is one of the woody species facing a natural regeneration problem that could affect its genetic diversity. In this study, RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) molecular markers were used to determine the genetic structure of *Haematostaphis barteri* populations in Benin. The genetic diversity revealed from ten primers is relatively high ($h = 0.250$; $I = 0.390$; $H_T = 0.295$; $H_S = 0.245$). On the other hand, the coefficient of differentiation between subpopulations is low ($\Phi_{PT} = 0.17$; $P < 0.001$); which means that 17% of the total diversity is inter-subpopulations. The estimated gene flow is moderate ($N_m = 2,345$ migrants per generation), which implies relatively moderate seed and pollen exchange between subpopulations. In addition, three different genetic groups have been identified, with a marked differentiation of the accessions of the Boukombé group compared to the other two groups, which presupposes the existence of a genetic barrier, probably due to the Atacora chain, and a limitation in the exchange of pollen and seeds with other subpopulations. Rare alleles found in some accessions of the Boukombé genetic group could be used, if associated with interesting morphological and biochemical characters, in breeding and genetic improvement programs.

Keywords: *Haematostaphis barteri*, RAPD, genetic structure, genetic variability, subpopulations, Benin.

Résumé : *Haematostaphis barteri* est une espèce des savanes de l'Afrique tropicale qui fait objet d'usages multiples et qui joue un rôle socio-économique important pour les populations rurales. C'est une espèce d'Afrique tropicale, allant de la Côte d'Ivoire au Soudan, en passant par le Ghana, le Togo, le Bénin, le Nigéria, le Cameroun et le Tchad. Au Bénin, l'espèce est confinée le long de la chaîne de l'Atacora et fait partie des espèces ligneuses confrontées à un problème de régénération naturelle susceptible d'affecter sa diversité génétique. Dans la présente étude, des marqueurs moléculaires de type RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) ont été utilisés pour déterminer la structure génétique des populations de *Haematostaphis barteri* qui existent au Bénin. La diversité génétique révélée à partir de dix amorces est relativement importante ($h = 0,250$; $H_T = 0,295$; $H_S = 0,245$). Par contre le coefficient de différenciation entre sous-populations est faible ($\Phi_{PT} = 0,17$) ; ce qui signifie que 17% de la diversité totale est inter sous-populations. Le flux de gènes estimé est modéré ($N_m = 2,345$ migrants par génération) indiquant un échange de graines et de pollens relativement modéré entre les sous-populations. En outre, trois différents groupes génétiques ont été obtenus avec une différenciation bien marquée des accessions du groupe de Boukombé par rapport aux deux autres groupes, indiquant l'existence d'une barrière génétique probablement due à la chaîne de l'Atacora et une limitation des échanges de graines et de pollens avec les autres sous-populations. Les allèles rares mis en

évidence au niveau de quelques accessions du groupe génétique de Boukombé pourraient être utilisés, s'ils sont associés à des caractères morphologiques et biochimiques intéressants, dans des programmes de sélection et d'amélioration génétique.

Mots clés: *Haematostaphis barteri*, RAPD, structure génétique, variabilité génétique, sous-populations, Bénin.

1. Introduction

Haematostaphis barteri Hook. F (Anacardiaceae), communément appelé prune rouge est l'un des fruitiers dioïques, spontanés, de l'Afrique tropicale dont l'aire de distribution s'étend de la Côte d'Ivoire au Soudan. Au Bénin, les populations de *Haematostaphis barteri* sont exclusivement présentes sur la chaîne de l'Atacora, au Nord-Ouest du département de l'Atacora, mais restent cantonnées dans trois communes frontalières, à savoir: Natitingou, Boukombé et Toucountouna (Sourou et al., 2016a ; Akoègninou et al., 2006).

Haematostaphis barteri Hook. F est une espèce alimentaire mineure qui joue un rôle socio-économique important pour les populations locales le long de la chaîne de l'Atacora au Nord-ouest Bénin, en raison de ses multiples fonctions (Sourou et al., 2016b). En effet, sur le plan nutritionnel, les fruits et les feuilles sont des sources de protéines, vitamines et d'oligoéléments (Eyog et al., 2002). La pulpe des fruits par exemple renferment les glucides (45,48%), les matières grasses brutes (17,76%), les protéines brutes (21,81%), les acides gras (14,21%), les fibres brutes (8,44%) et les éléments minéraux (2,97% ; Aremu et al., 2015). Les feuilles renferment une bonne proportion de fibre brute (33,04%), une proportion relativement moyenne en protéines (13,78 %), une quantité appréciable en hydrates de carbone, en lipide et en éléments minéraux. Les feuilles renferment tous les acides aminés en bonne proportion à l'exception de la cystéine et de la méthionine qui sont en faible proportion (Kubmarawa et al., 2009). Les graines fournissent une huile végétale comestible et riche en acides gras dont les plus abondants sont l'acide oléique (69,35%), l'acide stéarique (15,40%), l'acide éicosadiénoïque (6,92%), acide érucique (2,74%). Le taux d'insaturation de l'huile du *Haematostaphis barteri* est de 79,01% (Eromosele et Eromosele, 2002). Sur le plan médicinal, les racines, l'écorce et les feuilles de *Haematostaphis barteri* sont employé dans plusieurs pays dans le traitement de diverses maladies telles que la malaria (Asase et al., 2005), les trypanosomiasés et l'hépatite (Arbonnier, 2005), les enflures du corps (Ziblim et al., 2013).

En dépit de son importance, *Haematostaphis barteri* subit, à l'instar des autres espèces de la savane, de sérieuses menaces liées aux pressions anthropiques et aux aléas climatiques. Ceci se manifeste par le vieillissement de ses populations, caractérisées par une absence de régénération naturelle et une régression de l'effectif des individus (Medeton et al., 2017 ; Sourou et al., 2016a ; Agbogban et al., 2012 ; Arbonnier, 2002). Tout ceci, ajoutée à la forte clonalité de l'espèce (Medeton et al., 2017) pourrait affecter sa diversité génétique.

Cette situation préoccupante commande que des mesures visant à préserver l'espèce soient prises, et ceci est d'autant plus urgent que *Haematostaphis barteri* figure parmi les espèces dont la biologie et l'organisation génétique sont encore inconnues. La présente étude sur la diversité génétique moléculaire de *Haematostaphis barteri* répond à cette préoccupation. L'étude vise à obtenir des informations susceptibles de contribuer au développement d'actions de régénération, d'aménagement et d'utilisation durable de l'espèce. En effet, en plus des informations sur les aspects socio-économiques et ethnobotaniques, la structure, la variabilité morphologique, les études de diversité génétique sont d'une importance capitale car elles déterminent l'information de base requise pour l'amélioration génétique et la conservation des ressources génétiques d'une espèce.

Pour la caractérisation génétique moléculaire et la gestion des ressources génétiques, une gamme de marqueurs moléculaires basée sur l'ADN est de nos jours disponible. Au nombre de ces marqueurs d'ADN, il y a: les Polymorphismes Simples des Nucléotides (SNP), les Répétitions de Séquences Simples non codantes (SSR ou microsatellites), le Polymorphisme de Longueur des Fragments Amplifiés (AFLP), le Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction (RFLP) et l'Amplification Aléatoire d'ADN Polymorphe (RAPD). La RAPD est basée sur la technique de PCR, réaction de polymérisation en chaîne, et consiste en une amplification de segments aléatoires d'ADN par des amorces de séquences nucléotidiques arbitraires (Williams et al., 1993). Cette méthode présente de nombreux avantages. Bowditch et al. (1993) notent qu'elle requiert une faible quantité d'ADN et ne nécessite aucune connaissance préalable sur le génome concerné. De plus c'est une technique simple, rapide et relativement peu coûteuse. Compte tenu des avantages qu'ils offrent, ces marqueurs ont été utilisés pour évaluer la diversité de nombreuses espèces dont *Populus tremuloides* Michx (Yeh et al., 1995), *Vitellaria*

* Auteur Correspondant : bienvenuesourou@yahoo.fr;

Tél : +22997242352

Copyright © 2020 Université de Parakou, Bénin

paradoxa C.F. Gaertn (Fontaine *et al.*, 2004), *Ivingia gabonensis* (Aubry. Lec. ex O. Rorke) Bail (Lowe *et al.*, 2000), *Vanilla planifolia* Jacks (Besse *et al.*, 2004), *Astragalus microcephalus* Willd (Mehrnia *et al.*, 2005), *Milicia excelsa* (Welw) C. C. Berg (Ouinsavi et Sokpon, 2010), *Brassica oleracea* L. var (Zhang *et al.*, 2014), *Casia tora* (Tilwari *et al.*, 2016) et *Brassica oleracea* (Illahi *et al.*, 2018).

L'objectif de cette étude est d'évaluer la variabilité génétique moléculaire intra et inter sous-populations de *Haematostaphis barteri* au Bénin à l'aide des marqueurs RAPD.

2. Matériel et méthodes

2.1. Sites et collecte du matériel végétal

Les feuilles utilisées pour cette étude ont été collectées dans trois communes du département de l'Atacora sur un total de 108 arbres de *Haematostaphis barteri* échantillonnés au hasard à travers 15 sites (villages) couvrant les quatre sous-populations identifiées sur la base des variables dendrométriques et morphologiques par Sourou *et al.* (2016a) et représentant presque toute l'aire de distribution géographique de l'espèce au Bénin (Figure 1). Le nombre d'arbres échantillonnés par site a varié en fonction de la densité de l'espèce et à l'intérieur de chaque site, une distance d'au moins 100 mètres a été observée entre deux pieds pour éviter d'échantillonner les individus étroitement parentés ou génétiquement identiques (Bekessy *et al.*, 2002). Les coordonnées géographiques des sites et de chaque arbre échantillonné ont été enregistrées à l'aide du GPS (Global Positioning System) Garmin 60.

Sur chacun des arbres de *Haematostaphis barteri* échantillonnés, 5 folioles âgées et saines ont été directement prélevées au hasard puis séchées au silica gel contenu dans des sachets bien étiquetés avant leur utilisation pour l'extraction de l'ADN.

2.2. Extraction et quantification de l'ADN

Les ADN ont été extraits des feuilles séchées de *Haematostaphis barteri* à l'aide du tampon d'extraction au MATAB (Sajida *et al.* 2010). Par échantillon, 30 mg de feuilles séchées sont broyées dans 750 µl du tampon d'extraction au MATAB (1 M Tris-HCl PH 7,5 ; 5 M NaCl ; 0,5 M EDTA PH 8 ; 0,125% Sulfite de sodium ; 1% MATAB) à l'aide d'un mortier. Le broyat est transféré dans un microtube de 2 ml puis incubé dans un bain-marie à 65 °C pendant 2 heures après avoir été bien vortexé. Le broyat est homogénéisé par des retournements successifs des microtubes 3 fois au moins au cours de l'incubation. Après avoir laissé refroidi le broyat pendant 5 mn à la température ambiante, 750 µl de chloroforme iso-amyl (24:1) sont ajoutés, puis le mélange a été soumis au vortex et centrifugé à 14000 rpm pendant 20 mn à la température ambiante. Le

surnageant liquide est récupéré puis transféré dans un nouveau tube de 1,5 ml. L'ADN a été précipité en ajoutant au surnageant un volume équivalent d'isopropanol glacial. Le mélange est centrifugé à 13 000 rpm pendant 15 mn et la phase liquide est délicatement jetée. Le culot d'ADN, obtenu au fond du tube est rincé deux fois avec 300 µl d'éthanol à 70% par centrifugation (13 300 rpm pendant 15 mn). Le culot d'ADN ainsi rincé, est séché à l'étuve à 37°C puis repris dans 100 µl d'eau distillée stérile et conservé à 4°C au réfrigérateur.

La concentration en ADN des différents échantillons a été directement déterminée au Nanodrop.

2.3. Amplification de l'ADN à l'aide des marqueurs RAPD

Sur un total de 40 amorces RAPD fournies par la firme Eurogentec (Technical Data Sheet, FRANCE, Montpellier 34090), et testées sur un échantillon de 12 individus de *Haematostaphis barteri* répartis dans les quatre sous-populations, seules 10 amorces ont permis de générer un très grand nombre de bandes polymorphes et ont été donc sélectionnées et utilisées pour l'amplification PCR dans cette étude.

L'amplification a été faite avec 30-60 ng d'ADN total et dans un volume réactionnel final de 25 µl contenant un tampon d'amplification associé au MgCl₂ d'une concentration de 5x, des amorces à une concentration de 100 µM, des dNTPs à 10 mM et 5U/µl de Taq DNA polymérase. Les amplifications PCR ont été réalisées avec le thermocycleur TECHNE, 3Prime et les conditions d'amplification sont les suivantes : une première dénaturation à 94 °C pendant 4 min suivie de 40 cycles successifs. Chaque cycle comprend une succession de trois phases : une dénaturation à 94 °C pendant 1 min, une phase d'hybridation à la température optimale déterminée entre 32-34 °C pendant 1 min selon l'amorce et une élongation à 72 °C pendant 1 min. Enfin, une dernière étape d'élongation à 72 °C pendant 10 min est programmée et une phase de refroidissement à 4 °C.

Les fragments amplifiés lors de la PCR sont séparés par migration sur des gels d'agarose à 2 % en présence d'un marqueur de poids moléculaire (1Kb DNA Ladder). La solution de préparation des gels est composée de 2 g d'agarose, 100 ml de tampon de Tris Acetate EDTA (TAE 0,5X) pH 8.0 à laquelle on ajoute 3 µl de Bromure d'Ethidium (BET).

L'amplification a été répétée au moins deux fois, et seules les bandes reproductibles et ayant montré des profils clairs ont été considérées dans cette étude.

Deux échantillons de la sous-population de Natitingou II dont les rendements d'ADN ont été assez faibles et n'ayant révélé aucune amplification à la PCR, ont été écartés après plusieurs tentatives infructueuses d'extraction d'ADN et de PCR.

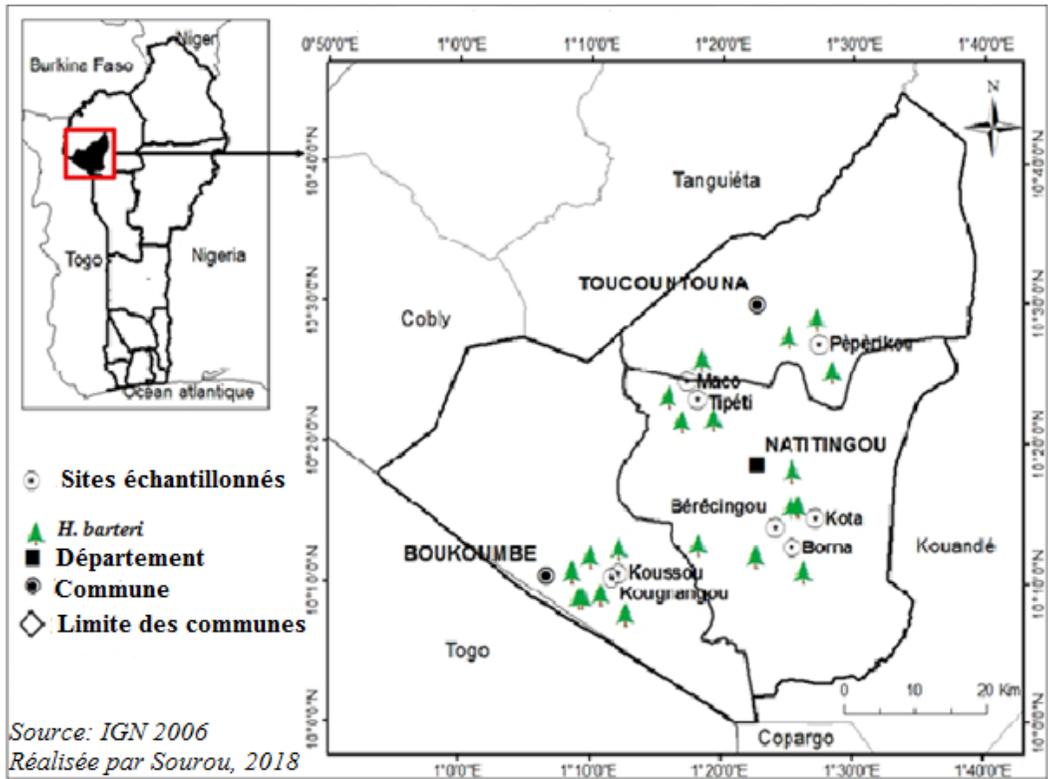


Figure 1: Répartition géographique des sites de collecte des feuilles de *Haematostaphis barteri*

Figure 1: Geographic distribution of *Haematostaphis barteri* leaves collection location

2.4 Méthodes statistiques et analyses moléculaires

Des bandes d'ADN amplifiées clairement identifiables et reproductibles ont été transformées en une matrice binaire codée comme suit : présent =1; absent = 0

Pour décrire la diversité génétique moléculaire intra sous-populations, quatre paramètres ont été calculés. Ils ont été estimés pour chaque locus et la moyenne est prise sur tous les loci, à l'aide du logiciel GenAlEx, version 6.502 (Peakall et Smouse, 2012). Il s'agit : du pourcentage de polymorphisme (P), de la diversité génétique de Nei (h), de la fréquence d'allèles majeurs (FAM) et de la fréquence d'allèles privé (FAP ; Bączkiewicz *et al.*, 2012). Le taux de polymorphisme a été déterminé grâce à la formule suivante tirée de Kadri *et al.* (2006) :

$$P = \frac{(\text{Nombre de bandes polymorphes}) \times 100}{(\text{Nombre total de bandes étudiés})} \quad (1)$$

Une bande est dite polymorphe lorsqu'elle est présente chez certaines accessions et absente chez d'autres.

La différenciation génétique entre les sous-populations a été étudiée à l'aide des distances génétiques

impartiales de Nei (GD) et les statistiques de diversité de gènes de Nei comprenant la diversité génétique totale (H_T) et la diversité génétique à l'intérieur des populations (H_S) (Nei, 1978). Afin de déterminer le degré de différenciation génétique entre les sous-populations (Φ_{PT}), une analyse hiérarchique de variance moléculaire (AMOVA) a été effectuée à l'aide du logiciel GenAlEx 6.502 (Meirmans, 2006). Une estimation de flux de gènes (N_m) traduisant le nombre de migrants effectifs par génération d'une population à une autre a été aussi évaluée à travers la formule de Frankham *et al.* (2002) :

$$N_m = \frac{\left(\frac{1}{\Phi_{PT}}\right) - 1}{2} \quad (2)$$

La relation génétique entre sous-populations a été investiguée à travers une Analyse en Coordonnées Principales (ACoP) basée sur la distance génétique (Chakraborty et Jin, 1993), adéquate pour la comparaison de populations peu divergentes. Afin d'étudier plus en détail les relations génétiques entre les sous-populations de *Haematostaphis barteri*, une analyse bayésienne a été conduite en considérant séparément chacune des 4 sous-populations grâce au logiciel STRUCTURE

(Pritchard *et al.*, 2000). Pour cette analyse avec le logiciel STRUCTURE, le modèle avec « admixture » (le génotype d'un individu peut provenir de plusieurs populations) et l'option des fréquences alléliques indépendantes ont été choisis. Le nombre K de groupes a été varié de 1 à 8, en effectuant 10 simulations par valeur de K. Pour déterminer le nombre optimal K de groupes, la procédure définie par Evanno *et al.* (2005) a été utilisée. A terme, le logiciel STRUCTURE attribue à chaque individu sa probabilité d'appartenance à chaque population. On considère qu'une accession est assignée à un groupe quand sa probabilité d'appartenance à ce groupe est supérieure à 0,70 (Evanno *et al.*, 2005). Lorsque cette probabilité d'affectation est plus faible, les accessions sont considérées en « admixture » : le génotype provient alors de recombinaisons entre plusieurs groupes.

3. Résultats

3.1. Polymorphisme des marqueurs RAPD utilisés

Sur un total de 40 amorces RAPD testées sur un échantillon de 12 individus de *Haematostaphis barteri* répartis dans les quatre sous-populations, huit n'ont généré aucune amplification, quel que soit l'accession analysée et 20 amorces ont généré des amplifications variables avec seulement quelques-unes des accessions. Sur les 12 amorces ayant produit des bandes reproductibles et intenses, 10 ont permis de générer un très grand nombre de bandes polymorphes et ont été donc utilisées dans le reste de l'étude (Tableau 1).

Au total, 59 bandes ont été obtenues à partir des 10 amorces RAPD utilisées pour génotyper les 108 individus de *Haematostaphis barteri* échantillonnés. Le nombre de bandes varie de 2 (OPN-06) à 8 (OPF-08) avec une moyenne de 6 bandes par amorce (Tableau 1). Tous les marqueurs ont été polymorphes et le taux de

polymorphisme variant de 75% (OPF-08) à 100% (OPA-10, OPR-15), avec une moyenne de 94,83%. La figure 1 illustre bien quelques exemples de profils génomiques de 12 accessions sélectionnées au hasard dans les 4 sous-populations de *Haematostaphis barteri* et qui ont servi au screening des amorces RAPD.

3.2. Diversité génétique intra sous-population de *Haematostaphis barteri*

La fréquence d'allèles majeurs (FAM) varie de $0,818 \pm 0,017$ (sous-population de Natitingou II) à $0,831 \pm 0,017$ (sous-population de Natitingou I) avec une moyenne de $0,825 \pm 0,009$ et la fréquence des allèles privés (FAP) varie de 0 (sous-population de Natitingou I, Natitingou II) à $0,051 \pm 0,029$ (sous-population de Boukombé) avec une moyenne de $0,015 \pm 0,017$ (Sous-population Mixte ; Tableau 2).

La diversité génétique de Nei (h) varie de $0,238 \pm 0,024$ (sous-population de Boukombé) à $0,265 \pm 0,020$ (Sous-population Mixte) avec une moyenne de $0,250 \pm 0,011$. L'indice de Shannon (I) varie de $0,371 \pm 0,031$ (sous-population de Boukombé) à $0,413 \pm 0,027$ (sous-population Mixte) avec une moyenne de $0,390 \pm 0,014$.

L'estimation de la diversité génétique de Nei a révélé une diversité génétique totale de $H_T = 0,295 \pm 0,020$ et l'estimation de la variation génétique intra sous-population est de $H_S = 0,245 \pm 0,011$ (Tableau 3).

3.3. Différenciation génétique inter sous-populations de *Haematostaphis barteri*

La différenciation génétique entre sous-populations a été estimée à $\Phi_{PT} = 0,170$ (Tableau 3). Cela signifie que 17% de la variabilité génétique totale est inter sous-populations. Toutefois, lorsqu'on considère les paires de sous-populations, les valeurs les plus élevées du coefficient de différenciation ($\Phi_{PT} = 0,93$ et $\Phi_{PT} = 0,227$) ont été notées avec les paires de sous-populations de Boukombé (Tableau 4).

Tableau 1: Nombre de bandes et pourcentage de polymorphisme révélé par les marqueurs RAPD utilisés

Table 1: Number of bands and percent polymorphism revealed by RAPD primers

Nom des Amorces	Séquence Nucléotidique des amorces	Nombre total de Bandes	Nombre de bandes polymorphes	Pourcentage de Polymorphisme
OPA-10	GTG-ATC-GCA-G	5	5	100
OPE-18	GGA-CTG-CAG-A	6	6	100
OPF-08	GGG-ATA-TCG-G	8	6	75
OPG-14	GGA-TGA-GAC-C	5	5	100
OPI-06	AAG-GCG-GCA-G	6	6	100
OPL-01	GGC-ATG-ACC-T	5	4	80
OPL-12	GGG-CGG-TAC-T	7	7	100
OPN-06	GAG-ACG-CAC-A	2	2	100
OPO-07	CAG-CAC-TGA-C	7	7	100
OPR-15	GGA-CAA-CGA-G	7	7	100
Moyenne		5,8	5,5	94,83

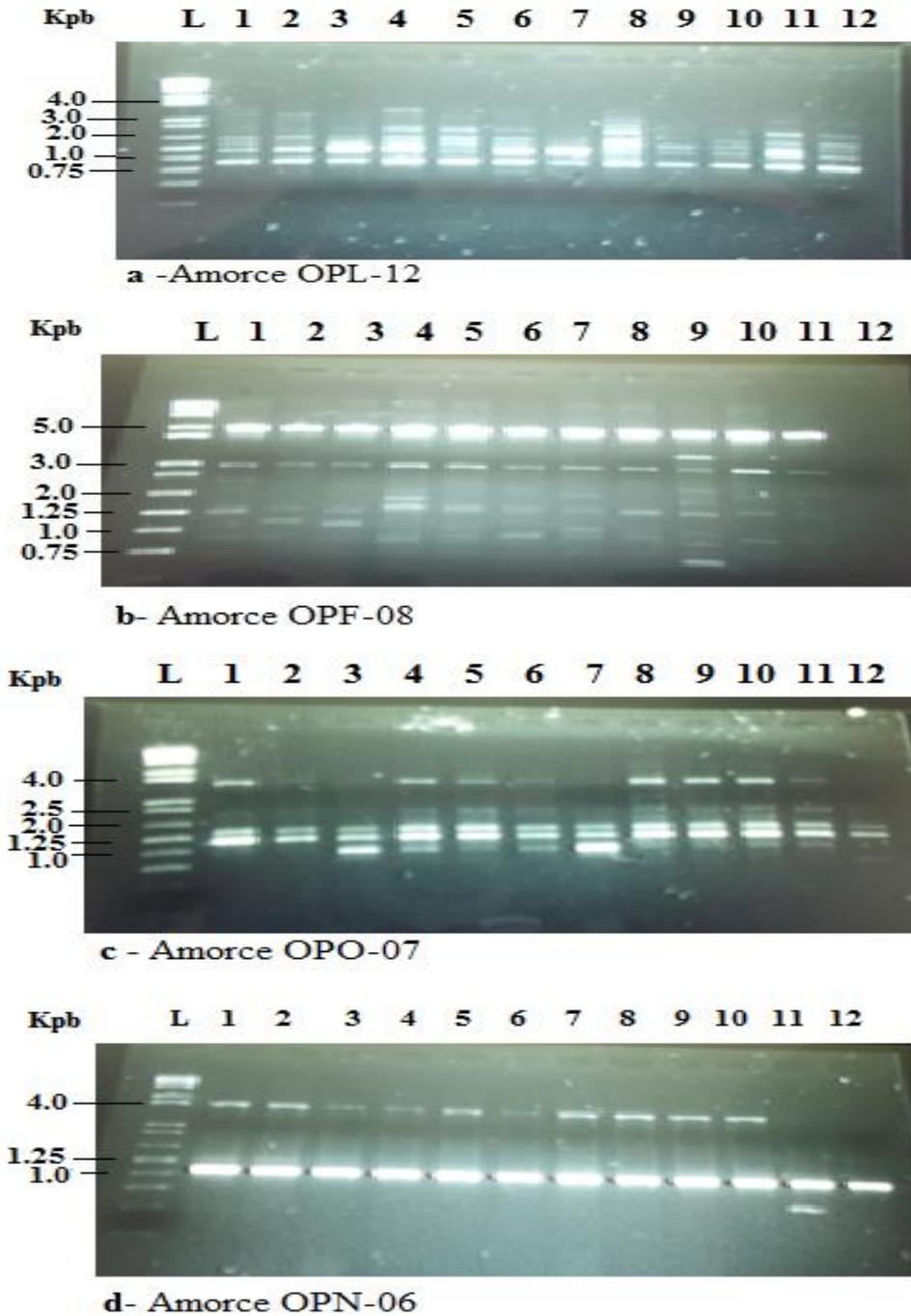


Figure 2 (a, b, c, d) : Exemple de polymorphisme d'ADN génomique de 12 individus des quatre sous-populations de *Haematostaphis barteri* détecté par des marqueurs RAPD (L : marqueur de poids moléculaire « Ladder », 1 à 12 : différents échantillons d'ADN utilisés).

Figure 2 (a, b, c, d): Genomic DNA amplification profile of 12 individuals from the four subpopulations of *Haematostaphis barteri* detected with RAPD markers (L = Molecular weight markers: 1 Kb DNA Ladder, 1 to 12 = different DNA samples).

Tableau 2: Résumé des Statistiques de la Diversité Génétique de quatre sous-populations de *Haematostaphis barteri*.Table 2. Summary of genetic variation statistics in four *Haematostaphis barteri* subpopulations

Sous-populations	Nombre d'arbres	MAF (\pm SE)	PAF (\pm SE)	I (\pm SE)	h (\pm SE)
Natitingou I	23	0,831 (\pm 0,017)	0	0,383 (\pm 0,029)	0,246 (\pm 0,021)
Natitingou II	30	0,818 (\pm 0,017)	0	0,391 (\pm 0,028)	0,250 (\pm 0,021)
Mixte	23	0,829 (\pm 0,017)	0,017 (\pm 0,015)	0,413 (\pm 0,027)	0,265 (\pm 0,020)
Boukombé	32	0,824 (\pm 0,021)	0,051 (\pm 0,029)	0,371 (\pm 0,031)	0,238 (\pm 0,024)
Moyenne (\pm SE)		0,825 (\pm 0,009)	0,017 (\pm 0,012)	0,390 (\pm 0,014)	0,250 (\pm 0,011)

h= diversité génétique de Nei, J= Indice de Shannon, PAF= Fréquence d'allèles privés, MAF= Fréquence d'allèles majeurs, SE= erreur type

h = Nei's genetic diversity, I = Shannon index, MAF = Major Allele Frequency, PAF = Private Allele Frequency, SE = Standard Error

Tableau 3: Statistiques de la diversité génétique de Nei (1973) et différenciation génétique inter sous-populations via AMOVA.

Table 3. Statistics of the genetic diversity of Nei (1973) and genetic differentiation between subpopulations via AMOVA

Paramètres	Données haplotypes			
	H _T	H _S	Φ_{PT}	N _m
Différenciation génétique inter populations via AMOVA	0,295 \pm 0,020	0,245 \pm 0,011	0,170***	2,435

H_T= Diversité génétique totale ; H_S= Diversité génétique intra sous-populations ; Φ_{PT} = Coefficient de différenciation entre populations ; N_m= Flux de gènes ; *** = significatif au seuil de 0,1%

H_T = Total genetic diversity, H_S = Genetic diversity within subpopulations; Φ_{PT} = Genetic differentiation among subpopulations; N_m = Estimate of gene flow; *** = Significant distinction at the level of 0.1%.

Tableau 4: Coefficient de différenciation et flux de gènes entre les sous-populations de *Haematostaphis barteri*.Table 4. Coefficient of genetic differentiation and gene flow between subpopulations of *Haematostaphis barteri*

Sous-populations (Φ_{PT} - N _m)	Natitingou I	Sous-population Mixte	Natitingou II	Boukombé
Natitingou I	****	4,148	2,681	1,207
Sous-population Mixte	0,108	****	8,288	1,701
Natitingou II	0,157	0,057	****	3,313
Boukombé	0,293	0,227	0,131	****

Φ_{PT} = Coefficient de différenciation entre populations (en dessous de la diagonale) ; N_m = Flux de gènes (au-dessus de la diagonale) ; **** = diagonale séparant les valeurs de Φ_{PT} et de N_m.

Φ_{PT} = Coefficient of differentiation between populations (below the diagonal) ; N_m = Gene flow (above the diagonal) ; **** = Diagonal separating Φ_{PT} and N_m values.

Tableau 5: Distances génétiques impariales et les identités génétiques de Néi entre les sous-populations de *Haematostaphis barteri*.Table 5: Nei's genetic identity and Genetic distance among subpopulations of *Haematostaphis barteri*

Sous-populations (GD-GID)	Natitingou I	Natitingou II	Sous-population Mixte	Boukombé
Natitingou I	*****	0,923	0,941	0,851
Natitingou II	0,080	*****	0,965	0,939
Sous-population Mixte	0,060	0,036	*****	0,886
Boukombé	0,162	0,063	0,121	*****

GD=Distances génétiques impariales de Néi (en dessous de la diagonale) ; GID= Identités génétiques de Néi (en dessus de la diagonale) ; **** = diagonale séparant les valeurs de Φ_{PT} et de N_m

GD = genetic distance (below diagonal); GID = Nei's genetic diversity (above diagonal); **** = Diagonal separating Φ_{PT} and N_m values.

Le flux de gène estimé à partir de Φ_{PT} (Hartl, 2000 ; Frankham *et al.* 2002) est égale à $N_m = 2,435$, ce qui montre qu'environ 3 migrants passent d'une sous-population à l'autre au cours d'une génération (Tableau 4). Cependant, lorsqu'on considère les paires de sous-populations, les valeurs les plus faibles du nombre de migrants par génération ($N_m = 1,207$ et $N_m = 1,701$) ont été notées avec les paires de sous-population de Boukombé (Tableau 4). La distance génétique (GD) déterminée par paire de sous-populations a variée de 0,036 à 0,162 (Tableau 5). Les plus grandes distances génétiques ont été notées au niveau des paires de sous-population de Boukombé : GD = 0,162 pour la paire sous-population de Boukombé - sous-population de Natitingou I et GD = 0,121 pour la paire sous-population de Boukombé - Sous-population Mixte. Par contre, la plus faible distance génétique a été observée entre la Sous-population Mixte et celle de Natitingou II (GD = 0,036 ; Tableau 5).

3.4. Structure génétique de *Haematostaphis barteri*

L'analyse en Coordonnées Principales (PCoA) réalisée à partir des distances génétiques entre les paires d'individus de l'ensemble des 04 sous-populations explique, sur les 2 premiers axes, 38,50% de la variance totale. On distingue 03 groupes génétiques nettement constitués et un ensemble d'individus intermédiaires répartis en 02 autres groupes GI 1 et GI 2 ; Figure 3). L'axe 1 sépare nettement le groupe 1 des groupes 2 et 3, et l'axe 2 sépare nettement le groupe 3 du groupe 1. Le même axe (axe 2) sépare également le groupe intermédiaire 1 du groupe intermédiaire 2. Le groupe génétique 2 peut être divisé en deux sous-groupes dont l'un est négativement corrélé avec l'axe 1 et, l'autre positivement corrélé avec l'axe 2.

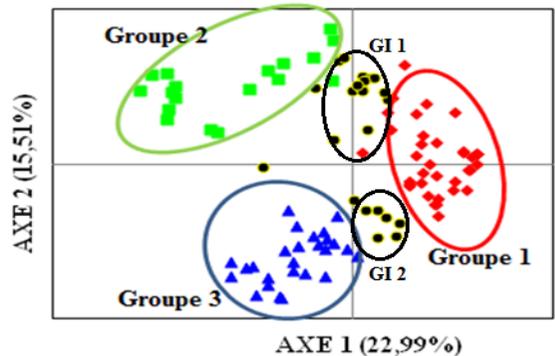
La procédure d'Evanno (2005), qui permet d'évaluer le nombre probable K de groupes en se basant sur le ΔK , montre que la structure génétique la plus représentative est obtenue pour K=2 ($\Delta K=87$), K=2 ($\Delta K=370$), K=3 ($\Delta K=85$) et K=3 ($\Delta K =203,33$) respectivement pour les Sous-population Mixte, Natitingou II, Natitingou I et Boukombé (Tableau 6). En considérant l'ensemble des sous-populations comme une seule population, le nombre de groupes K=3 a été choisi comme définissant le mieux la structure génétique de *Haematostaphis barteri*, sur la base du paramètre ΔK d'Evanno.

Avec ce modèle, les groupes obtenus sont les suivants (Figure 4)

- le groupe 1 « en rouge » (52 accessions), est principalement composé de la quasi-totalité (87%) des accessions de la sous-population de Natitingou II, de la moitié des accessions de la sous-population de Natitingou I, de la moitié des accessions de la Sous-population Mixte et de quelques accessions (15%) de la sous-population de Boukombé.

- Le groupe 2 « en vert » (15 accessions), rassemble environ le quart des accessions de la Sous-population Mixte et quelques accessions provenant des trois autres sous-populations (9% des accessions de la Sous-population de Natitingou I et de celle de la Sous-population de Boukombé et 13% des accessions de la Sous-population de Natitingou II).

- Le groupe 3 « en bleu » (23 accessions), est constitué exclusivement des accessions des sous-populations de Boukombé (57%) et de celles de la sous-population de Natitingou I (43,5%).



● Groupe intermédiaire
 GI 1: Groupe intermédiaire 1
 GI 2: Groupe intermédiaire 2

Figure 3: Représentation graphique de la structure génétique de *Haematostaphis barteri* sur les axes 1 et 2 de l'Analyse en Coordonnées Principales.

Figure 3: Graphical representation of the genetic structure of *Haematostaphis barteri* on axes 1 and 2 of the Principal Coordinate Analysis.

Au total, 90 accessions sur 108 sont clairement assignées, affectées à des groupes (probabilité d'assignation supérieure à 0,70). Les 18 accessions restantes sont en « admixture », c'est-à-dire dont le génotype provient de la recombinaison entre les 3 groupes génétiques clairement constitués. On note 34% d'accessions en « admixture » (11/32) pour la sous-population de Boukombé, 26% d'accessions en « admixture » (06/23) pour la population Mixte, 04% d'accessions en « admixture » (01/23) pour la sous-population de Natitingou I et 00% d'accessions en « admixture » (0/30) pour la sous-population de Natitingou II. Le groupe intermédiaire 1 est essentiellement composé des individus intermédiaires, génétiquement plus proches des groupes 1 et 2 que du groupe 3, alors que le groupe intermédiaire 2 est principalement composé des individus intermédiaires génétiquement plus proches des groupes 1 et 3 que du groupe 2.

Tableau 6: Evolution du nombre K de groupes en fonction de delta K.

Table 6. Evolution of the number K of groups according to delta K.

K	Reps	Delta K			
		Sous-population Natitingou I	Sous-population Natitingou II	Sous-population Mixte	Sous-population Boukombé
1	10	—	—	—	—
2	10	8,579896	369,717128	86,870285	0,957309
3	10	85,061509	171,1631	2,605585	203,333816
4	10	64,227671	8,717255	7,660238	58,603729
5	10	1,909251	0,315674	0,525729	0,631278
6	10	3,339149	0,431156	2,771314	0,335034
7	10	0,341137	0,059145	0,258789	0,801624
8	10	—	—	—	—

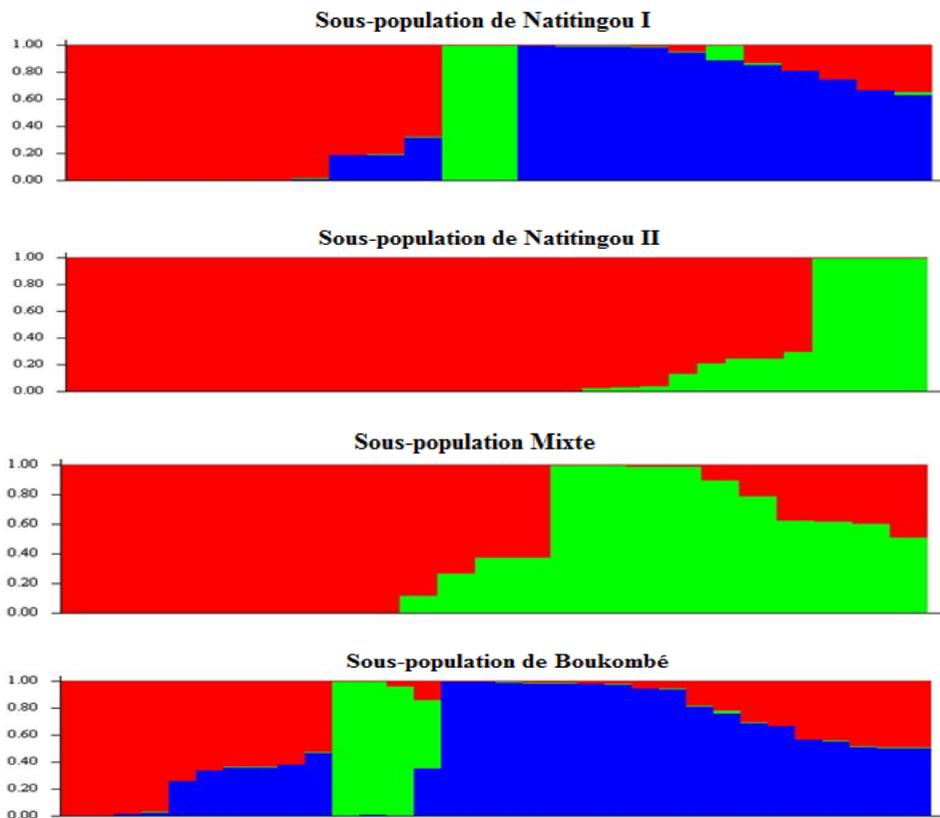


Figure 4: Structure génétique de *Haematostaphis barteri* obtenue sur la base de l'analyse bayésienne avec le logiciel STRUCTURE (Chaque accession est représentée par une ligne verticale segmentée en 3 parties colorées. Une partie correspond à un groupe d'appartenance déterminé rouge = groupe 1, vert = groupe 2 et bleu = groupe 3 ; les accessions dont les probabilités d'appartenance sont inférieures à 0,70 ne sont pas assignées à un groupe).

Figure 4: Genetic structure of *Haematostaphis barteri* obtained on the basis of Bayesian analysis with STRUCTURE software. (Each accession is represented by a vertical line segmented into 3 colored parts. A part corresponds to a given group of membership red = group 1, green = group 2 and blue = group 3; accessions whose probabilities of belonging are less than 0.70 are not assigned to a group).

Les 3 groupes génétiques ne correspondent pas exactement aux 4 morphogroupes (sous-populations) de départ. Cependant, le groupe 3 coïncide bien avec le morphogroupe de Boukombé.

Par ailleurs, les paires du groupe génétique 3 (Tableau 7), ont montré les fortes valeurs de Φ_{PT} et les faibles valeurs de N_m .

4. Discussion

Les marqueurs dominants ont fait l'objet d'une large utilisation pour des études de variabilité génétique et d'identification de variétés de plusieurs espèces (Aga *et al.*, 2005). Cependant, ils manquent de précision et de reproductibilité. Dans cette étude, la reproductibilité a été assurée par la répétition des amplifications d'au moins deux fois, et seules les bandes reproductibles et ayant montré des profils clairs ont été sélectionnées pour les analyses. Au total, 59 bandes reproductibles

dont 56 bandes polymorphes ont été obtenues soit 94,83% de polymorphisme à partir de 10 amorces RAPD sélectionnées. Ce résultat traduit l'efficacité des marqueurs RAPD utilisés pour l'étude de la diversité génétique des sous-populations de *Haematostaphis barteri*. Sur un total de 26 amorces testées, 10 (soit 38,46%) se sont révélées exploitables. Le pourcentage d'amorces utiles engendrant des profils interprétables pour l'analyse de la diversité génétique semble être dépendant de l'espèce, de l'adaptabilité des amorces à l'espèce étudiée et des conditions expérimentales. En effet, des pourcentages variés ont été obtenus par différents auteurs sur d'autres espèces forestières tropicales mais avec des amorces différentes: 66% d'amorces chez *Prunus africana* (Dawson et Powell, 1999), 50% chez *Ivingia gabonensis* (Lowe *et al.*, 2000), 35% chez *Vitellaria paradoxa* (Fontaine *et al.*, 2004) et 28% chez *Gliricidia sepium* (Dawson *et al.*, 1995) générant un polymorphisme interprétable.

Tableau 7 : Coefficient de différenciation et flux de gènes entre les trois groupes génétiques de *Haematostaphis barteri*

Table 7: Coefficient of differentiation and gene flow between the three genetic groups of *Haematostaphis barteri*

Groupes génétiques (Φ_{PT} , N_m)	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3 (sous-population Boukombé)
Groupe 1	****	1,150	0,962
Groupe 2	0,465	****	0,360
Groupe 3 (sous-population Boukombé)	0,509	0,735	****

Φ_{PT} = Coefficient de différenciation entre populations (en dessous de la diagonale) ; N_m = Flux de gènes (en dessus de la diagonale) ; **** = diagonale séparant les valeurs de Φ_{PT} et de N_m

Φ_{PT} = Genetic differentiation among genetics groups (above diagonal); N_m = Estimate of gene flow (below diagonal); **** = Diagonal separating Φ_{PT} and N_m values

Sur la base de ces marqueurs RAPD, la diversité génétique de *Haematostaphis barteri* ($h = 0,250$) est relativement importante. Ce résultat est en contradiction avec le mode de reproduction clonal préférentiel de l'espèce. En effet, l'inventaire des jeunes plants effectué par Medeton et al (2017) a révélé que *Haematostaphis barteri* est une espèce clonale dont 56 % environ de la régénération était issue de souche, 44 % issue de racines et 0 % de brin franc de pied durant toute la période d'inventaire. Cette clonalité préférentielle de l'espèce devrait induire une faible diversité génétique au sein des populations et entre les populations (Medeton *et al.*, 2017).

Cette relative importante diversité génétique de *Haematostaphis barteri* en dépit de son mode de reproduction clonal, pourrait être expliquée par le mode de reproduction allogame noté également chez *Haematostaphis barteri*. En général, les espèces allogames présentent une plus grande diversité génétique que les espèces autogames, résultat prédit par la théorie neutre de l'évolution sur la base du fait qu'un individu allogame (et diploïde) peut stocker à chaque locus deux allèles de

deux parents différents, tandis qu'un individu issu d'une autofécondation peut hériter facilement deux copies d'un même allèle du même parent (David *et al.*, 2006). En d'autres termes, c'est la taille du réservoir utilisé pour stocker l'information allélique qui apparaît déterminante pour expliquer le niveau de diversité d'une espèce. Cela laisse penser donc que les sous-populations de *Haematostaphis barteri*, bien qu'ayant une aire de répartition réduite au Bénin, ont atteint une taille génétique efficace. La valeur de la diversité génétique intra-sous-population ($H_s = 0,245$) de *Haematostaphis barteri* obtenue est relativement importante et reste bien comprise dans les limites (0,103 et 0,266) attendues pour les plantes allogames (Hamrick et Godt, 1997). Cependant, elle est plus importante que celle rapportée sur les populations de *Milicia excelsa* au Bénin (0,168), en Côte d'Ivoire (0,054) et au Sierra Leone (0,122) (Ouinsavi, 2006 ; Khamuja *et al.*, 2005). Mais, elle est plus faible que celle notée sur les populations d'iroko des forêts humides et sèches du Ghana (0,405) (Khamuja *et al.*, 2005). Ce résultat relativement important de la diversité génétique intra sous-populations

pourrait être lié à la migration non moins importante notée entre les paires de sous-populations de l'espèce ($N_m > 2$ migrants par génération). En effet, la migration augmente le niveau de diversité génétique au niveau intra-population en apportant de nouveaux allèles qui peuvent contribuer à augmenter le taux d'hétérozygotes dès la génération suivante (Mush et Valadon, 2004 ; Office National des Forêts, 2004). La diversité génétique totale (H_T) de *Haematostaphis barteri* est relativement importante. Elle est largement supérieure à celle rapportée pour les plantes ayant un mécanisme de pollinisation entomophile (0,167-0,182) et les espèces d'arbres tropicaux à faible aire de répartition géographique (0,150 ; Hamrick & Godt, 1989 ; Loveless & Hamrick, 1984).

Le coefficient de différenciation entre sous-populations de *Haematostaphis barteri* est faible ($\Phi_{PT} = 0,17$), indiquant que 17% de la diversité génétique totale est inter sous-populations. En considérant les caractéristiques bioécologiques de l'espèce (espèce tropicale, aire de répartition réduite, allogamie, pollinisation entomophile), on s'attend à ce qu'elle présente un coefficient de différenciation plus élevé que celui obtenu. En effet, Hamrick et al (1992) ont montré que pour un même niveau de diversité total, les espèces ligneuses endémiques présentent une différenciation plus de 4 fois supérieure à celle des espèces à aire de répartition plus large. Toutefois, les mêmes auteurs précisent que les caractéristiques bioécologiques des arbres n'expliquent qu'en partie la différenciation entre populations. La valeur relativement faible du coefficient de différenciation pourrait s'expliquer par le fait que les 4 sous-populations de *Haematostaphis barteri* seraient relativement proches génétiquement, probablement en raison de la forte clonalité de l'espèce (Medeton et al., 2017). Cette explication est soutenue par le flux de gènes entre sous-populations relativement modérée, allant de 2 à 8 migrants par génération. En effet, contrairement au niveau intra-population, la migration limite, au niveau inter-population, la divergence génétique entre populations et s'oppose à l'adaptation locale et à la dérive génétique par l'apport d'allèles nouveaux (Mush et Valadon, 2004). Par ailleurs, lorsqu'on considère les paires de sous-populations, les valeurs les plus élevées du coefficient de différenciation et les plus faibles valeurs du nombre de migrants par génération ont été notées avec les paires de sous-populations de Boukombé. Ce résultat permet de penser à une différenciation relativement bien marquée de la sous-population de Boukombé par rapport aux autres sous-populations.

L'analyse en coordonnées principales et l'analyse bayésienne ont réparti les accessions des 4 sous-populations de *Haematostaphis barteri* en 3 groupes génétiques distincts, dont deux groupes hétérogènes, constitués d'un mélange d'accessions provenant de chacune des quatre sous-populations et un groupe plus

homogène constitué presque exclusivement des accessions de la sous-population de Boukombé. Ce résultat vient renforcer l'idée de la relative différenciation de la sous-population de Boukombé par rapport aux autres. Cette explication est d'ailleurs soutenue par une fréquence d'allèles privés non nulle au niveau de quelques individus du groupe de Boukombé. Ce qui suggérerait l'existence d'une barrière génétique déterminée probablement par la chaîne de l'Atacora, limitant la dispersion des grains de pollens et des graines entre le groupe génétique de Boukombé et les autres groupes. Des résultats similaires, mettant en jeu des barrières génétiques dans la structuration des populations d'iroko au Bénin, ont été obtenus par Ouinsavi (2006).

5. Conclusion

L'étude de la diversité génétique de *Haematostaphis barteri* a une diversité génétique intra sous-population relativement importante. De même, la valeur du coefficient de différenciation entre les sous-populations est relativement faible, et le flux de gènes estimé est relativement modéré, indiquant un échange modéré de pollens et de graines entre les sous-populations. En outre, trois différents groupes génétiques semblent se distinguer, dont le groupe génétique 3, composé exclusivement des individus de la sous-population de Boukombé. Ce résultat suggère donc que les caractéristiques morphologiques que présentent les arbres de la sous-population de Boukombé ont beaucoup plus un fondement génétique que les autres sous-populations. De plus, il a été noté une différenciation plus ou moins marquée des accessions du groupe de Boukombé par rapport à celles des deux autres groupes génétiques, ce qui suppose l'existence d'une barrière génétique probablement due à la chaîne de l'Atacora et limitant les échanges de pollens et de graines avec les autres sous-populations. La mise en évidence d'allèles privés au niveau de quelques accessions du groupe génétique de Boukombé pourrait servir, s'ils sont associés à des caractères morphologiques et biochimiques intéressants, à la création de programmes de sélection et d'amélioration génétique.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements et nos hommages vont au regretté professeur Nestor SOKPON qui nous a inspiré et aidé à rédiger le protocole de ce travail de recherche avant son décès. Il nous a également mis en partenariat avec le laboratoire de biochimie et de biologie moléculaire du professeur Ambaliou SANNI et le laboratoire de microbiologie et technologie alimentaire du professeur Fatiou TOUNKOUROU, où les analyses génétiques ont été effectuées.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- Aga E., Bekele E., Bryngelsson T. 2005. Inter-simple sequence repeat (ISSR) variation in forest coffee trees (*Coffea Arabica* L.) populations from Ethiopia, *Genetica* 124, 213-221.
- Agbogan A., Tozo K., Wala K., Batawila K., Dourma M. et Akpagana K. 2012. Abondance et structure des populations d'un fruitier spontané : *Haematostaphis barteri* Hook. F. dans deux sites rocheux en région soudanienne au Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6(6): 604-6048. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.31>.
- Akoègninou A., Adjakidje V., Essou J. P., Sinsin B., Yedomonhan H., Van Der Brug W.J., et al. 2006. Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers : Cotonou & Wageningen, 1034 p.
- Arbonnier M. 2002. Arbres arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD-MNHN, 2è ed., 573 p.
- Aremu O.M., Oko J.O., Ibrahim H., Basu K.S., Andrew C., Ortutu S. C. 2015. Compositional evaluation of pulp and seed of Blood Plum (*Haematostaphis barteri*), a wild tree found in Taraba State, Nigeria. *Advances in Life Science and Technology*, 33:9-17. ISSN 2224-7181 (Paper) ISSN 2225-062X Bączkiewicz A. 2012. Genetic diversity of leafy liverwort species (Jungermanniiidae, Marchantiophyta) in Poland: Regional genetic differentiation of leafy liverworts. *Biodiv. Res. Conserv.* 27: 55-76, 2012. DOI 10.2478/v10119-012-0023-4
- Asase A., Oteng-yeboah A., Odamtten T., Simmonds M. 2005. Ethnobotanical study of some Ghanaian anti-malarial plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(2): 273-279. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2005.02.020>.
- Bączkiewicz A. 2012. Genetic diversity of leafy liverwort species (Jungermanniiidae, Marchantiophyta) in Poland: Regional genetic differentiation of leafy liverworts. *Biodiv. Res. Conserv.* 27: 55-76, 2012. DOI 10.2478/v10119-012-0023-4
- Bekessy S. A., Allnut T. R., Premoli A. C., Lara A., Ennos R. A., Burgman M. A., Cortes M and Newton A. C. 2002. Genetic variation in the vulnerable and endemic Monkey Puzzle tree, detected using RAPDs. *Heredity*, 88 : 243-249. DOI: 10.1038/sj/hdy/6800033.
- Besse P., Da Silva D., Bory S., Grisoni M., Le Bellec F., Duval M. F. 2004. RAPD genetic diversity in cultivated vanilla: *Vanilla planifolia*, and relationship with *V. tahitensis* and *V. pompona*, *Plant Science* 167: 379-385.
- Bowditch B. M., Albright D. G., Williams J. G. K. & Braun M. J. 1993. Use of Randomly Amplified Polymorphic DNA Markers in Comparative Genome Studies. *Methods in Enzymology* 224: 294-309.
- Chakraborty R., Jin L. 1993. A unified approach to study hypervariable polymorphisms: statistical considerations of determining relatedness and population distances: 153-175. In: Chakraborty R., Eppel T., Jeffreys A. J. (éds.), *DNA fingerprinting: State of the Science*, Birkhäuser Verlag, Basel.
- David J., Loudet O., Glaszmann J. C. 2006. Le regard de la génomique sur la diversité naturelle des plantes cultivées : contribution Dossier BIOFUTUR n°266 « Génome et diversité chez les plantes cultivées ». pp. 22-27.
- Dawson K. I, Simons J. A, Waugh R, Powell W. 1995. Diversity and genetic differentiation among subpopulations of *Gliricidia sepium* revealed by PCR-based assays. *Heredity*, 74: 10-18; DOI:10.1038/hdy.1995.2
- Dawson K. I, Powell W. 1999. Genetic variation in the Afromontane tree *Prunus africana*, an endangered medicinal species. *Molecular Ecology*, 8(1): 151-156. doi: 10.1046/j.1365-294X.1999.00518.x
- Eromosele C.O., Eromosele I.C. 2002. Fatty acid compositions of seed oils of *Haematostaphis barteri* and *Ximenia americana*. *Bioresource Technology*, 82(3): 303-304. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00179-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00179-1).
- Eyog Matig, Gaoué O.G., Dossou B. 2002. Réseau «Espèces Ligneuses Alimentaires». Compte rendu de la première réunion du Réseau tenue 11-13 décembre 2000 au CNSF Ouagadougou, Burkina Faso 241: Institut International des Ressources Phytogénétiques.
- Evanno, G., Regnaut, S., Goudet, J. 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14 (8) : 2611-2620.
- Frankham, R, Ballou D. J and Briscoe A. D. 2002. Introduction to Conservation Genetics. Cambridge University Press: Cambridge.

- Fontaine C, Lovett P. N, Sanou H, Maley J and Bouvet J. M. 2004. Genetic diversity of the shea tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn), detected by RAPD and chloroplast microsatellite markers. *Heredity* 93: 639–648. doi:10.1038/sj.hdy.6800591
- Hamrick J. I., Godt J. W. 1997. Allozyme diversity in cultivated crops. *Crop Sci.* 37:26–3
- Hamrick K. J. L.), Godt M. J., Sherman-Broy S. L. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests*, 6: 95-124.
- Hamrick K. J. L., Godt M. J. 1989. Allozyme diversity in plant species: 43-63. In: Plant population Press, Sunderland, Massachusetts.
- Illahi A., Mardatillah I., Nasri P. E., Mansyurdin D. I. R. 2018. Genetic Variation in Local Cultivar of Singalang Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) Using RAPD Marker. *Scholars Academic Journal of Biosciences*, 6(8): 579-584
- Kadri K., Snoussi., M'barek B. et Abdallah B. A. 2006. Application de marqueurs moléculaires pour l'analyse de la diversité génétique chez l'amandier (*Prunus dulcis* Mill.). *Cahiers Agricultures* 15(2) :195-202
- Khanuja S. P. S., Shasany A. K., Pawar A., Lal R. K., Darokar M. P., Naqvi A. A. et al. 2005. Essential oil constituents and RAPD markers to establish species relationship in *Cymbopogon Spreng* (Poaceae). *Biochemical Systematics and Ecology* 33: 171–186
- Kubmarawa D., Adnenyang I.F.H., Magomy A.M. 2009. Proximate composition and amino acid profile of two non-conventional leafy vegetables (*Hibiscus cannabinus* and *Haematostaphis barteri*). *African Journal of Food Science*, 3(9): 233-236. DOI: <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Loveless M. D. and Hamrick J. L. 1984. Ecological Determinants of Genetic Structure in Plant Populations. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 65-95 DOI: 10.1146/annurev.es.15.110184.000433
- Lowe A. J., Gillies A. C. M., Wilson J., Dawson I. K. 2000. Conservation genetic of bush mango from central/west Africa: Implication from random amplified polymorphic DNA analysis. *Molecular Ecology* 9, 831-841.
- Medeton B., Biaou S. S. H., Ewedje E, Natta A. K. 2017. Potentiel semencier et contraintes à la régénération par graines de *Haematostaphis barteri*, espèce fruitière autochtone au Nord-Ouest Bénin. *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron.* 7(1) : 98-103.
- Mehrnia M., Zarre S., Sokhan-Sanj A. 2005. Intra- and inter-specific relationship within the *Astragalus microcephalus* complex (Fabaceae) using RAPD. *Biochemistry Systematic and Ecology* 33: 149-158.
- Meirmans, P. G. 2006. Using the AMOVA framework to estimate a standardized genetic differentiation measure. *Evolution* 60, 2399-2402.
- Mush B., Valadon A. 2004. A propos de génétique des populations : contribution de Rendez Vous Techniques de l'Office National des Forêts, hors-série n°1 « Diversité génétique des arbres forestiers ». pp. 6 – 15.
- Nei M. 1973. Analysis of Gene Diversity in Subdivided Populations. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 70(12): 3321-3323
- Nei M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Center for Demographic and Population Genetics*, 89: 583-590
- Office National des Forêts. Direction technique. 2004. Diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu de gestion ordinaire. Rendez-vous technique de l'ONF, hors-série n°1. 130p
- Ouinsavi C.A. N. 2006. Gestion durable des populations reliques d'Iroko au Bénin : Caractérisation structurale, variabilité morphologique et génétique, et stratégies de conservation. Thèse de Doctorat (PhD), Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles (AGRN), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 152p.
- Ouinsavi C. and Sokpon N. 2010. Spatial structure of genetic variation of *Milicia excelsa* population in Benin revealed by random amplified polymorphic DNA markers. *Annales de l'Université de Parakou, Série: Sciences Naturelles et agronomie*: 1-19.
- Peakall, R and Smouse, P. E. 2012. GenAIEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update. *Bioinformatics* 28(19): 2537-2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
- Pritchard J. K., Stephens M., Donnelly P. 2000. Inference of Population Structure Using Multilocus Genotype Data. *Genetics*, 155(2) : 945-959.
- Sajida B, Mohmummad U. D, Ghulam S. N, Imtiaz A. K, Mazher H. N, Fateh C. O, Umeed A. B. 2010. Molecular marker assisted selection for drought tolerant wheat genotypes. *Pak. J. Bot.*, 42(4): 2443-2452.

- Sourou B.N, Ouinsavi C.A.I.N. and Sokpon N. 2016a. Ecological Structure and Fruit Production of Blood Plum (*Haematostaphis barteri* Hook. F) Subpopulations in Benin. *International Journal of Plant & Soil Science* **9**(2): 1-12. DOI: 10.9734/IJPSS/2016/22059.
- Sourou B.N., Yabi J., Ouinsavi C.I.A.N. et Sokpon N. 2016b. Importance socio-économique de la prune rouge (*Haematostaphis barteri* Hook F.) au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(1): 326-343
- Tilwari A, Chauhan D, Sharma R, Singh R. 2016. Assessment of genetic variations among medicinal plant *Casia tora* from different geographic regions of central India using RAPD marker. *Med. Aromat. Plant*, 5(6):2-7. doi: 10.4172/2167-0412.1000276
- Williams J. G. K., Hanafey M. K., Rafalski J. A. & Tingey S. V. 1993. Genetic analysis using random amplified polymorphic DNA markers. *Methods in Enzymology* 18: 704-740.
- Yeh F. C., Chong D. K. X., Yang R. C. 1995. RAPD variation within and among natural populations of Trembling Aspen (*Populus tremuloides* Michx.) from Alberta. *Heredity* 86(6):454-460.
- Zhang J, Zhang L G. 2014. Evaluation of genetic diversity in Chinese kale (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* Bailey) using RAPD amplified polymorphic DNA and sequence-related amplified polymorphism markers. *Gen Mol Res.* 13(2):3567-3576.
- Ziblim A.I., Timothy A.K., Deo-Anyi J.E. 2013. Exploitation and use of medicinal plants, Northern Region, Ghana. *Journal of Medicinal Plants Research.* 7(27): 1984-1993. DOI: 10.5897/JMPR12.489.

Instructions aux auteurs

1 Ligne éditoriale

La revue Annales de l'Université de Parakou Série « Sciences Naturelles et Agronomie », en abrégé AUP-SNA, est une revue scientifique à comité de lecture et en accès libre. Elle est destinée à un public diversifié constitué entre autres de professionnels du développement, chercheurs, enseignants, étudiants et agriculteurs. Les articles, rédigés en français ou en anglais, doivent être originaux, constituer un apport scientifique ou technique important pour ce public et intéresser un lectorat international.

La revue publie des travaux pluridisciplinaires de recherche (expérimentations, enquêtes, modélisations, simulations, méta-analyses, etc.) et des synthèses sur tous les domaines des sciences naturelles, biologiques, agronomiques, environnementales et connexes. Elle s'intéresse en particulier à la rationalisation de la production agricole, l'amélioration des systèmes de production agricole, ainsi qu'à la valorisation et à l'exploitation durable des productions agricoles et des ressources naturelles.

Plus précisément, la revue est ouverte à des travaux concernant :

- Les sciences et techniques de production végétale (phytotechnie, mycologie, horticulture, biotechnologie et protection des végétaux, stockage et conservation des produits de récolte) ;
- Les sciences et techniques de production animale (zootechnie, santé animale, pêche, aquaculture, amélioration génétique des animaux, domestication et exploitation des espèces non conventionnelles) ;
- Les sciences agroalimentaires, la nutrition et la sécurité alimentaire, notamment la transformation et l'utilisation des produits animaux et végétaux dans l'alimentation ou l'industrie ;
- L'aménagement et la gestion des ressources naturelles (forêt, faune, sol, eau) et des territoires ruraux, y compris la sylviculture, l'écologie, les impacts environnementaux, la conservation et l'évolution de la biodiversité, la gestion des aires protégées, l'écotourisme et les aménagements hydro-agricoles ;
- L'économie et la sociologie des systèmes de production agricole et des ressources naturelles ;
- Le développement agricole en général et les innovations techniques, institutionnelles et politiques dans tous les domaines ci-dessus.

Depuis 2018, la revue paraît semestriellement (deux fois par an) et est passée de la publication au format papier à une diffusion électronique uniquement et sans abonnement. Le comité de publication a pour ambition, en effet, d'accélérer le processus de traitement des articles soumis en privilégiant notamment la communication et la publication en format électronique.

Chaque parution est composée d'articles soumis spontanément par leurs auteurs. En outre, des numéros spéciaux peuvent être initiés par le comité de publication autour de thématiques d'actualité et constitués d'articles suscités ou d'actes de réunions scientifiques (conférences, colloques, ateliers, etc) à l'initiative des organisateurs desdits événements ou sur invitation de la rédaction.

Les articles soumis pour publication, y compris dans le cadre de colloques scientifiques, sont examinés par un Comité de lecture des Annales de l'Université de Parakou et des relecteurs anonymes chargés d'apprécier les manuscrits en fonction de :

- L'adéquation à l'objectif de la revue ;
- L'intérêt du sujet traité pour le public de la revue ;
- L'originalité du manuscrit soumis ;
- La rigueur du raisonnement et la clarté de la rédaction.

La décision finale d'acceptation ou de rejet de l'article est prise par le Comité de Publication.

2 Présentation des manuscrits

Tous les manuscrits doivent être conformes aux instructions suivantes avant d'être examinés.

- La longueur souhaitée d'un manuscrit est au plus 8 000 mots. La revue peut toutefois admettre, à titre exceptionnel, des textes plus longs, notamment pour les articles synthèse comportant de nombreuses références bibliographiques. La longueur de l'article s'entend pour des textes complets incluant titre, résumés en français et en anglais, mots clés, texte, références bibliographiques, tableaux et illustrations avec leurs titres et légendes bilingues ;
- Les éléments constituant l'article (titre et résumé en français et en anglais, mots clés, texte, références bibliographiques, tableaux et illustrations avec leurs titres et légendes bilingues) devront être regroupés dans un seul fichier rendu anonyme ;
- Le titre, le résumé et l'introduction de l'article doivent comporter tous les éléments permettant de saisir l'intérêt scientifique de l'article, son originalité et sa pertinence, en donnant envie de le lire ;
- Les manuscrits doivent être rédigés dans un logiciel de traitement de texte compatible avec Windows, au format A4, police « Times New Roman 12 » et paginés, avec une marge normale (2,54 cm) sur tous les bords et en interligne double ;
- Les sous-titres sont limités à trois niveaux au plus et le texte doit être rédigé en caractère normal sans gras, et sans aucun mot souligné (à l'exception des liens URL);
- Les notes en bas de page ne sont pas acceptées ;
- Les illustrations seront limitées au minimum nécessaire pour la compréhension de l'article (en général 5 à 6 tableaux et/ou figures) et seront fournies avec leurs titres et légendes bilingues (français et anglais) ;
- Le texte doit être rédigé dans un langage simple et compréhensible, en français ou en anglais. Les abréviations internationales sont acceptées (FAO, DDT, etc.).
- Seules les unités de mesure, les symboles et équations usuels du système international (SI) sont acceptés ;
- Les fractions seront présentées sous la forme " $7/25$ " ou " $(a + b)/c$ ".
- Les auteurs des noms scientifiques seront cités seulement la première fois que l'on écrira un nom scientifique dans le texte (et pas dans le titre de l'article).
- Dans le texte, utiliser avec modération les termes techniques très spécialisés, les abréviations et sigles peu connus, et les expliciter systématiquement lors de leur premier emploi dans le résumé et le corps du texte.
- Les manuscrits seront subdivisés en plusieurs parties sur des pages séparées et dont les contenus sont décrits ci-après.

2.1 Page 1 : Titre et affiliations des auteurs

Cette page doit indiquer clairement :

- Le titre de l'article (20 mots au maximum) en français et en anglais : il comporte l'objet et le taxon s'il y en a avec les noms scientifiques sans auteur (s) ;
- Le titre réduit de l'article dans la langue de rédaction de l'article (10 mots au maximum) ;
- Les noms des auteurs de l'article précédés de leurs prénoms ;
- Les affiliations des auteurs de l'article (nom de l'université ou de l'institution suivi du nom du laboratoire ou du département, et enfin l'adresse postale et l'adresse email) ;
- Le contact de l'auteur correspondant : adresse email et numéro de téléphone.

2.2 Page 2 : Résumé et abstract

Un bref résumé (300 mots maximum) dans la langue de l'article est nécessaire. Ce résumé sera précédé d'un résumé détaillé dans la seconde langue (français ou anglais selon le cas). Les sections devant être résumées comprennent l'introduction (contexte, problématique et objectifs), la méthodologie, les résultats et la conclusion.

Six (6) mots clés suivront chaque résumé, décrivant l'article le plus complètement possible, et indexés dans le thésaurus Agrovoc de la FAO (<http://aims.fao.org/standards/agrovoc/functionalities/search>). Les mots clefs seront séparés par des virgules. Indiquer d'abord l'espèce ou l'objet au centre de l'étude et terminer par le pays où a eu lieu l'étude. Exemple : Iroko, *Milicia excelsa*, variation génétique, RAPD, structure des populations, Bénin.

2.3 Texte

Tous les articles originaux doivent être structurés de la manière suivante : Introduction, Matériel et méthodes, Résultats, Discussion, Conclusion, Conflits d'intérêt, Remerciements (si nécessaire) et Références bibliographiques. Si l'auteur le désire, Résultats et Discussion peuvent être combinés.

Introduction : L'introduction présente la nature et l'importance du problème et le place dans le contexte de ce qui est déjà connu (revue de la littérature). Elle permet de justifier le choix de l'hypothèse et de la démarche scientifique. Les objectifs, les questions ou les hypothèses de l'étude doivent être clairement énoncés et découler logiquement de la problématique et du point des connaissances présentés.

Matériel et Méthodes : Cette section présente les méthodes employées pour arriver aux résultats et permet de juger de la valeur scientifique des travaux. La description du protocole expérimental doit contenir (Dagnélie, 2012) : les conditions de réalisation de l'expérience ou de la recherche ; les individus qui ont été observés (population, échantillonnage...) ; l'organisation de l'expérimentation (durée, traitements, nombre d'observations, d'échantillons, de répétitions...) ; les observations qui ont été réalisées (variables dépendantes et indépendantes) et les méthodes (techniques, instruments...) de collecte de ces observations ; les outils statistiques d'analyse des observations ; l'incertitude relative et la précision des instruments. Pour un protocole déjà bien décrit dans la littérature, une description brève avec un renvoi à une référence sont suffisantes.

Résultats : Cette section sert à présenter les principaux résultats de l'étude (sous forme de chiffres, de tableaux et/ou de figures), sans interprétation ou discussion et en relation avec la question ou l'hypothèse centrale de la recherche. Un ordre de présentation logique représentant le raisonnement de l'auteur doit être employé, afin d'aider le lecteur à comprendre ce raisonnement.

Discussion : Dans cette partie, la réponse à la question ou l'hypothèse centrale doit être apportée. Il faut faire référence aux résultats, sans les reprendre, et expliquer comment ces nouveaux résultats améliorent la connaissance scientifique. La discussion doit aussi apporter une explication sur les résultats, y compris ceux non attendus, en lien avec les recherches précédentes, et présenter au besoin les limites de la recherche réalisée.

Conclusion : Elle précise les implications théoriques et pratiques importantes de l'étude ainsi que les perspectives et/ou recommandations en lien avec résultats présentés. Elle est différente du résumé et ne doit pas être une reprise de celui-ci.

Conflits d'intérêt : Cette section permet de signaler tout conflit d'intérêt existant.

Remerciements : Introduire si nécessaire une section « Remerciements » pour les contributeurs techniques, financiers ou institutionnels.

Références bibliographiques : Les auteurs sont responsables de l'orthographe des noms cités dans les références bibliographiques. Dans le texte, les références sont citées en précisant les noms des auteurs (sans les prénoms ou initiales des prénoms) et la date de publication de la manière suivante : Dupont (1995) ou Dupont & Dupont (1990) ou dans le cas de plus de deux (2) auteurs, Dupont et al. (1978). Dans les cas de plusieurs citations d'auteurs-date, les séparer par un point-virgule. Si un auteur donné ou plusieurs mêmes auteurs ont publié la même année, ajouter les lettres a, b, c, etc. après l'année de publication. Il est déconseillé de citer des documents non publiés (à l'exception des textes officiels) ou difficiles à trouver.

Dans la liste des références bibliographiques, les noms d'auteurs seront rangés par ordre alphabétique des noms des auteurs. Citer tous les auteurs jusqu'à 6 ; au-delà de 6, maintenir les 6 premiers, suivis de et al. Lorsqu'un article ou un document est téléchargeable ou au moins consultable sur Internet, indiquer entre parenthèses, à la fin de la référence, l'URL correspondante. Il est aussi recommandé de préciser le DOI d'une référence bibliographique, lorsqu'il existe. Les noms des revues scientifiques ou des titres de conférences peuvent être abrégés. Le cas échéant, utiliser les standards internationalement reconnus. Voir par exemple :

- https://images.webofknowledge.com/images/help/WOS/A_abrvjt.html
- http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/office/abk_EN
- <http://library.stanford.edu/guides/find-journal-abbreviations>

Selon les types de publications, les références bibliographiques seront présentées comme suit :

* Pour les revues

- Adjanohoun E. 1962. Etude phytosociologique des savanes de la basse Côte-d'Ivoire (savanes lagunaires). *Vegetatio* 11 : 1-38.
- Grönblad R. Prowse G. A. & Scott A. M. 1958. Sudanese Desmids. *Acta Bot. Fenn.* 58: 1-82.
- Thomasson K. 1965. Notes on algal vegetation of lake Kariba. *Nova Acta R. Soc. Sc. Upsal.*, ser. 4, 19 (1) : 1-31.
- Poche R. M. 1974a. Notes on the roan antelope (*Hippotragus equinus* (Desmarest) in West Africa. *J. Applied Ecology*, 11: 963-968.
- Poche R. M. 1974b. Ecology of the African elephant (*Loxodonta africana*) in Niger, West Africa. *Mammalia*, 38: 567-580.

* Pour les contributions dans les livres

- Whitton B.A. & Potts M. 1982. Marine littoral: 515-542. In: Carr N.G. & Whitton B. A. (eds.), The biology of cyanobacteria. Oxford, Blackwell.
- Annerose D. & Cornaire B. 1994. Approche physiologie de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées pour l'amélioration de la production en zones sèches: 137-150. In Reyniers F. N. & Netoyo L. (eds). Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Ed. John Libbey Eurotext. Paris.

* Pour les livres

- Zryd J. P. 1988. Cultures des cellules, tissus et organes végétaux. Fondements théoriques et utilisations pratiques. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Suisse.
- Stuart S. N., Adams R. J. & Jenkins M. D. 1990. Biodiversity in sub-Saharan Africa and its islands. IUCN- The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

* Pour les thèses

- Batonon D. I. 2014. Systèmes d'alimentation alternatifs pour le développement des filières volaille en régions chaudes. Thèse de Doctorat, Université François Rabelais, Tours, France, 160 p.

* Pour les communications

- Viera da Silva J. B., Naylor A. W. & Kramer P. J. 1974. Some Ultrastructural and enzymatic effects of water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. Proceedings of Nat. Acad. Sci. USA: 3243-3247.
- Lamachere J. M. 1991. Aptitude du ruissellement et de l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. Actes de l'Atelier sur Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Niamey, Niger, IAHS n°199 : 109-119.

* Pour les abstracts

- Takaiwa F. & Tanifuji S. 1979. RNA Synthesis in embryo axes of germination pea seeds. Plant Cell Physiol., 20 (5): 875-884. In: Crop Physiology Abstracts, 1980, 4533.

* Pour les sites web

- Heuzé V., Tran G., Bastianelli D., Hassoun P. & Renaudeau D. 2015. Sweet potato (*Ipomoea batatas*) tubers. Feedipedia, INRA, CIRAD, AFZ, FAO, www.feedipedia.org/node/745 (consulté le **jour mois année**).

2.4 Logiciels de gestion des références bibliographiques et styles applicables

Pour faciliter la préparation de votre manuscrit, nous vous recommandons fortement d'utiliser un logiciel de gestion des références bibliographiques. Il en existe plusieurs gratuits sur Internet dont les plus populaires sont Mendeley (www.mendeley.com) et Zotero (www.zotero.org). Les fichiers de styles pour ces deux logiciels (et aussi Papers2) s'appuient sur un langage appelé « Citation Style Language (CSL) » et peuvent donc être utilisés indifféremment avec l'un ou l'autre des logiciels. Les paragraphes ci-après expliquent la procédure d'installation du style de la revue Annales de l'Université de Parakou Série « Sciences Naturelles et Agronomie » dans Mendeley et dans Zotero.

Installation du style AUP-SNA dans Mendeley : Le style propre aux Annales de l'Université de Parakou – Série Sciences Naturelles et Agronomie est téléchargeable à l'adresse suivante : <http://cs1.mendeley.com/styles/14860463/harvard-AnnalesUP-SNA-1>. Pour l'installer dans Mendeley, aller dans le menu : View >> Citation Styles >> More Styles (aller sur l'onglet Get More Styles). En bas de la boîte de dialogue, ajouter le lien ci-dessus et cliquer sur Download. Le style est automatiquement installé et vous pouvez l'utiliser pour mettre en forme vos références.

Installation du style AUP-SNA dans Zotero : Avec l'application Zotero standalone, vous devez d'abord télécharger le style sur votre ordinateur (avec l'extension « .csl ») depuis l'adresse : <http://cs1.mendeley.com/styles/14860463/harvard-AnnalesUP-SNA-1>. Pour l'installer, faites un clic-double sur le fichier téléchargé pendant que l'application Zotero est ouverte ou ouvrez le avec Zotero et confirmez l'installation.

2.5 Illustrations : tableaux et figures

Tous les tableaux et figures doivent être numérotés en chiffres arabes (tableau 1 ; figure 2) et cités dans le manuscrit avec leur numéro dans un ordre chronologique. Chaque tableau ou figure doit avoir un titre. Leurs titres et légendes doivent être clairs, concis et bien préciser le contenu pour être compréhensibles sans recours au texte. Ils doivent être aussi traduits dans la seconde langue (français ou anglais) selon la langue de rédaction du manuscrit. Les schémas, cartes et photos sont uniformément désignées comme des figures.

Les titres des tableaux seront écrits en haut de chaque tableau de données, et ceux des figures seront écrits en bas des illustrations. Les figures et les tableaux seront positionnés immédiatement après leur première citation dans le texte ou sur la page suivant immédiatement (et non en fin de l'article). Il faut éviter de répéter les mêmes données contenues dans les tableaux et figures dans le texte.

Pour les tableaux et les figures comprenant du texte, utiliser une police de taille 11 ou 12 ; autrement ils deviendraient illisibles, après réduction. Dans les figures, éviter les trames et préférer des figurés plus grossiers (points, hachures, etc) et utiliser une résolution minimum de 600 dpi environ pour les schémas contenant des lignes et 400 dpi pour les images tramées, photos ou graphiques avec nuances de gris pour que les figures soient lisibles. Les figures (schémas, cartes, photos, etc) en couleur sont acceptées mais les tableaux seront présentés de préférence en noir et blanc.

Pour les tableaux, les bordures des colonnes seront rendues invisibles et seules les bordures de la première ligne et de la dernière ligne seront visibles.

Dans l'hypothèse où certaines des illustrations seraient réalisées par des tiers, qu'elles aient déjà été publiées ou non, l'auteur s'engage à obtenir auprès de ces derniers l'ensemble des autorisations nécessaires à l'intégration de ces illustrations dans son article et à leur exploitation sous cette forme. Il fournira ces autorisations de reproduction avec son manuscrit. Les actes officiels (lois, décrets, décisions, etc) ne sont pas concernés.

2.6 Matériel supplémentaire

Des éléments non essentiels à la compréhension du travail, mais dont les auteurs pensent qu'ils peuvent avoir un intérêt pour les lecteurs, peuvent être annexés à l'article ; ils sont présentés à sa suite (après les références) comme « matériel supplémentaire ». Les matériels supplémentaires sont indiqués dans le texte par des appels : « (matériel supplémentaire I)... ».

3 Soumission et évaluation des manuscrits

3.1 Adresse et documents de soumission

Les articles sont soumis sous forme électronique. La soumission se fait exclusivement par e-mail à l'adresse unique suivante : revue.sna.annaes-up@fa-up.bj. Aucune attention ne sera accordée à un manuscrit envoyé sous une autre forme ou à une autre adresse.

Chaque soumission comprend :

- une lettre de soumission de l'article selon le modèle de la revue AUP-SNA (obligatoire)
- le manuscrit de l'article en un seul fichier « .doc », « .docx » ou « .rtf » (obligatoire)
- les autorisations de reproduction d'illustrations réalisées par des tiers (si applicable)
- les adresses électroniques de tous les co-auteurs du manuscrit ainsi que leurs affiliations (obligatoire).

3.2 Préservation de l'anonymat des auteurs et des évaluateurs

Le processus d'évaluation par les pairs se fera en protégeant autant que possible l'anonymat des auteurs vis-à-vis des évaluateurs et vice versa. À ce titre, les auteurs et évaluateurs doivent éliminer leur identité des propriétés du fichier (menu Fichier dans Word), en cliquant sur les commandes suivantes dans les versions récentes de Word: Fichier > Info > Inspecter le document > Supprimer les informations personnelles du fichier lors de l'enregistrement > Enregistrer (ou OK). De même, les auteurs sont invités à ne pas laisser apparaître sur les tableaux de données, cartes, photos ou illustrations des labels, notes ou légende pouvant permettre d'identifier un ou plusieurs des co-auteurs du manuscrit soumis.

3.3 Etapes d'évaluation des manuscrits

Les manuscrits soumis à la revue passent successivement par (1) une analyse de recevabilité ou pré-évaluation du manuscrit (texte complet, lettre d'accompagnement et anonymisation des fichiers) ; (2) une analyse de conformité à la ligne éditoriale de la revue et d'originalité des résultats ; (3) un contrôle de plagiat et d'auto-plagiat ; (4) une évaluation anonyme par des experts internationaux.

À chacune de ces étapes, l'article pourra être renvoyé à l'auteur correspondant avec copie aux co-auteurs, s'il n'est pas conforme aux instructions et à la ligne éditoriale de la revue ou s'il est jugé de qualité insuffisante.

3.4 Contrôle de plagiat et d'auto-plagiat

La revue Annales de l'Université de Parakou - Série Sciences Naturelles et Agronomie est engagée contre le plagiat et l'auto-plagiat. La pré-évaluation inclut le contrôle de plagiat à l'aide de logiciels informatiques sous contrôle du Comité de publication. Pour tous les manuscrits, le rapport de contrôle de plagiat est fourni aux auteurs, mettant en exergue les sources plagiées ainsi que les liens internet vers ces sources. *Le manuscrit est rejeté lorsque le taux de plagiat est élevé.*

3.5 Épreuves et révision des manuscrits

Les épreuves sont adressées par l'éditeur à l'auteur correspondant par e-mail et avec copie aux co-auteurs. En cas de demande de révisions, la version modifiée doit être renvoyée par l'auteur

correspondant dans un délai d'*une semaine pour des révisions mineures* et d'*un mois pour des révisions majeures*. Toutes les recommandations des experts sont à prendre en compte. En cas de désaccord avec certaines remarques, l'auteur argumente clairement les raisons pour lesquelles elles ne sont pas intégrées au nouveau manuscrit. Un document récapitulant toutes les modifications faites en réponse aux commentaires des relecteurs est joint à la version révisée.

Après corrections et acceptation définitive de l'article, celui-ci sera publié en ligne en version pdf téléchargeable. Dans le même temps, l'auteur recevra par email la version finale au format pdf en guise de tiré à part.

4 Contribution aux frais de publication

Les auteurs doivent contribuer aux frais de publication à hauteur de 25 000 FCFA (soit 40 Euros) par article accepté, dans un délai de 7 jours suivant l'acceptation de l'article.

5 Politique de droits d'auteurs

Les droits d'auteurs sur le contenu des articles publiés dans les Annales de l'Université de Parakou Série « Sciences Naturelles et Agronomie » demeurent à leurs auteurs. Ceux-ci garantissent que le contenu de ces articles est original, qu'ils sont bien titulaires des droits et que l'article n'a pas déjà été publié dans une autre revue ou sur tout autre type de support. Les auteurs garantissent également que l'article ne contient aucun emprunt à une œuvre de quelque nature que ce soit. Dans le cas contraire, les auteurs fournissent les autorisations signées des titulaires des droits de ces œuvres pour cette nouvelle exploitation.

Les auteurs autorisent la revue à publier leurs articles en ligne. Ils sont libres de reproduire l'article, d'en distribuer des exemplaires, de présenter, représenter ou communiquer les articles au public par tout procédé technique.

6 Conseils généraux

- Conseils méthodologiques : Pochet B. (2015). Comprendre et maîtriser la littérature scientifique : <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/186181> ou <http://infolit.be/CoMLiS>.
- Logiciels gratuits pour l'édition des images : <http://www.archimag.com/vie-numerique/2016/03/02/3-outils-gratuits-retoucher-photos-pro>
- Logiciels gratuits de gestion des citations et références bibliographiques : https://www.mpl.ird.fr/documentation/download/ENW_Zotero_Mendeley_AperoDoc.pdf et <http://espacechercheurs.enpc.fr/fr/lgrb>
- Logiciels anti-plagiat gratuits : <http://www.archimag.com/bibliotheque-edition/2017/03/01/plagiat-3-outils-reperer-copies-colles> ; <https://www.redacteur.com/blog/logiciel-anti-plagiat-gratuit/> et <http://www.precisement.org/blog/Logiciels-anti-plagiat-gratuits-et-payants-une-selection.html>.

La rédaction remercie les auteurs de l'attention qu'ils porteront à suivre ces instructions. Leur strict respect facilitera grandement la publication de leur article et réduira les délais de parution.