



# Annales de l'Université de Parakou

Parakou, Bénin

Série « Sciences Naturelles et Agronomie »

ISSN 1840-8494 / eISSN 1840-8508

Décembre 2019, Volume 9, Numéro 2



Juvéniles d'autruche d'Afrique (*Struthio camelus*), famille des Struthionidae, obtenus suite à l'éclosion d'œufs dans l'élevage de la ferme Tatagtou de Dassari (Commune de Matéri, Bénin). Photo NAGO G. et BIO KERI A.W. (Septembre 2018).

L'autruche d'Afrique est le plus grand des oiseaux. C'est aussi le seul oiseau à ne posséder que deux orteils sur chaque pied. Son poids adulte est de 90 à 156 kg en fonction du sexe et de la sous-espèce (<https://bit.ly/36XF71Z>).

# 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 No 11903 du 23/12/2019, 4<sup>ème</sup> trimestre, Bibliothèque  
Nationale du Bénin

Email : [revue.sna.annaes-up@fa-up.bj](mailto: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° 11901 du 23/12/2019, 4ème trimestre,  
Bibliothèque Nationale du Bénin

Email : [revue.sna.annaes-up@fa-up.bj](mailto:revue.sna.annaes-up@fa-up.bj)

## Sommaire - Volume 9, Numéro 2 (Décembre 2019)

<b>Contenu et auteurs</b>	<b>Pages</b>
<b>Caractérisation de l'état actuel et des modes d'exploitation des retenues d'eau au Bénin</b>	1-14
Rodrigue O.E. PELEBE, Issa N. OUATTARA, Eloi Y. ATTAKPA, Bernardin W. DIMON YAI, Jonas C. F. DASSOUNDO-ASSOGBA, Ibrahim IMOROU TOKO, Elie H. MONTCHOWUI	
<b>Evaluation des usages et disponibilité des plantes ligneuses utilisées en médecine traditionnelle dans la zone guinéo-congolaise du Bénin</b>	15-28
Perpétue B. AKPI, Thierry D. HOUEHANOU, Alain S. YAOITCHA, Carlos C. AHOYO, Gérard GOUWAKINNOU, Samadori S. Honoré BIAOU, Armand NATTA, Marcel R.B. HOUINATO	
<b>Local perception and factors affecting conservation status of gallery forests, habitat of orchid species</b>	29-40
Eméline S. P. ASSEDE, Abdou-cherifou IKOUKOMON, Samadori S. H. BIAOU, C.A.M.S. DJAGOUN, Armand K. NATTA	
<b>Prévalence et facteurs associés de la dénutrition chez les enfants de 0 à 59 mois au Bénin dans la commune de Karimama</b>	41-48
Albert KORA SABI, Jean KPETERE, Enoch AKPO, Moucktarou ABDOULAYE, Gwladys TANKOUANOU, Ephraïm ALLOLA, Ismaël AMADOU, Narcisse ANAGONOU, Daniel SABI FERI, Louis NANAKO	
<b>Estimation of Optimal Portfolios of Governance Structures for Improving Benin' Rice Producers' Income</b>	49-60
Ogoudélé Simon CODJO, Rose FIAMOHE, Sylvain KPENAVOUN, Denis ACCLASSATO, Gauthier BIAOU	

**Procédé de Production, caractéristiques microbiologique, physicochimique et sensorielle du chakpalo, bière traditionnelle de maïs en Afrique de l'Ouest** 61-78

Ayodélé Mariam EGOUNLETY, Générose VIERA-DALODE, Paul HOUSSOU, Joseph DOSSOU

**Toxicité aigüe et subaigüe de l'insecticide Acer 35 EC et de la lambda-cyhalothrine chez les œufs fécondés et les géniteurs du poisson-chat africain (*Clarias gariepinus*)** 79-90

Mahugnon A. B. HOUNDJI, Ibrahim IMOROU TOKO, Léa GUEDEGBA, Prudencio T. AGBOHESSI, Edith YACOUTO, Bruno SCHIFFERS, Marie-Louise SCIPPO, Patrick KESTEMONT

**Instructions aux auteurs** 91-98

---





## Caractérisation de l'état actuel et des modes d'exploitation des retenues d'eau au Bénin

Rodrigue O.E. PELEBE<sup>1</sup>, Issa N. OUATTARA<sup>2</sup>, Eloi Y. ATTAKPA<sup>3</sup>, Bernardin W. DIMON YAI<sup>1</sup>, Jonas C. F. DASSOUNDO-ASSOGBA<sup>4</sup>, Ibrahim IMOROU TOKO<sup>1</sup>, Elie H. MONTCHOWUI<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique, Bénin

<sup>2</sup> Université Félix HOUPOUET-BOIGNY, Unité de Formation et de Recherche Biosciences, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Ecotechnologie des Eaux, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup> Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions Animales, Bénin

<sup>4</sup> Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire d'Analyse et de Recherche sur les Dynamiques Économiques et Sociales, Bénin

<sup>5</sup> Université Nationale d'Agriculture, Ecole d'Aquaculture de la Vallée, Bénin

Reçu le 16 Août 2019 - Accepté le 17 Décembre 2019

### Characterization of the current state and exploitation modes of the water reservoirs in Benin

**Abstract:** Benin has numerous water reservoirs which are still poorly documented. This paper deal with the current state and exploitation modes of these water reservoirs. Data were collected through socio-economic surveys, in situ measurements and laboratory works. Results show that 79% of the water reservoirs have an irregular shape. Also, 71.43% of these hydraulic structures keep a sufficient volume of water from April to November and the physico-chemical water quality is suitable for tropical fish farming. More than 60% of the water reservoirs have their spillways and dikes in poor condition. The more one moves from the North-south to the North-north zone (from Savè to Banikoara), the more state of water reservoirs degradation increases. Exploitation of these aquatic environments involve several actors with different interests. It is about fishermen, breeders, market gardeners and farmers. At 96.43%, water reservoirs are managed by the management committees which have, among other attributions, to issue the fishing activity authorization. Baited long lines, gillnets, cast net and seine net are the main used fishing gears. Fishermen capture daily  $4.65 \pm 2.63$  kg of fish which is sold at  $1023.81 \pm 286.91$  F CFA / kg. Fish farming activity consists mainly in stocking the reservoirs' open water with mainly *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) and secondarily *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). The mean value of the fish rearing period is  $7.57 \pm 1.50$  months. In the northern Benin water reservoirs, sediments are the most contaminated by organochlorine pesticides. Pathogenic bacteria and pesticide residues affect more the health status and sanitary quality of fish in water reservoirs located at the cotton production basin. This study provides useful data for developing sustainable strategies in order to valorize efficiently the Benin water reservoirs.

**Keywords:** Fishing activity, Fish farming, Sanitary quality, Water reservoir, Benin.

**Résumé :** Le Bénin dispose de nombreuses retenues d'eau qui sont encore mal documentées. Le présent article traite de l'état actuel et des modes d'exploitation de ces retenues d'eau. Les données ont été collectées par enquêtes socio-économiques, des mesures in situ et des travaux de laboratoire. Les résultats montrent que 79% des retenues d'eau ont une forme irrégulière. Aussi, 71, 43% de ces ouvrages gardent un volume suffisant d'eau d'avril à novembre et la qualité physico-chimique de l'eau est dans les normes de tolérance des espèces piscicoles tropicales. Plus de 60% des retenues d'eau ont leurs déversoirs et digues en mauvais état. Plus on se déplace de la zone Nord-sud vers la zone Nord-nord (de Savè vers Banikoara), plus l'état des retenues d'eau est dégradé. L'exploitation de ces milieux aquatiques implique plusieurs acteurs ayant différents intérêts.

Il s'agit des pêcheurs, des éleveurs, des maraichers et des agriculteurs. A 96,43%, les retenues d'eau sont gérées par les comités de gestion qui ont entre autres attributions, de délivrer l'autorisation de pêche. Les palangres appâtées, les filets maillants, le filet épervier et la senne sont les principaux engins de pêche utilisés. Les pêcheurs capturent journalièrement  $4,65 \pm 2,63$  kg de poisson qui est vendu à  $1023,81 \pm 286,91$  FCFA/kg. La pratique piscicole actuelle consiste majoritairement à empoissonner l'eau libre des retenues avec principalement *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) et accessoirement *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). La durée moyenne d'élevage de ces poissons est de  $7,576 \pm 1,50$  mois. Les sédiments des retenues d'eau sont les plus contaminés par les pesticides agricoles. Les bactéries pathogènes et les résidus de pesticides altèrent plus l'état de santé et la qualité sanitaire des poissons dans le bassin cotonnier. Cette étude permet d'avoir des données utiles à l'élaboration des stratégies durables de valorisation efficace des retenues d'eau au Bénin.

**Mots clés:** Pêche, Pisciculture, Qualité sanitaire, Retenue d'eau, Bénin.

## 1. Introduction

Pour faire face aux lourdes conséquences des périodes de sécheresse relativement persistantes qu'a traversé l'Afrique de l'Ouest dans les années 70 et 80, plusieurs pays ont débuté une politique de maîtrise et de gestion de l'eau ; tandis que d'autres, qui avaient commencé un peu plus tôt ont fortement amélioré sa conception (Ouédraogo, 1996 ; Cecchi et Yté Wongbé, 2007 ; Napon, 2013 ; Sally *et al.*, 2011 ; de Fraiture *et al.*, 2014 ; Lienou *et al.*, 2014 ). C'est ainsi que le réseau hydrographique du Bénin s'est vu complété par une multitude d'ouvrages hydrauliques communément appelées retenues d'eau construites par le gouvernement avec l'appui des partenaires au développement (Ibouraima, 2005 ; Azonsi *et al.*, 2008 ; Capo-Chichi *et al.*, 2009 ; Kpéra, 2015 ). Ce sont des réserves d'eau obtenues par une amélioration de la capacité de stockage d'une cuvette naturelle ou mare (Ibouraima, 2005). Il en existe deux types. Il s'agit des surcreusements de mare obtenus par un simple dragage du fond d'une cuvette naturelle et des barrages obtenus par élévation d'une digue en aval immédiat d'une mare naturelle, suivie d'une excavation plus ou moins légère de la cuvette (Ibouraima, 2005 ; Adam Sanni, 2011, Chabi, 2012 ; Ogou, 2012). Sur le plan national, environ 78% des 250 retenues d'eau sont des barrages (Azonsi *et al.*, 2008). Les quatre départements classiques du nord du Bénin (Alibori, Borgou, Atacora et Donga) et celui des Collines, zone limite entre le centre du pays, à eux seuls abritent 243 retenues d'eau, soit près de 97,2% des retenues d'eau du pays (Azonsi *et al.*, 2008). Initialement construites pour des buts agropastoraux, les retenues d'eau au Bénin constituent aujourd'hui des pêcheries très importantes. Elles fournissent la majeure partie des poissons frais consommés annuellement par les populations des

différentes communes dans le septentrion (Imorou Toko *et al.*, 2011). Ainsi, elles favorisent non seulement le développement d'énormes activités génératrices de revenus aux communautés rurales mais aussi, contribuent à renforcer la sécurité alimentaire au niveau local (Kpéra, 2015). Cependant, ces retenues d'eau sont exposées à des risques modérés liés aux pesticides chimiques utilisés dans les champs surtout en cotonculture (Gouda, 2018 ; Zoumenou, 2019 ; Pèlèbè, 2019). Malheureusement, le point sur l'état des connaissances révèle que les retenues d'eau à l'échelle nationale sont encore mal connues sur plusieurs axes. C'est pourquoi le présent travail a été conçu pour caractériser (i) l'état actuel, (ii) les modes d'exploitation et (iii) la gestion des retenues d'eau disponibles au Bénin.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Zone d'étude

L'étude a été conduite dans trois départements représentatifs du Bénin en termes de disponibilité des retenues d'eau. Il s'agit des départements des Collines, du Borgou et de l'Alibori qui abritent près de 71 % des retenues d'eau construites au Bénin (Azonsi *et al.*, 2008). En utilisant le niveau d'activités agricoles et agropastorales comme critère, cette zone a été subdivisée en trois sous-zones. Suivant un gradient croissant du niveau d'activités, nous avons les sous-zones Nord-sud, Nord-centre et Nord-nord (Figure 1).

\* Auteur Correspondant : [peleberodrigue@yahoo.fr](mailto:peleberodrigue@yahoo.fr)

Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin

Dans chaque sous-zone, trois communes ont été considérées. Les communes qui ont été choisies sont celles disposant un nombre assez important de retenues d'eau (Figure 1). Le choix du nombre de retenues d'eau est raisonné et dépend de l'effectif total des retenues d'eau disponibles dans chaque sous-zone. Six retenues d'eau dans la sous-zone Nord-sud, dix dans la sous-zone Nord-centre et douze dans la sous-zone Nord-nord correspondant aux taux de proportionalité respectifs de

26% , 23, 2% et 23,5% ont été étudiées. Au total, l'étude de terrain a concerné 28 retenues d'eau réparties dans neuf communes (Figure 1). Sur le terrain, les retenues d'eau ont été choisies de concert avec les agents publics de pêche en service dans chaque commune sur la base de leur bon état de fonctionnalité.

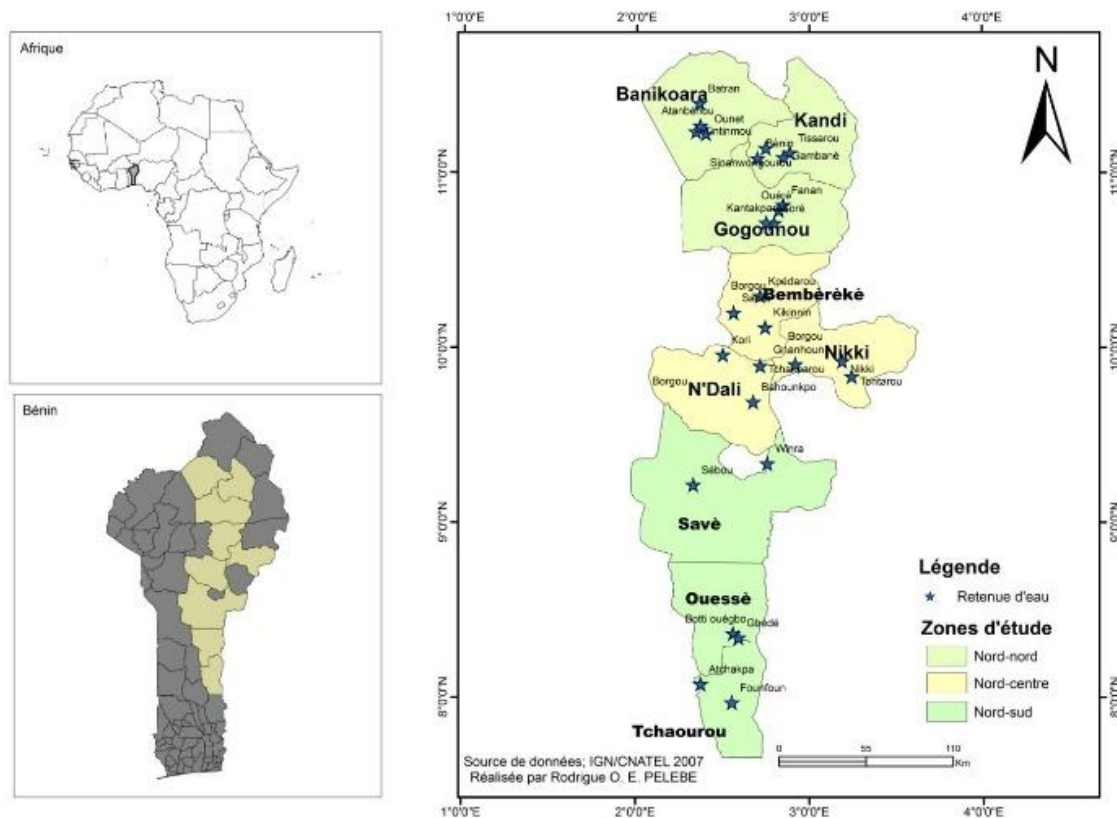


Figure 1 : Carte de situation de la zone d'étude avec représentation des retenues d'eau par commune

Figure 1: Situation map of the study area with representation of the reservoirs by commune



## 2.2. Collecte des données

Les données ont été collectées sur une période de six mois (août 2017 à janvier 2018).

### 2.2.1. Réalisation des enquêtes de terrain

Au niveau de chaque retenue d'eau, des questionnaires ont été administrés à trois pêcheurs choisis de façon aléatoire et simple dans la liste fournie par les agents publics de pêche, ainsi 84 personnes ont été enquêtées au total. Signalons que pour chaque retenue d'eau, l'effectif de trois pêcheurs représentait entre 60 et 100% des pêcheurs professionnels en activité. Les informations recueillies sont relatives aux modes de gestion et d'exploitation des retenues d'eau. Au moyen d'une fiche, les informations relatives aux caractéristiques d'état physique ont été collectées au niveau de chaque retenue d'eau. Les modalités « Très bon », « Bon », « Mauvais » et « Très mauvais » ont été utilisées pour apprécier l'état de la digue et celui du déversoir alors que le niveau de comblement de la cuvette a été apprécié par usage des modalités « Elevé », « Moyen » et « Faible ». Le choix des modalités a été fait par observation directe suivie d'une validation lors des séances de focus groupes. Ces séances regroupaient les pêcheurs et les membres du comité de gestion et ont permis de recueillir les informations complémentaires sur la gestion et l'exploitation des retenues d'eau. Un GPS de marque GARMIN (GPSMAP 78 s) a été utilisé pour prendre les coordonnées géographiques lors des enquêtes.

### 2.2.2. Mesure in situ et au laboratoire des paramètres de qualité de l'eau des retenues d'eau

Au niveau de chacune des 28 retenues d'eau, la température de l'eau, l'oxygène dissous et le pH ont été mesurés respectivement au moyen d'un oxythermomètre (HANNA HI 9146) et d'un pH-mètre (WTW 3210). De même, au niveau de deux retenues d'eau, celles de Batran (sous-zone Nord-nord) et de Songhaï (sous-zone Nord-centre), des échantillons d'eau ont été prélevés mensuellement sur quatre mois et transportés sauf pour le zooplancton, sous glace à une température d'environ 4°C dans des glacières isothermes (CEAEQ, 2012) jusqu'au laboratoire pour les travaux qui concernent :

- (i) le dosage des sels nutritifs (les nitrates, les nitrites, l'ammonium et l'orthophosphate) au spectrophotomètre d'absorption moléculaire HACH (DR/ 2400) en utilisant des réactifs de même marque et en employant les méthodes décrites dans les manuels d'utilisation (HACH Company, 2012) dans le Laboratoire de Contrôle de Qualité des Eaux et Aliments de la Direction Nationale de Santé Publique (LCQEA/DNSP);

(ii) l'évaluation de la biomasse phytoplanctonique selon APHA (1992) et Raschke (1993) après dosage de la Chlorophylle a (Lorenzen, 1967) dans le Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique de l'Université de Parakou;

(iii) l'identification des taxons zooplanctoniques (Amoros, 1984 ; Dussart et Defaye, 2001 ; Pourriot, 1980) et l'évaluation de leur densité (APHA, 1992) au Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Ecotechnologie des Eaux de l'Université Félix HOUPOUET-BOIGNY.

Les échantillons utilisés pour les sels nutritifs ont été collectés à 20-25 cm de la surface d'eau dans une bouteille en plastique de 500 ml. Les bouteilles utilisées ont été préalablement labellisées et traitées selon Rodier *et al.* (2009). Pour la Chlorophylle a, les échantillons ont été aussi pris dans des bouteilles de 500 ml en plastique opaques, prétraitées et recouvertes avec des sachets noirs afin d'empêcher la pénétration des rayons lumineux. Pour mesurer la densité du zooplancton, une quantité de 100 l d'eau pris entre 20 et 25 cm de profondeur par rapport à la surface a été filtrée avec un tamis WVR de maille 50 µm. Le filtrat obtenu a été concentré dans un pilulier de 100 ml de contenance. La conservation des organismes zooplanctoniques a été faite par ajout de formol 5% à raison de 10% du volume de concentration.

### 2.2.3. Appréciation de l'état de santé et de la qualité sanitaire des poissons

Afin d'apprécier l'état de santé et la qualité micro-biologique des poissons pêchés dans les retenues d'eau, des échantillonnages ont été faits sur les individus du tilapia, poisson le plus capturé dans ces écosystèmes aquatiques (Imorou Toko *et al.*, 2011). Un lot de quinze spécimens en vie a été acheté auprès des pêcheurs dans une retenue au niveau de chaque sous-zone. Il s'agit de la retenue d'eau de Batran pour la sous-zone Nord-nord (zone de forte utilisation de pesticides : bassin cotonnier, nord-Bénin), de la retenue d'eau Songhaï pour la sous-zone Nord-centre (zone d'utilisation moyenne de pesticides : hors bassin cotonnier, nord du Bénin) et de la retenue d'eau d'Atchakpa pour la sous-zone Nord-sud (zone de faible utilisation de pesticides : hors bassin cotonnier, centre du Bénin) (Ton, 2004). Les poissons échantillonnés à Atchakpa, Songhaï et Batran avaient respectivement  $96,2 \pm 12,77$  g,  $99,8 \pm 12,39$  g et  $99,8 \pm 16,10$  g comme poids moyens. Sur le terrain, les fèces, le mucus et le muscle ont été prélevés sur chaque poisson dans les conditions aseptiques et conditionnés respectivement dans un tube stérile, un écouvillon déposé dans un tube stérile et un sachet stérile. Après prélèvement, chaque poisson a été emballé dans un sachet stérile initialement numéroté. Les prélèvements ont été transportés dans une enceinte isotherme contenant de la glace jusqu'au Laboratoire de Diagnostic Vétérinaire et

de Sérosurveillance de Parakou où les bactéries reconnues pathogènes ont été recherchées. Pour l'état sanitaire du poisson, les salmonelles et les staphylocoques ont été recherchés selon les normes de l'Organisation Internationale de Normalisation, respectivement dans les fèces et le mucus alors que la qualité microbiologique du poisson a été appréciée sur la base de la présence ou non des bactéries du genre *Aeromonas* dans le muscle du poisson. L'ensemencement des fèces a été réalisé dans le milieu de culture *Salmonella-Shigella* (S-S) et les deux autres prélèvements (muscle et mucus) ont été ensemencés dans le Tryptone Soy Agar (TSA). Après ensemencement, les colonies observées ont été repiquées et les tests de confirmation ont été réalisés. Il s'agit de la coloration de Gram et des tests biochimiques. De même, le niveau de l'activité phagocytaire des macrophages des rates a été apprécié au niveau des retenues d'eau de Batran et de Songhaï situées dans le nord du Bénin afin de mieux expliquer leur état sanitaire. Pour cela, pour chaque retenue d'eau, les rates de 20 individus du poisson tilapia issus de la pêche de capture ont été prélevées dans des tubes eppendorfs de 1,5 ml contenant une solution conservatrice composée du milieu L15, du sérum fœtal de veau et de la pénicilline. Les prélèvements ont été conservés à environ 4°C jusqu'au Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique (LaRAEAQ) où le niveau de l'activité des macrophages a été évalué selon Fatima *et al.* (2007) et Milla *et al.* (2010). Par ailleurs, un échantillon composite de sédiment et un autre d'eau constitués chacun de trois sous-échantillons issus de trois endroits différents ont été prélevés à Batran et à Songhaï. De même, trois individus de tilapia de tailles proches, dont les muscles ont été utilisés pour former un seul échantillon représentatif ont été achetés auprès des pêcheurs. Ces échantillons ont été transportés à 4°C jusqu'au LaRAEAQ et envoyés en Belgique pour l'analyse des résidus de pesticides. Les pesticides d'intérêt dans cette étude sont de la famille des organochlorés, les plus dangereux des pesticides. Il s'agit du dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) et de son métabolite le plus persistant dans l'environnement, le dichlorodiphényldichloroéthylène (DDE). Ils ont été quantifiés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse au Laboratoire d'analyse des denrées alimentaires de la Faculté de Médecine Vétérinaire à Université de Liège.

### 2.3. Traitement et analyse statistique des données

Les données de coordonnées géographiques ont servi à la réalisation des cartes dans le logiciel Arc GIS 9.3.2. La base de données issue de l'enquête par questionnaire a été transférée dans le logiciel IBM SPSS version 20.0 pour le calcul des moyennes pour les variables quantitatives et des fréquences relatives pour les variables qualitatives. En utilisant ce même logiciel, l'Analyse de

Variance à un seul critère de classification (ANOVA 1) et le test de Khi-deux ont été respectivement réalisés pour la comparaison des différentes moyennes entre sous-zones et pour analyser si les fréquences calculées dépendent de la sous-zone. Les données obtenues après analyses microbiologiques ont été utilisées pour calculer le taux de prévalence des germes recherchés. Le facteur de bioaccumulation poisson-sédiment pour la molécule de pesticide détectée à la fois dans le sédiment et le poisson a été calculé selon Katagi (2010) (concentration du pesticide dans le poisson/ concentration du pesticide dans sédiment). Au moyen d'un test de Student à deux échantillons indépendants (STATISTICA 6.1), les valeurs moyennes de l'activité phagocytaire des macrophages des rates ont été comparées entre les deux retenues d'eau. Le seuil de significativité considérée pour les analyses statistiques était de 5 %. Les tableaux et graphiques ont été faites dans le tableur Excel et les résultats sont présentés sous forme moyenne  $\pm$  écart type.

## 3. Résultats

### 3.1. Caractéristiques physiques et topographiques des retenues d'eau

Les retenues d'eau sont à 79% de forme irrégulière, le reste étant rectangulaire. Seulement 17,86% des retenues d'eau ont leur cuvette fortement comblée (Figure 2). Aussi bien pour les digues que les déversoirs, aucune retenue n'a présenté la modalité « très bien » (Figure 3). L'état des déversoirs reflète parfaitement celui des digues lorsqu'elles existent. Près de 60% des retenues d'eau étudiées ont leurs déversoirs en mauvais état, la proportion des retenues dont les déversoirs sont en bon état est de 28,57% (Figure 3). Le constat est que plus l'on évolue de la zone Nord-sud vers la zone Nord-nord, plus la dégradation de l'état des ouvrages des retenues d'eau s'accroît.

### 3.2. Qualité de l'eau des retenues d'eau

La totalité des 28 retenues d'eau étudiées sont tributaires d'un autre écosystème aquatique (rivière par exemple) et reçoivent également les eaux de ruissellement en plus des apports phréatiques. En fonction du régime hydrologique, les retenues d'eau sont soit permanentes ou temporaires et 71,43 % des 28 retenues gardent un volume assez élevé d'eau durant huit mois dans l'année notamment d'avril à novembre. Les tableaux 1 et 2 présentent respectivement les paramètres physico-chimiques et ceux de qualité chimique et biologique de l'eau des retenues. On remarque que les taux des sels nutritifs, la biomasse algale et la densité zoo planctonique sont plus élevés dans la retenue d'eau de Batran située dans le bassin cotonnier.

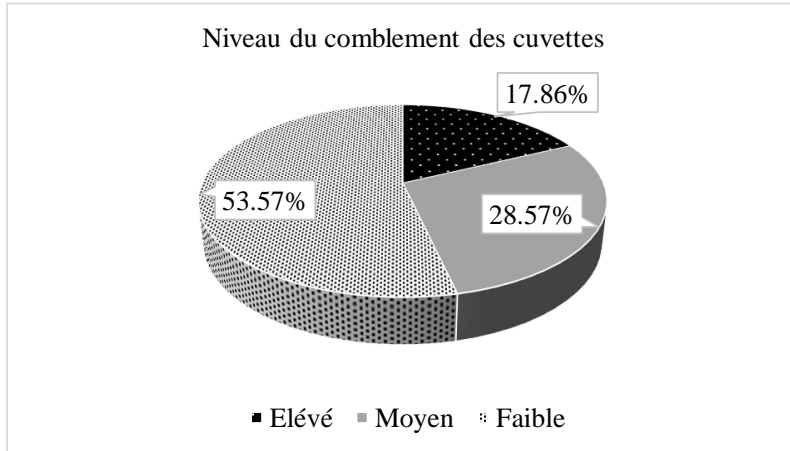


Figure 2: Proportions des niveaux du comblement des cuvettes des retenues d'eau

Figure 2: Proportions of the levels of filling of the water reservoirs' bowls

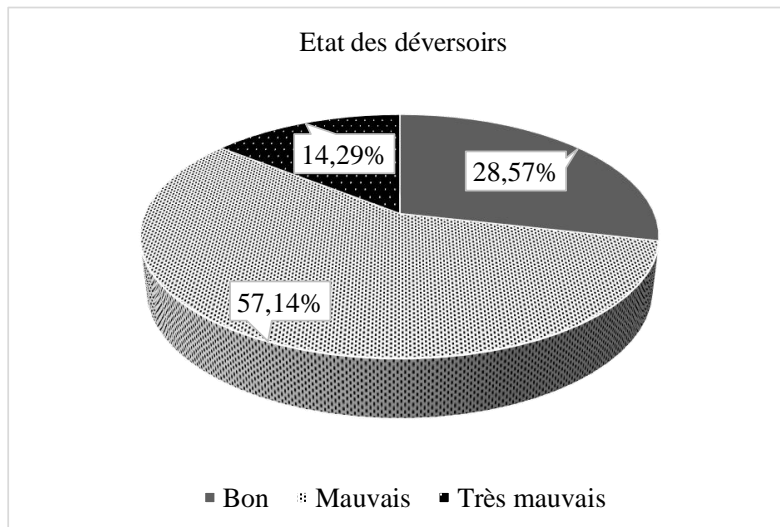


Figure 3: Proportions des états des déversoirs des retenues d'eau

Figure 3: Proportions of the water reservoirs' spillways conditions

Tableau 1: Paramètres physico-chimiques de l'eau des retenues d'eau

Table 1: Water physico-chemical parameters of the reservoirs

Paramètres	Moyenne ± écart type
T (°C)	29,48 ± 1,78
pH	6,80 ± 0,22
O <sub>2</sub> (mg/l)	3,85 ± 0,19

Tableau 2: Concentrations en sels nutritifs et qualité biologique de l'eau des retenues d'eau

Table 2: Nutritive salts concentration and biological quality of the water reservoirs

Variables	Moyenne ± écart type	
	Batran	Songhaï
Nitrates (mg/l)	10,17 ± 9,43	4,89 ± 2,79
Nitrites (mg/l)	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,03
Orthophosphate (mg/l)	1,32 ± 2,49	1,36 ± 2,62
Ammonium (mg/l)	0,43 ± 0,04	0,14 ± 0,09
Chlorophylle a (µg/l)	31,57 ± 9,65	24,25 ± 10,32
Biomasse phytoplanctonique (µC/l)	2115,19 ± 646,39	1624,75 ± 691,77
Zooplancton (individus/l)	157,98 ± 40,45	60,38 ± 29,42
% Copépodes	58,06 ± 12	36,45 ± 7,93
% Rotifères	36,69 ± 10,46	47,51 ± 7,44
% Cladocères	5,25 ± 1,6	16,04 ± 4,57

Les organismes de Rotifères ; de Cladocères ; de Copépodes identifiées sont respectivement *Trichocerca* spp., *Brachionus anguilaris* et *Brachionus calyciflorus* ; *Diaphanosoma excisum* et *Moina micrura* ; Nauplii et Cycloptide. Les larves de poissons et d'insectes sont aussi retrouvées dans la faune planctonique

### 3.3. Exploitation des retenues d'eau et qualité sanitaire des poissons

#### 3.3.1. Exploitation des retenues

Les acteurs utilisant les retenues d'eau sont les pêcheurs, les éleveurs, les maraichers, les agriculteurs (producteurs de vivriers et du coton) ayant leurs champs non loin des retenues et les ménages. Les retenues d'eau constituent d'importantes pêcheries aux pratiquants de l'activité de pêche. Les éleveurs de bovins et d'ovins conduisent leurs troupeaux vers les retenues pour leur abreuvement. Les maraichers qui s'installent aux alentours des retenues d'eau se servent de celles-ci pour l'arrosage de leurs cultures. Les agriculteurs quant à eux, utilisent l'eau de la retenue pour la préparation des produits phytosanitaires et parfois comme eau de boisson surtout en saison sèche. Les ménages utilisent l'eau des retenues pour la vaisselle, la lessive, le lavage des engins (motos et voitures), la natation, le bain et la construction des bâtiments.

En ce qui concerne l'activité de pêche en particulier, elle se pratique en eau libre. Les principaux engins de pêche utilisés dans les retenues d'eau sont les palangres appâtées, les filets maillants, le filet épervier, la senne et les viviers. Les activités halieutiques sont intenses en

période de basses eaux correspondant à la saison sèche. Sur les 84 pêcheurs enquêtés, 73 (soit 86,90%) ont affirmé qu'en plus du recrutement (arrivée dans le stock de nouvelles classes d'âges) par voie naturelle des poissons, les retenues d'eau reçoivent directement en eau libre des mises en charge artificielles. Aussi, a-t-il eu des tentatives d'élevage de poissons en cages flottantes dans certaines retenues d'eau du nord du Bénin. En effet, sur 28 retenues d'eau étudiées, les infrastructures piscicoles sont installées par divers projets et Organisations Non Gouvernementales dans douze dont trois dans la sous-zone Nord-sud, cinq dans la sous-zone Nord-centre et quatre dans la sous-zone Nord-nord. Les espèces empoisonnées en eau libre et dans les infrastructures sont en premier ordre *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) puis *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). Actuellement, c'est seulement dans la retenue d'eau de Atchakpa à Savè, celle de Tchakparou à N'Dali et celles de Nikki centre et de Gnanhoun à Nikki que les infrastructures installées sont encore fonctionnelles. Les principales raisons évoquées pour la non fonctionnalité des installations dans les autres retenues sont la mauvaise gestion des membres du comité et les vols de poisson.

D'habitude, les poissons ne sont pas nourris par les pêcheurs. C'est seulement à Nikki que les poissons empoisonnés en infrastructures sont nourris avec les sous-produits locaux. Même à Nikki, la fréquence de nourrissage est aléatoire et fonction de la disponibilité de l'aliment. Les pêches mensuelles de contrôle de croissance ne sont pas effectuées. Les différences ne sont pas significatives entre les sous-zones pour la durée

d'élevage ( $p = 0,052 > 0,05$ ). Elles varient entre 5 et 10 mois avec une moyenne de  $7,576 \pm 1,50$  mois considérant les trois sous-zones.

Les données de production ne sont pas enregistrées par les pêcheurs au niveau des cages flottantes fonctionnelles. En ce qui concerne la pêche de capture, l'enquête révèle que les pêcheurs des trois sous-zones capturent en moyenne  $4,65 \pm 2,63$  kg de poisson par jour (entre 0,3 et 12 kg). La sous-zone n'a pas d'influence significative sur les quantités de poisson pêchées ( $p = 0,61 > 0,05$ ).

Les poissons issus de l'activité de pêche sont vendus frais au bord des retenues d'eau ou au niveau des sites prévus à cet effet dans les villages et parfois dans les centres villes. Le prix de vente du poisson au kilogramme varie significativement en fonction des sous-zones ( $p = 0,00 < 0,05$ ). Ce prix oscille entre 300 et 1800 F CFA avec une moyenne de  $1023,81 \pm 286,91$  F CFA. Les pêcheurs nous ont rapporté que parfois les captures

de pêche n'arrivent pas à satisfaire les clients demandeurs. Les poissons achetés par les habitants du village abritant la retenue sont souvent fumés ou séchés afin de garantir une durabilité de leur conservation pour les besoins du ménage.

### 3.3.2. Etat de santé microbiologique et qualité sanitaire des poissons pêchés dans les retenues d'eau

Pour l'état de santé microbiologique des poissons, comparativement aux deux autres retenues d'eau, les taux de prévalence des bactéries *Salmonella* spp. et *Staphylococcus* spp., respectivement dans les fèces et le mucus du tilapia sont plus élevés dans la retenue de Batran située dans le bassin cotonnier, une zone de forte utilisation de pesticides (Tableau 3). C'est aussi dans cette même retenue que la valeur moyenne de l'activité phagocytaire des macrophages des rates est significativement plus élevée ( $p < 0,05$ ) en comparaison avec les deux autres retenues d'eau (Figure 4).

Tableau 3 : Taux de prévalence des germes recherchés dans le poisson tilapia pêché dans les retenues d'eau

Table 3: Prevalence rates of the pathogenic germs in tilapia fish from water reservoirs

Germes pathogènes recherchés	Taux de prévalence (%)		
	Atchakpa	Songhaï	Batran
Salmonella spp. dans les fèces	20	20	80
Staphylococcus spp. dans le mucus	60	40	80

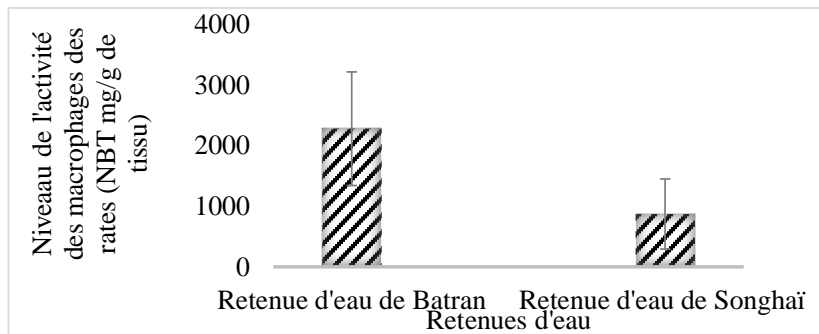


Figure 4 : Niveau de l'activité phagocytaire des macrophages des rates chez le poisson tilapia pêché dans une retenue d'eau du bassin cotonnier (Batran) et dans une autre hors bassin cotonnier (Songhaï) au nord du Bénin

Figure 4: Level of the macrophages phagocytic activity in spleens of tilapia fish captured in Batran water reservoir (cotton basin) and Songhaï water reservoir (outside the cotton basin)

S'agissant de la qualité microbiologique des poissons, quelle que soit la retenue d'eau, le muscle du poisson tilapia est contaminé par les bactéries du genre *Aeromonas*. Comme au niveau de la retenue d'eau de Batran, la prévalence de ces germes dans le muscle est

aussi élevée dans la retenue d'eau de Atchakpa située au centre du Bénin (Figure 5).



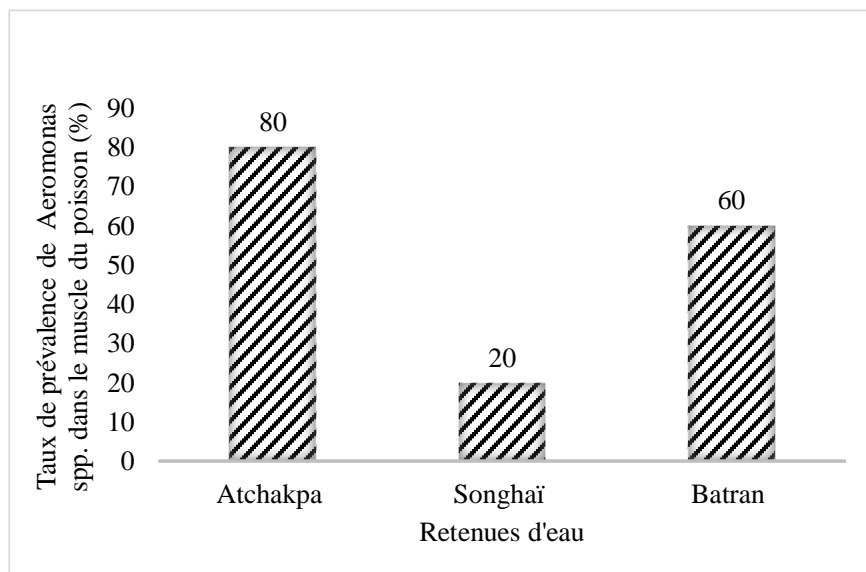


Figure 5: Taux de prévalence de *Aeromonas* spp. dans le muscle du tilapia pêché dans les retenues d'eau

Figure 5: Prevalence rates of *Aeromonas* spp. in muscle of tilapia fish from water reservoirs

En ce qui concerne l'accumulation des pesticides, la retenue de Batran située dans le bassin cotonnier est plus contaminée que celle de Songhaï située hors de ce bassin au nord du Bénin. Quelle que soit la molécule de pesticide, les résidus sont plus élevés dans le sédiment en comparaison à l'eau (Tableau 4). Aucun pesticide

n'a été détecté dans les poissons issus de la retenue d'eau de Songhaï et dans l'eau de la retenue d'eau de Batran (Tableau 4). Seul le DDE (4,8) a été retrouvé dans le poisson avec un facteur de bioaccumulation poisson-sédiment assez élevé de 2,82.

Tableau 4 : Accumulation des résidus de pesticides dans les matrices aquatiques au niveau des retenues d'eau du nord du Bénin

Table 4: Accumulation of pesticide residues in aquatic matrices of the northern Benin reservoirs

Retenues d'eau	Matrices aquatiques					
	Sédiment (µg/kg)		Eau (µg/l)		Poisson (µg/kg)	
	DDE	DDT	DDE	DDT	DDE	DDT
Batran	1,7	1,57	-	-	4,8	-
Songhaï	0,8	1,33	0,2	-	-	-

### 3.4. Gestion des retenues d'eau

Les retenues d'eau (96,43%) sont gérées par un comité. L'arrêté « année 2010 n°5/171/PDBA/SG/SPAT portant création, composition, attributions des comités de gestion des retenues d'eau des départements du Borgou et de l'Alibori dotées de Plan de Gestion de Plan d'Eau » stipule que le nombre de postes destinés à onze personnes (avec des adjoints) est fixé huit. C'est l'organe qui est chargé de veiller à l'exploitation rationnelle de la retenue d'eau en vue d'une préservation des ressources et de la sauvegarde de l'écosystème. Selon cet arrêté, tous les acteurs et usagers de la retenue d'eau

doivent être représentés dans le comité de gestion avec une forte représentation des acteurs du sous-secteur de la pêche. Cependant, il existe actuellement l'affermage comme mode de gestion, constaté au niveau d'une retenue d'eau dans la commune de N'Dali. Le recours à ce choix par la mairie est la conséquence d'une mauvaise gestion de la part du comité de gestion et a engendré un mécontentement dans le rang de la population. Cette retenue d'eau est donc gérée de façon privée sans l'implication des comités de gestion.

Par ailleurs, les pêcheurs autorisés par les comités de gestion pratiquent journalièrement leur activité. L'autorisation fait suite au paiement des droits de pêche aux

comités de gestion des retenues d'eau. Le pêcheur utilise le revenu issu de la pêche pour assurer les besoins d'alimentation du ménage, l'éducation de ses enfants et pour les soins de santé de sa famille. Dans certaines retenues d'eau dans les sous-zones Nord-centre et Nord-nord, l'exploitation quotidienne des poissons est interdite, les poissons étant pêchés deux à quatre fois dans l'année sous le contrôle des agents de pêche, de la mairie et des membres des comités de gestion. D'après les enquêtés, les revenus obtenus sont gérés par le trésorier du comité de gestion et servent à entretenir les retenues. Également, ils sont utilisés dans le village pour des œuvres sociales (soutien à une famille éplorée, réfection des salles de classe, contribution à la construction d'une pompe à motricité humaine, etc.).

Actuellement, la qualité de la gestion faite des retenues est variable en fonction des sous-zones. Dans les sous-zones Nord-sud et Nord-nord, plusieurs comités de gestion ne sont pas fonctionnels et d'autres font une gestion non transparente et non rigoureuse. Contrairement à ces deux sous-zones, la gestion des retenues d'eau est beaucoup plus rigoureuse dans la sous-zone Nord-centre (N'Dali, Nikki et Bembèrèkè). En effet dans ces trois communes, les comités de gestion installés sont bien suivis par les agents de la mairie et des détachements communaux du ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche. Chaque membre des comités se trouve donc contraint de mener une pratique saine et sérieuse de gestion au risque de se voir remplacer par un autre. Dans cette sous-zone, la plupart des comités de gestion contient au moins une femme et tous les grands utilisateurs des retenues d'eau sont représentés. Il est important de souligner qu'à Nikki, avant qu'un animal n'ait accès aux retenues d'eau pour l'abreuvement, les propriétaires payent et le prix est fonction de la saison. Les comités de gestion organisent à volonté des séances d'entretien des retenues d'eau. Ces opérations consistent à remblayer la digue, ramasser la végétation flottante, faucher les mauvaises herbes autour de la digue et aux alentours des retenues.

#### 4. Discussion

Cette étude a pour objectif de présenter l'état actuel, les modes d'exploitation et la gestion des retenues d'eau qui sont majoritairement des barrages et minoritairement des surcreusements de mare au Bénin (Azonsi *et al.*, 2008 ; Chabi, 2012 ; Adam Sanni, 2011 ; Imorou Toko *et al.*, 2011). Les principaux ouvrages notamment la cuvette, le déversoir et la digue de la plupart des barrages sont dégradés et le niveau de cette dégradation varie en fonction des zones. L'étude conduite par Azonsi *et al.* (2008) avait révélé la dégradation des retenues d'eau dans le nord du Bénin. En effet, sur un effectif de 243 retenues d'eau recensées par ces auteurs dans les départements du Borgou, de l'Alibori, de la Donga, de l'Atacora et des Collines, 124 (soit 51,03%)

nécessitaient une réfection urgente. La dégradation des retenues d'eau est liée au fait qu'elles subissent les effets de nombreuses activités anthropiques et ceci est récemment signalé par Kpéra (2015). Signalons qu'en dehors de l'action humaine, Ibouraima (2005) a montré que le phénomène d'érosion contribue également à la dégradation des retenues d'eau dans le nord du Bénin. En effet, l'érosion hydrique des bassins versants augmente la vitesse de comblement de la retenue, ce qui entraîne la réduction de la capacité en eau et l'altération des ouvrages de la retenue (Remini et Remini, 2003). Habi et Morsli (2011) ont aussi constaté une dégradation de l'état physique des retenues d'eau collinaires dans le nord algérien. Ces auteurs signalent que la dégradation s'aggrave lorsque les actions de réhabilitation (l'aménagement des bassins versants, la réalisation des bacs de décantation, la surélévation des digues, et le dragage au besoin) ne sont pas entamées de façon précoce. Malgré la dégradation des retenues d'eau du Bénin, elles jouent d'importants rôles à la population. Elles constituent par exemple des sources d'approvisionnement en poissons et en eau pour le maraîchage et l'abreuvement des troupeaux.

L'étude a révélé que l'alimentation en eau de ces retenues a trois origines. Il s'agit des apports phréatiques, pluvieux par ruissellement et ceux d'un autre écosystème aquatique adjacent du côté amont. Ces résultats sont en accord avec ceux de Cecchi et Yté Wongbé (2007) qui stipulent que la majorité des retenues d'eau du nord de la Côte d'Ivoire ont un régime hydrologique saisonnier dépendant des apports pluvieux directs associés à leurs petits bassins versants. En ce qui concerne la qualité de l'eau, les valeurs des principaux paramètres physico-chimiques pour la vie aquatique notamment la température, le pH et l'oxygène dissous mesurées dans les retenues d'eau du nord du Bénin sont dans les intervalles de gammes tolérées par les poissons d'eau douce tropicale selon les recommandations de Viveen *et al.* (1985) et Lacroix (2004). Globalement les teneurs en sels nutritifs sont bonnes (SEQ-Eau, 2010) à l'exception des ions nitrates dont les teneurs mesurées semblent être un peu élevées selon Wetzel et Likens (1991). La richesse des deux retenues d'eau en nitrates s'explique par le fait que les échantillons étaient pris en saison d'intenses activités agricoles, donc d'utilisation des fertilisants dans les grandes surfaces cultivées, qui rejoignent les milieux aquatiques via le ruissellement (Somé *et al.*, 2008). Elle a pour conséquence le développement de la végétation flottante dans l'eau des retenues sous lesquels les petits organismes consommés par les poissons se développent. Cependant, en cas d'envahissement excessif des végétaux aquatiques, l'état de santé de la retenue d'eau peut être altéré. Les valeurs assez élevées des densités des grands groupes zooplanctoniques sont en corrélation avec la biomasse phytoplanctonique. Cette richesse biologique de l'eau des retenues d'eau au nord du Bénin témoigne également

de la disponibilité des aliments naturels pour l'alimentation des poissons.

Plusieurs acteurs exploitent les retenues d'eau dans le septentrion béninois. Il s'agit des éleveurs, des maraichers, des agriculteurs et des pêcheurs. La diversité des acteurs autour des retenues d'eau est apparue dans les études réalisées par Ibouraima (2005) et Kpéra (2015). C'est d'ailleurs le même constat qu'a fait Piquemal (1991) dans les retenues d'eau du Burkina Faso. Il a aussi été rapporté par Le Guen et Tito de Morais (2001), une diversité des utilisations agricoles associées aux retenues d'eau du nord de la Côte d'Ivoire.

Les engins de pêche utilisés par les pêcheurs dans les retenues d'eau du Bénin à savoir les palangres appâtées, les filets maillants, le filet épervier, la senne de rivage sont également retrouvés chez les pêcheurs exploitant les retenues d'eau de la Côte d'Ivoire (Tah *et al.*, 2009). La production de poisson exploitée journalièrement par pêcheur ( $4,65 \pm 2,63$  kg) au niveau des retenues d'eau du nord du Bénin est relativement faible comparativement à celle des retenues d'eau de la Côte d'Ivoire qui est de  $11,72 \pm 11,76$  kg selon Tito de Morais *et al.* (2007) et de  $7,45 \pm 5,20$  kg selon Da Costa *et al.* (1998). Cette variabilité dans les quantités exploitées pourrait être due à la différence des dimensions, de l'effort de pêche et à l'application ou non de l'empoisonnement artificiel. Par ailleurs, selon Pèlèbè *et al.* (2019), ces niveaux actuels d'exploitation des retenues au Bénin assurent une rentabilité de l'activité.

La sécurité sanitaire des produits capturés pose un problème surtout dans le bassin cotonnier. Il ressort de la présente étude que dans cette zone, les pesticides organochlorés s'accumulent dans les poissons principalement à partir des sédiments aquatiques. Ceci est en adéquation avec Zoumis *et al.* (2001) qui rapportent que les sédiments sont des puits importants pour divers polluants, tels que les pesticides, et permettent même dans les conditions favorables la remobilisation des contaminants dans les milieux aquatiques. C'est dans cette même zone que les prévalences d'infection des organes des poissons par les microbes strictement pathogènes sont les plus élevées. Cette perturbation des poissons par les bactéries s'est traduite par une augmentation des niveaux de l'activité des macrophages qui, selon Harford *et al.* (2005) constituent un biomarqueur sensible de l'exposition environnementale aux pesticides.

La présence des Salmonelles et des Staphylocoques respectivement dans les fèces et le mucus indiquent l'existence d'une pollution d'origine fécale (Novotny *et al.*, 2004 ; Abotchi, 2010). Cette dernière proviendrait des animaux qui s'abreuvent dans les retenues d'eau et des Hommes qui défèquent dans les zones proches des retenues d'eau. Malheureusement les bactéries ayant contaminé un poisson en vie à cause de l'altération de son système immunitaire peuvent atteindre la chair après la mort du poisson (Shewan, 1977) avec des

risques sanitaires (maladies infectieuses, toxi-infections et intoxications) pour la santé humaine (Saoussen, 2016 ; Stratev *et al.*, 2012 ). C'est cette possibilité de passage des germes dans la chair à travers les fibres de collagène qui explique la présence de *Aeromonas* spp., une bactérie typiquement aquatique (Stratev *et al.*, 2012) dans le muscle des poissons.

## 5. Conclusion

L'objectif du présent article est de présenter l'état actuel et les modes d'exploitation et de gestion des retenues d'eau au Bénin. Gérées par des comités spécifiques, elles sont des écosystèmes aquatiques de forte intégration agro-halieuistique et constituent de grandes potentialités pour le développement du secteur agricole béninois. Aujourd'hui, la plupart de ces ouvrages hydrauliques sont en état de dégradation avancé. Toutefois, elles jouent un rôle socioéconomique assez important et leur exploitation fait intervenir plusieurs acteurs à l'instar des pêcheurs. La qualité sanitaire des poissons qui y sont pêchés est menacée dans le bassin cotonnier. Le mode actuel d'exploitation piscicole des retenues d'eau disponibles au Bénin n'augure pas des productions pouvant faire face à l'accroissement de la demande en poisson. La promotion de la pisciculture dans ces milieux aquatiques pourrait permettre d'améliorer la disponibilité des produits halieutiques frais au nord du Bénin. C'est d'ailleurs le souhait des autorités tant au niveau local que national. Ce désir populaire ne deviendra réalité que lorsque toutes les contraintes et problèmes qui peuvent exister sont connus et levés.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre des travaux de thèse de doctorat du premier auteur en régime de cotutelle entre l'Université de Parakou (Bénin) et l'Université Félix HOUPHOUET-BOIGNY (Côte d'Ivoire). Ce dernier remercie d'une part le projet AquaTox-Bénin pour les facilités techniques et d'autre part le Service de Coopération et d'Action Culturelle de l'Ambassade de France au Bénin (SCAC, Dossier 0185BENB170012), la Commission de l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA, Programme de soutien à la formation et à la recherche de l'Excellence, édition 2018-2019) et la Fondation Internationale pour la Science (IFS, Projet de recherche N° A\_6207-1) pour leurs appuis financiers. Les auteurs remercient sincèrement tous les pêcheurs qui ont participé à l'enquête de terrain et toutes les personnes ayant contribué à l'amélioration de la qualité du manuscrit.

## CONFLIT D'INTERET

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

## REFERENCES

- Abotchi K. 2010. Evaluation de la qualité microbiologique des poissons fumés artisanalement au Togo. Mémoire de master 2 en qualité des aliments de l'homme, Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar, Sénégal, 42p.
- Adam Sanni M. 2011. Valorisation piscicole des retenues d'eau de la commune de Banikoara (Nord-Est Bénin) : Potentialités et limites. Thèse d'Ingénieur Agronome en Sciences et Techniques de Production Animale, Université de Parakou, Bénin, 81p.
- Amoros C. 1984. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. Bulletin mensuel de la société Linnéenne de Lyon, 53 (3) : 4-63.
- APHA (American Public Health Association). 1992. Standard methods for Examination of Water and Wastewater. APHA (18<sup>th</sup> edition), Washington DC, USA.
- Azonsi F., Tossa A., Kpomasse M., Lanhoussi F., Zanou A., Gohoungossou A. 2008. Atlas hydrographique du Bénin : système de l'information sur l'hydrographie. Direction Générale de l'eau, Bénin, 22 p.
- Capo-Chichi Y.J., Egboou P., Houndekon B., Houssouve G. 2009. Projet d'évaluation des retenues d'eau au Bénin : Rapport de consultation. Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche, Bénin, 96p.
- CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec). 2012. Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux de surface, DR-09-10. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 7 p.
- Cecchi P., Yté Wongbé A. 2007. Introduction : l'étude pluridisciplinaire des petits barrages du nord de la Côte d'Ivoire : justification et stratégie de mise en œuvre : 17-41. In : Cecchi P. (Eds), L'eau en partage : les petits barrages de Côte d'Ivoire. IRD (France) : Latitudes 23.
- Chabi S. 2012. Etude des potentialités socioéconomiques et piscicole des retenues d'eau dans le nord Bénin. Thèse d'Ingénieur Agronome en Sciences et Techniques de Production Animale, Université de Parakou, Benin, 77 p.
- Da Costa K. S., Traoré K., Tito de Morais L. 1998. Effort de pêche et production exploitée dans les petites retenues du Nord de la Côte d'Ivoire. Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture, 71 (348) : 65-78.
- de Fraiture C., Kouali G.N., Sally H., Kabre P. 2014. Pirates or pioneers? Unplanned irrigation around small reservoirs in Burkina Faso. *Agricultural Water Management*, 13: 212-220. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.001>
- Dussart B.H., Defaye D. 2001. Introduction to the Copepoda Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Backhyus Publishers, Leiden, Netherlands.
- Fatima M., Mandiki S. N. M., Douxfils J., Silvestre F., Coppe P., Kestemont P. 2007. Combined effects of herbicides on biomarkers reflecting immune-endocrine interactions in goldfish. *Immune and antioxidant effects. Aquatic Toxicology*, 81: 159-167. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.11.013>
- Gouda A-I., 2018. Analyse des risques environnementaux liés aux pratiques phytosanitaires dans les écosystèmes aquatiques du bassin cotonnier (Nord Bénin). Essai présenté en vue de l'obtention du grade de docteur en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique de l'Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, 201 p.
- Habi M., Morsli B. 2011. Contraintes et perspectives des retenues collinaires dans le Nord-Ouest algérien. *Sécheresse*, 22: 49-56. <https://doi.org/10.1684/sec.2011.0293>
- HACH Company. 2012. Water Analysis Handbook. HACH Company (7<sup>th</sup> edition), Colorado, USA.
- Harford A.J., O'Halloran K., Wright P.F. 2005. The effects of in vitro pesticide exposures on the phagocytic function of four native Australian freshwater fish. *Aquatic Toxicology*, 75(4): 330-342. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.09.005>
- Ibouraima S. 2005. Comblement des retenues d'eau d'abreuvement en zone agropastorale soudano-sahélienne : Dynamique, bilan et impact de la sédimentation intra-cuvette. Cas du Département de l'Alibori (Nord-Est du Bénin-Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat en Gestion de l'Environnement, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 221p.

- Imorou Toko I., Yabi J.A., Assogba M.N., Adam Sanni M., Elegbe H.A. 2011. Evaluation des potentialités piscicoles et socioéconomiques des retenues d'eau pastorales dans la commune de Banikoara (Nord-est du Bénin). *Annales de l'Université de Parakou Série Sciences naturelles-Agronomie*, 92 -119.
- Katagi T. 2010. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer, Berlin, Allemagne.
- Kpéra G.N. 2015. Understanding complexity in managing agro-pastoral dams ecosystem services in Northern Benin. Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of doctor at Wageningen University, The Netherlands, 201 p.
- Lacroix E. 2004. *Pisciculture en Zone Tropicale*. GTZ, GFA Terra Systems, Hambourg, Allemagne.
- Le Guen T., Tito de Moraes L. 2001. Diversité des utilisations agricoles associées aux retenues d'eau du Nord de la Côte-d'Ivoire. *Cahiers d'outre-mer*, 215 : 283-303.
- Lienou G., Mahe G., Piih S. L., Sighomnou D., Paturel J.E., Bamba F. 2014. L'aménagement des barrages de retenue d'eau, une stratégie d'adaptation à la sécheresse dans le bassin du fleuve Niger ? *Proceedings of FRIEND-Water*. France: 197-202.
- Lorenzen C. J. 1967. Determination of chloroand pheopigments: Spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12: 343 - 346. <https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0343>
- Milla S., Mathieu C., Wang N., Lambert S., Nadzialek S., Massart S., Henrotte E., Douxfils J., Mélard C., Mandiki S. N. M. 2010. Spleen immune status is affected after acute handling stress but not regulated by cortisol in Eurasian perch, *Perca fluviatilis*. *Fish and Shellfish Immunology*, 28: 931-941. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.02.012>
- Napon K. 2013. Les petits réservoirs d'eau et leurs effets sur les conditions de vie des ménages : cas de la retenue de Boura (province de la Sissili). Mémoire de Maîtrise en géographie physique, Université de Koudougou, Burkina-Faso, 106 p.
- Novotny L., Dvorska L., Lorencova A., Beran V., Pavlic I. 2004. Fish: a potential source of bacterial pathogens for human beings. *Veterinarni Medicina*, 9: 343-358. <https://doi.org/10.17221/5715-VETMED>
- Ogou A.J. 2012. Valorisation piscicole des retenues d'eau pastorale dans la commune de N'Dali. Mémoire de Licence Professionnelle en Pêche et Aquaculture, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 40 p.
- Ouédraogo M. 1996. *Stratégie Nationale de gestion des ressources halieutiques*. CONAGESE. MEE, Ouagadougou, Burkina Faso, 64 p.
- Pèlèbè E.O.R. 2019. Performances d'élevage et qualité sanitaire des poissons *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) et *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) produits dans les retenues d'eau du nord du Bénin (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat en cotutelle en Hydrobiologie, Pêche et Aquaculture, Université de Parakou et Université Félix HOU-PHOUET-BOIGNY, Bénin et Côte d'Ivoire, 237p.
- Pèlèbè E.O.R., Imorou Toko I., Dassoundo-Assogba C.F.J. Ouattara N.I., Dimon Yai W.B., Yabi A.J., Mensah A.G. 2019. Assessment of the economic profitability determinants of fishing activity in water reservoirs in Northern Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 86: 65-73.
- Piquemal D. 1991. Inventaire et bilan des retenues d'eau au Burkina Faso. *Cahiers d'outre-mer*, 175: 259-280.
- Pourriot R. 1980. Rotifères: 219-244. In : Durand J.R., Lévêque C. (Eds), *Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne*. Tome I, Editions ORSTOM, Collection Initiations Documents Techniques n°44.
- Raschke R.L. 1993. Guidelines for Assessing and Predicting Eutrophication Status of Small Southeastern Piedmont Impoundments. U. S. Environmental Protection Agency, Region 4, Science and Ecosystem Support Division, Ecological Assessment Branch, Athens, Georgia.
- Remini W., Remini B. 2003. La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du Nord. *Larhyss Journal*, 02 : 45-54.
- Rodier J., Legube B., Merlet N., et al. 2009. *L'analyse de l'eau*. Dunod, Paris, France.
- Sally H., Levite H., Cour J. 2011. Local water management of small reservoirs: Lessons from two case studies in Burkina Faso. *Water Alternatives*, 4: 365-382.
- Saoussen N. 2016. Caractérisation des bactéries psychrotrophes de deux types d'aliments (viande de volaille et poisson sardine). Mémoire de Master en



- Sciences biologique, spécialité écologie microbienne de l'Université des Frères Mantouri Constantine, Algérie, 72p.
- SEQ-Eau (Système d'Évaluation de la Qualité de l'eau). 2010. Grille d'interprétation des qualités des eaux des cours d'eau. Arrêté du 25 janvier, 1p.
- Shewan J.M. 1977. The bacteriology of fresh and spoiling fish and the biochemical changes induced by bacterial action: 51-66. In Proceedings of the Conference on the Handling, Processing and Marketing of Tropical Fish. Tropical Product Institute (London).
- Somé K., Dembélé Y., Somé L., Millogo - Rasolodimby J. 2008. Pollution agricole des eaux dans le bassin du Nakanbé : cas des réservoirs de Loumbila et de Mogtédou au Burkina Faso. Sud et Technologies, 16 :14-22.
- Stratev D., Vashin I., Rusev V. 2012. Prevalence and survival of *Aeromonas* spp. in foods-a review. Revue de Médecine Vétérinaire, 163 (10) : 486-494.
- Tah L., Da Costa S.K., Kouassi N.J., Moreau J. 2009. Effort de pêche et production piscicole au lac d'Ayamé (bassin de la Bia; Côte d'Ivoire) après le départ des pêcheurs «BOZOS». Agronomie Africaine, 21 (1) : 103-115.
- Tito de Morais L., Da Costa K., Raffray J., Traoré K. 2007. Pêches artisanales dans les petits barrages : 75-95. In : Cecchi P. (Eds), L'eau en partage : les petits barrages de Côte d'Ivoire. IRD (France): Latitudes 23
- Ton P. 2004. La production du coton au Bénin, Projet d'analyse d'une spéculation agricole par pays, financé par le programme "Renforcement des capacités commerciales" de la FIPA (Fédération Internationale des Producteurs Agricoles), Cotonou et Amsterdam, FUPRO BENIN N° 15.4.04. 279K, 52p.
- Viveen W.J.A.R., Richter C.J.J, Oordet P.G.W., Janssens J.A.L., Huisman E.A. 1985. Manuel Pratique de Pisciculture du poisson-chat africain (*Clarias gariepinus*). Direction Générale de la Coopération Internationale du Ministère des Affaires Etrangères-Département de Pisciculture et des Pêches de l'Université Agronomique de Wageningen-Département de Zoologie de l'Université d'Utrecht, 128p.
- Wetzel R.G., Likens G. 1991. Limnological analyses. Springer-Verlag, New York, USA.
- Zoumenou Y.M.B.G. 2019. Etude de la contamination de l'environnement et des produits de pêche par les pesticides, dans le bassin cotonnier béninois. Thèse de doctorat en Sciences Vétérinaires, Université de Liège, Belgique, 238p.
- Zoumis T., Schmidt A., Grigorova L., Calmano W. 2001. Contaminants in sediments: remobilization and demobilization. Science of The Total Environment, 266: 195-202.



## Evaluation des usages et disponibilité des plantes ligneuses utilisées en médecine traditionnelle dans la zone guinéo-congolaise du Bénin

Perpétue B. AKPI<sup>1,3</sup>, Thierry D. HOUEHANOU<sup>1,3,4</sup>, Alain S. YAOITCHA<sup>1,2</sup>, Carlos C. AHOYO<sup>1</sup>, Gérard GOUWAKINNOU<sup>1,3</sup>, Samadori S. Honoré BIAOU<sup>3</sup>, Armand NATTA<sup>3</sup>, Marcel R.B. HOUINATO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Faculté des sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

<sup>2</sup> Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, 01 BP 884 Cotonou, Benin  
<sup>3</sup> Laboratoire d'Ecologie, de Botanique et de Biologie Végétale, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, 03 BP 125, Parakou, Bénin

<sup>4</sup> Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi, 04 BP 1525, Cotonou, Bénin

Reçu le 6 Mars 2019 - Accepté le 6 Décembre 2019

### Assessment of the uses and availability of woody plants used in traditional medicine in the Guineo-Congolese area of Benin

**Abstract:** In Benin, rural populations depend heavily on woody plant resources to meet their daily needs. With a rapidly growing population, the woody species of the Guineo-Congolese zone of Benin are subjected to strong harvesting pressure. It is in this context that this study was conducted in this area to assess the vulnerability of woody species used in traditional medicine in order to preserve and sustainably manage these resources. Especially i) we estimate the effect of socio environmental factors such as ethnic group, sex, age, and phytodistrict on the ethno medicinal knowledge, ii) to estimate the availability of the woody species used in traditional medicine. It consisted of semi-structured individual interviews of 138 residents of the forests of Pahou, Lama, Loko li and Pobè-Sakété composed mainly of actors of the traditional medicine of Benin, traditional healers and wise. Forty five plots were installed to evaluate the availability of the woody species in the different forests. A total of 68 woody species with 14 illness were identified. The Inference Test and Principal Component Analysis (PCA) were applied to the Value (UV) and the Importance Value Index (IVI) were calculated. As result, we noticed that the utilization of medicinal woody species were influenced by the sex, the ethnic, the age and the phytodistrict. Nine of thirty six woody species were revealed available for usage in the area Guinean-congolese zone. Correlation between Use Value and Importance Value Index are significant for Lama Forest. Subsequent phytochemical studies will show the real potential of the listed woody species in the specific treatment of the most commonly reported human illness in this area.

**Keywords:** Use, woody species, traditional medicine, availability, guineo-congolese area, Benin.

**Résumé :** Au Bénin, les populations rurales dépendent fortement des ressources ligneuses pour la satisfaction de leurs besoins en santé humaine. Avec une démographie galopante, les espèces ligneuses de la zone guinéo-congolaise du Bénin, subissent une forte pression de prélèvement. La présente étude a été conduite dans cette zone pour (i) évaluer l'effet des facteurs socio environnementaux tels que le groupe ethnique, le sexe, l'âge et le phytodistrict sur les connaissances ethno médicinales, (ii) évaluer la disponibilité des espèces ligneuses utilisées en médecine traditionnelle. Elle a consisté à des interviews individuelles semi-structurées de 138 riverains des forêts de Pahou, Lama, Lokoli et Pobè-Sakété composés principalement des acteurs de la pharmacopée béninoise. Quarante-cinq placeaux ont été installés dans les forêts concernées pour évaluer la disponibilité des espèces dans la zone. La valeur d'usage médicinale (UV) et l'indice de disponibilité écologique (IVI) ont été calculés. Les tests d'inférence de Kruskal-Wallis et de Mann Whitney, l'analyse en composante principale et le

test de corrélation ont été appliqués aux variables UV et IVI. L'utilisation de 68 espèces ligneuses appartenant à 57 genres et 26 familles ont été inventoriées avec un effet significatif du phytodistrict, de l'âge, du sexe et du groupe ethnique. L'indice de valeur d'importance (IVI) révèle que seules 9 espèces sur les 36 ligneuses utilitaires recensées sont encore disponibles à différents degrés dans la zone guinéo-congolaise du Bénin. Les corrélations entre les valeurs des UV et IVI sont positives et significatives seulement au niveau de la Lama. Les résultats obtenus sont des outils pour mieux orienter les recherches phytochimiques ultérieures et le développement de stratégies de gestion durable de ces ressources dans la zone d'étude.

**Mots clés:** Usage, plantes ligneuses, médecine traditionnelle, disponibilité, zone guinéo-congolaise, Bénin.

## 1. Introduction

L'arbre occupe une place primordiale dans la vie de l'homme en société au regard de ses multiples fonctions dans les domaines alimentaire, médicinal, culturel, agro-forestier et technologique (Goussanou *et al.*, 2011). Sa contribution à la sécurité alimentaire et aux soins de santé primaire n'est plus à démontrer car près de 80% de la population des pays en développement les utilisent pour se soigner ou pour se nourrir (Dossou *et al.*, 2012). Au Bénin, on dénombre environ 814 espèces appartenant à 130 familles qui présentent des vertus médicinales. On considère à l'heure actuelle que près de 85 % de la population africaine n'a recours qu'aux plantes qui l'entourent pour se traiter (Rai *et al.*, 2000).

La démographie galopante a impliqué une hausse de la dépendance des humains vis-à-vis de la biodiversité (Amoussou *et al.*, 2012). Cette forte pression conduit dangereusement à l'amenuisement des couvertures forestières (Djègo et Oumorou, 2009) et très souvent, leur existence est remise en question (Yessoufou, 2005). C'est le cas en Afrique au Sud du Sahara et particulièrement au Bénin où les ressources génétiques, précisément les espèces médicinales s'amenuisent progressivement à cause de leur utilisation abusive. La diminution de ces ressources ligneuses affecte tous les domaines de la vie des populations locales essentiellement l'alimentation, l'énergie, la construction, la médecine et l'artisanat (Wezel et Lykke, 2006).

Dans la perspective d'un développement social axé sur la lutte contre la pauvreté, l'évaluation des connaissances sur l'utilisation de ces espèces ligneuses représente une étape importante pour intégrer les besoins des populations dans les prises de décision concernant la gestion durable de ces ressources. Nombres d'études ethnobotaniques ont été entreprises pour recenser les utilisations locales de plusieurs espèces végétales (Wezel et Lykke, 2006; Ambe *et al.*, 2015; Agbodeka *et al.*, 2017; Koudokpon *et al.*, 2017; Ahoyo *et al.*, 2017). Au Bénin, ces études se sont plus attachées à identifier les

espèces médicinales, les recettes ainsi que leurs formes d'utilisation par les populations béninoises (Adomou *et al.*, 2012; Dossou *et al.*, 2012; Guinnin *et al.*, 2015; Dougnon *et al.*, 2017; Houmenou *et al.*, 2017) et des auteurs ont évalué la vulnérabilité de ces plantes médicinales au Sud Bénin (Ayena *et al.*, 2016; Agbankpé *et al.*, 2014; Dassou *et al.*, 2014; Djègo *et al.*, 2011; Ouinsavi et Sokpon, 2010; Assogbadjo *et al.*, 2009; Sokpon *et al.*, 2006). Par ailleurs, la disponibilité des espèces médicinales et les facteurs humains (sexe, âge, groupe ethnique et phytodistrict) pouvant influencer l'utilisation des espèces boisées médicinales n'ont quasiment pas été investiguées (Kouchade *et al.*, 2017). L'évaluation de l'effet des facteurs socio environnementaux sur la connaissance ethno médicinale, s'avère un impératif majeur dans la gestion durable des ressources végétales des pays en voie de développement. En effet, la population rurale possède de multiples perceptions selon les groupes sociaux socioculturels. Ces connaissances peuvent aussi varier d'une zone à une autre selon la disponibilité de la ressource. Ainsi, l'évaluation de l'usage d'une espèce dans un phytodistrict est un élément important pouvant aider à sa gestion durable et à sa conservation. L'objectif principal de ce travail est de contribuer à la gestion durable des espèces boisées médicinales par l'évaluation de leurs utilisations et de leur disponibilité. Spécifiquement l'étude vise à évaluer (i) l'effet des facteurs socio environnementaux comme le groupe ethnique, le sexe, l'âge et le phytodistrict sur les connaissances ethno médicinales, et (ii) la disponibilité des espèces boisées utilisées en médecine humaine en fonction du phytodistrict.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Milieu d'étude

La zone Guinéo-Congolaise est une zone sèche littorale comprise entre les longitudes 1°45' et 2°45' E et les latitudes 6°15' et 7°30' N (Figure 1). Sa pluviométrie varie de 900 mm à l'Ouest à 1300 mm à l'Est avec un degré hygrométrique d'air de l'ordre de 80 %.

\* Auteur Correspondant : [benedicteakpi@gmail.com](mailto:benedicteakpi@gmail.com)

Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin

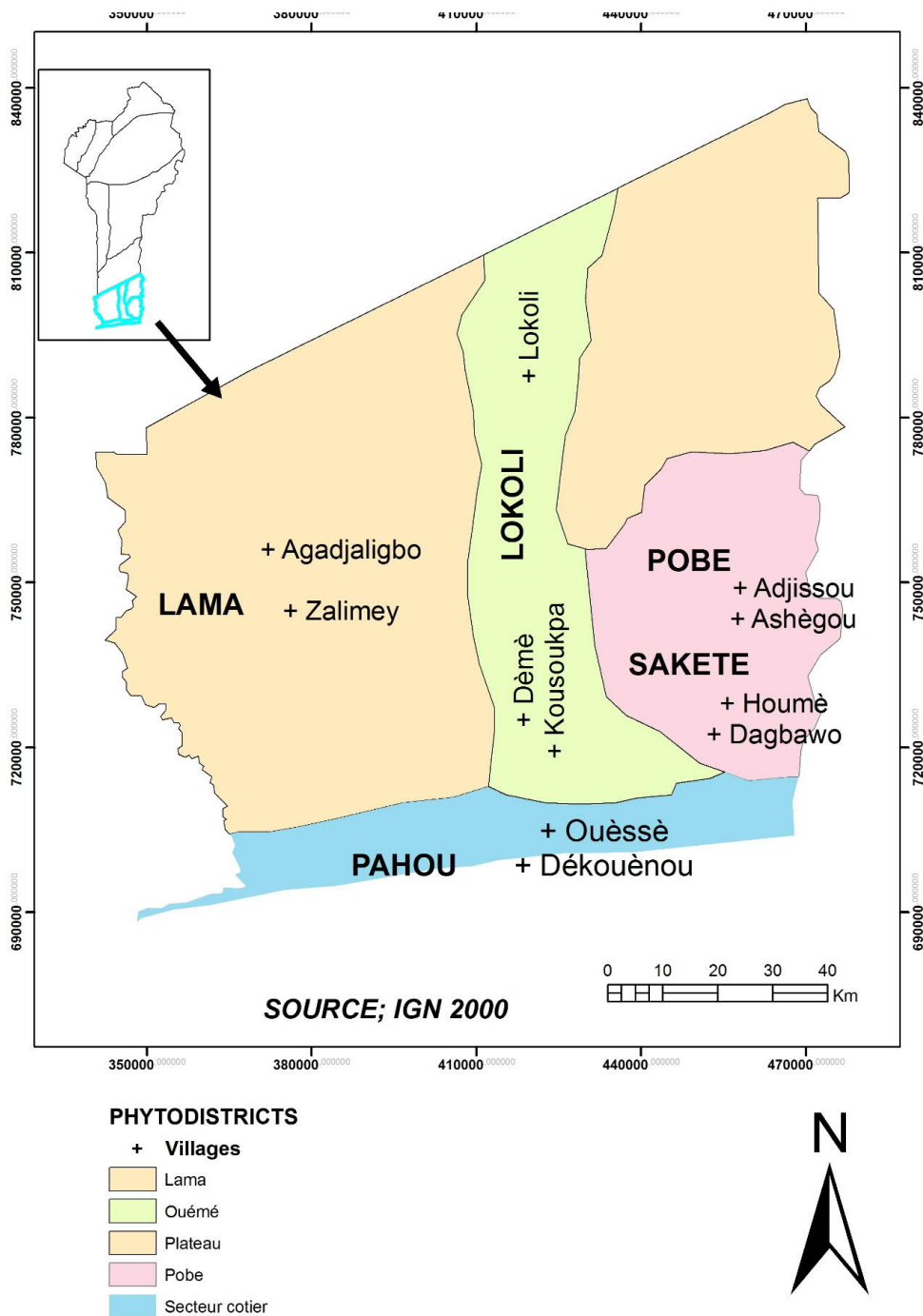


Figure 1: Carte de localisation des villages enquêtés dans la zone guinéo-congolaise du Bénin.

Figure 1: Location of the surveyed villages explored in the Guineo-Congolese area of Benin

Le climat est subéquatorial avec deux saisons pluvieuses d'avril à juillet et de septembre à novembre et deux saisons sèches de novembre à mars et de juillet à septembre. La température moyenne est de 27°C. Les habitants sont répartis en 3 principaux groupes ethniques à savoir : Fon et apparentés (39,2 %), Adja et apparentés (15,2 %) et Yoruba et apparentés (14,5 %). Les activités économiques dominantes sont le commerce et l'agriculture. On y pratique aussi les cultures maraîchères, l'élevage, la pêche, l'artisanat et le tourisme (Adomou et al., 2005). Les quatre phytodistricts de cette zone sont le secteur côtier, le secteur de forêt semi-décidue humide (district de Pobè), le secteur de forêt semi-décidue sèche et savane dérivée (district Ouémé) et le secteur de forêt semi-décidue sèche appauvrie (district Kouffo) (Adomou, 2005). Les principaux types de sols de cette zone sont les sables littoraux, les sols ferrallitiques et les alluvions des vallées des grands cours d'eau (Mono, Kouffo et Ouémé). Elle est notamment le domaine des forêts semi-décidues, actuellement très dégradées. Les principales espèces ligneuses qu'on y retrouve sont *Triplochiton scleroxylon*, *Celtis mildbraedii*, *Celtis zenkeri*, *Antiaris toxicaria*, *Albizia adianthifolia*, *Albizia ferruginea*, *Albizia zygia*, *Ceiba pentandra* et *Milicia excelsa* (Akoègninou et al., 2006).

## 2.2. Echantillonnage et collecte des données

Les travaux de terrain ont été réalisés dans les villages environnant les forêts classées ou aires protégées dans chaque phytodistrict. Ainsi, 5 forêts et 11 villages ont été retenus. Il s'agit des villages Agadjaligbo et Zalimey de la forêt classée de la Lama ; Dèmè, Lokoli et Koussoukpa pour la forêt de Lokoli ; Adjissou et Ashègou pour la forêt de Pobè, Dagbawo et Houmè pour la forêt de Sakété ; Ouèssè et Dékouènou comptant pour la forêt de Pahou. Une enquête exploratoire menée dans la zone d'étude a permis de déterminer la proportion P d'individus utilisant directement les plantes ligneuses pour se soigner. La taille de la population à interviewer dans la zone a été déterminée par la formule de (Dagnelie, 1998; Levy et al., 2008) :

$$N = \frac{U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \times p(1-p)}{d^2}$$

Avec N la taille minimale de l'échantillon de la population à interviewer,  $U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2$  la valeur obtenue de la table standard de distribution de la loi normale  $\alpha$  et p la proportion d'informateurs qui utilisent au moins une plante ligneuse dans le traitement des affections; d est la marge d'erreur de l'estimation. Pour cette étude, N minimale = 126 ;  $U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 = 1.96$  ;  $\alpha = d = 5\%$  et  $p = 80\%$ . Les personnes enquêtées sont des guérisseurs traditionnels, soient des vendeurs de plantes médicinales ou des sages du village. L'enquête a permis d'interroger 138 personnes par rapport à leur connaissance sur les plantes médicinales regroupant 4 groupes ethniques composées de 38% de Fon, 22% de Nago, 21% de Xoli et 19% d'Autres groupes ethniques minoritaires telles que les Lopa, Mahi, Bariba, Goun, Adja et Aïzo. L'âge

des enquêtés a varié entre 26 et 90 ans. Des placeaux de 2000 m<sup>2</sup> (50m x 40m) ont été installés suivant des transects de 270° d'azimut à partir d'un point aléatoirement choisi à 300 m de la lisière de la forêt au voisinage des villages enquêtés. Les placeaux ont été espacés de 100m dans chaque formation. Au total 45 placeaux ont été installés tenant compte de l'étendue de chaque forêt, soit 10 dans la Lama, 15 à Lokoli, 6 dans la forêt de Pobè, 8 à Sakété et 6 à Pahou. Les diamètres des arbres à hauteur de poitrine d'homme (diamètre à 1,3 m du sol) ont été mesurés.

## 2.3. Traitement et analyses des données

Pour évaluer les espèces médicinales utilisées, la valeur d'usage médicinale a été calculée pour chaque espèce dans chaque phytodistrict en utilisant la formule de Rossato et al., (1999) :

$$UV = \sum \frac{U_i}{n}$$

Avec  $U_i$  le nombre d'usage (c'est-à-dire le nombre d'affections) mentionnés par un informateur  $i$  et  $n$  le nombre total d'informateur enquêté dans le phytodistrict. La valeur d'usage médicinale de chaque espèce a été calculée pour chaque informateur en utilisant la formule de Achigan-Dako et al., (2010) :

$$UV_i = \frac{U_i}{n}$$

Avec  $U_i$  le nombre d'usage de l'espèce (nombre d'affections) mentionné par l'informateur  $i$  et  $n$  le nombre d'informateur interviewé. Pour évaluer la disponibilité écologique des espèces dans chaque phytodistrict, l'Indice de valeur d'importance de chaque espèce (IVI) a été calculé dans chaque phytodistrict par la formule suivante (Allabi et al., 2011) :

$$IVI = \sum Fr + Dr + Gr$$

Où, Fr est la fréquence relative de l'espèce, Dr : sa densité relative et Gr : sa surface terrière relative. Les paramètres dendrométriques des espèces ligneuses recensées dans les placeaux ont permis le calcul de la fréquence relative, la densité relative et de la surface terrière relative des arbres de dbh  $\geq 10$  cm inventoriés. Pour évaluer l'effet des facteurs sur la connaissance ethno médicinale des espèces ligneuses le test non paramétrique de Mann Whitney a été appliqué aux valeurs des UV calculées en ce qui concerne l'effet du sexe et de l'âge. En ce qui concerne les phytodistricts et les groupes ethniques, le test de Kruskal-Wallis a été appliqué. Le patron d'usage des espèces et leur disponibilité écologique selon les phytodistricts et les groupes ethniques ont été évalués grâce à une Analyse en Composante Principale. Ainsi une matrice des espèces x phytodistricts et espèce x groupe ethnique des valeurs d'usage des espèces et indices de valeurs d'importance ont été constituées et utilisées. La relation entre l'usage des espèces et leur disponibilité écologique a été mise en exergue en utilisant le test de corrélation de Spearman effectué dans chaque phytodistrict.



### 3. Résultats

#### 3.1. Facteurs sociodémographiques et environnementaux influençant l'utilisation des espèces boisées médicinales dans la zone Guinéo-Congolaise du Bénin

Les tests d'inférence de Mann Whitney et de Kruskal-Wallis effectués montrent un effet significatif du phytodistrict, du groupe ethnique, du sexe et de l'âge sur la connaissance ethno médicinale (Tableau 1).

Le phytodistrict, le sexe, l'âge et le groupe ethnique sont donc des facteurs qui ont influencé significativement l'utilisation des espèces médicinales dans la zone guinéo-congolaise du Bénin. Suivant le sexe, on constate que les hommes ont plus de connaissance des espèces ligneuses médicinales que les femmes dans la zone d'étude. Par rapport à l'âge, les adultes maîtrisent mieux les espèces ligneuses médicinales que les jeunes. Les vieux quant à eux, connaissent moins les ligneuses médicinales que les jeunes et les adultes. L'analyse en

composantes principales effectuée sur la matrice des valeurs d'usage des espèces donne la figure 2. Il ressort de cette analyse que les deux premières composantes résument 96,29% des informations sur l'utilisation des plantes médicinales en fonction de l'âge. On retient du taux de corrélation des composantes principales que les jeunes et vieux ont connaissance de 45 espèces ligneuses médicinales et les adultes en maîtrisent seulement 12 (Tableau 2).

Tableau 1: Test d'inférence

VARIABLES	Chi <sup>2</sup>	p-value
Phytodistrict	15.42	p<0,01
Groupe ethnique	12.493	p<0,01
Sexe	23.954	p<0,0001
Age	39.433	p<0,0001

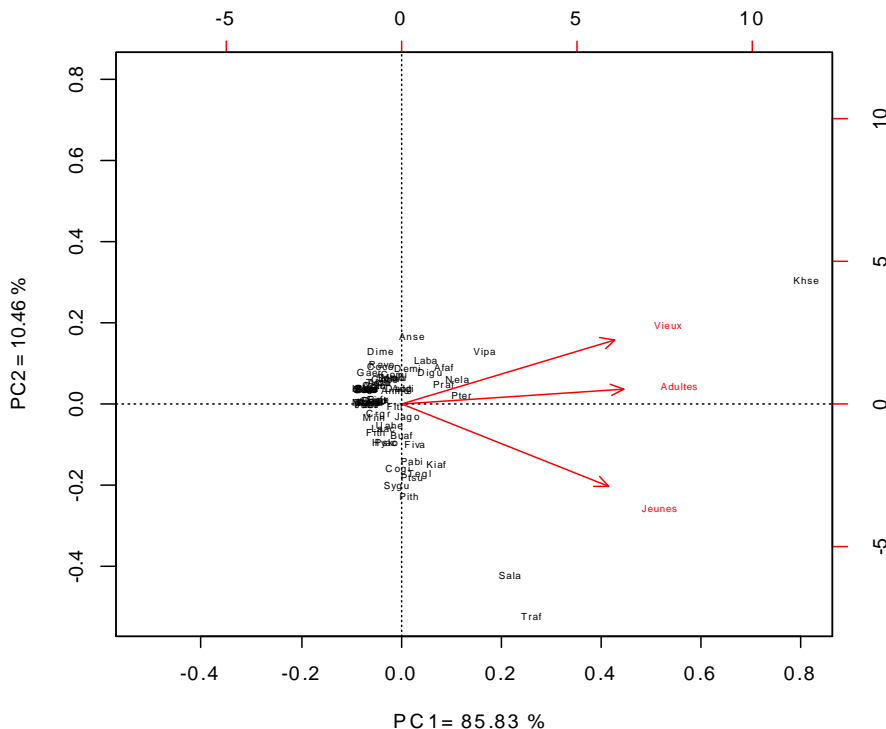


Figure 2: Projection des espèces médicinales en fonction de l'âge dans le système de deux axes formés par l'analyse en composante principale.

Figure 2 : Projection of medicinal species according to age by principal component analysis

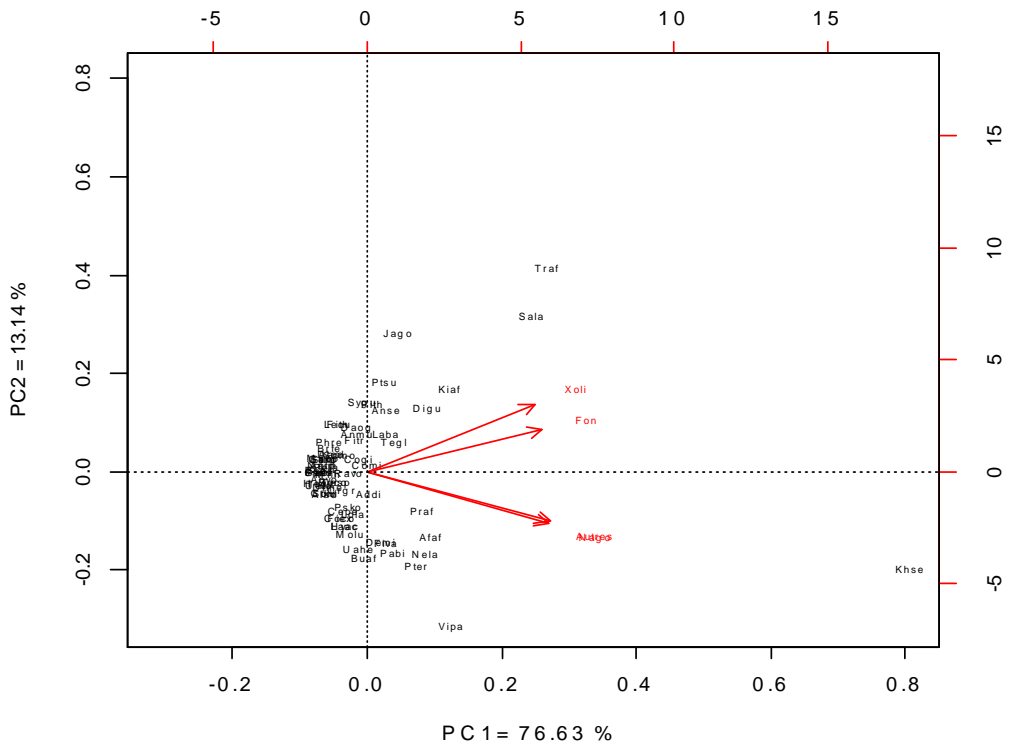


Figure 3 : Projection des espèces médicinales en fonction des groupes ethniques dans le système de deux axes formés par l'analyse en composante principale.

Figure 3: Projection of medicinal species according to ethnic groups

En ce qui concerne les groupes ethniques, les fons connaissent mieux les espèces ligneuses utilisées en médicinales traditionnelles contrairement aux autres groupes ethniques qui n'ont que peu de connaissances relatives à ces espèces. La figure 3 montre la projection des espèces médicinales en fonction des groupes ethniques selon le système de deux axes formés par l'analyse en composante principale.

Il ressort de l'analyse que les deux premières composantes principales résument à elles seules, 89,77% des informations de valeurs d'usage en fonction des groupes ethniques. Aussi on constate avec les taux de corrélation de l'ACP que les Xoli et les Fons utilisent les mêmes espèces pour se soigner contrairement aux Nago et autres groupes ethniques minoritaires (Figure 3). Ainsi 45 espèces ligneuses sont plus utilisées par les fons et les xolis et 22 espèces par les les Nagos et autres groupes ethniques minoritaires. En somme 60 espèces médicinales sont plus utilisées par les populations riveraines de la zone guinéo-congolaise en fonction des

groupes ethniques (Tableau 2). Suivant les phytodistricts, Pobè est le phytodistrict où la connaissance de la population sur les espèces ligneuses médicinales est plus élevée et Lama est le phytodistrict dans lequel la connaissance est moins élevée. L'analyse en composante principale effectuée sur la matrice des valeurs d'usage en fonction des quatre phytodistricts montre que les deux premières composantes à elles seules, résument 66,70% des informations.

La projection des espèces dans le système d'axes 1 et 2 et la corrélation des phytodistricts avec les axes, montrent que dans les phytodistricts Lama, Pahou et Pobè-Sakété, les populations riveraines utilisent les mêmes espèces pour le traitement des affections en médecine traditionnelle. Au total 36 espèces médicinales sont donc utilitaires en médicinales traditionnelle dans la zone guinéo-congolaise (Tableau 2).

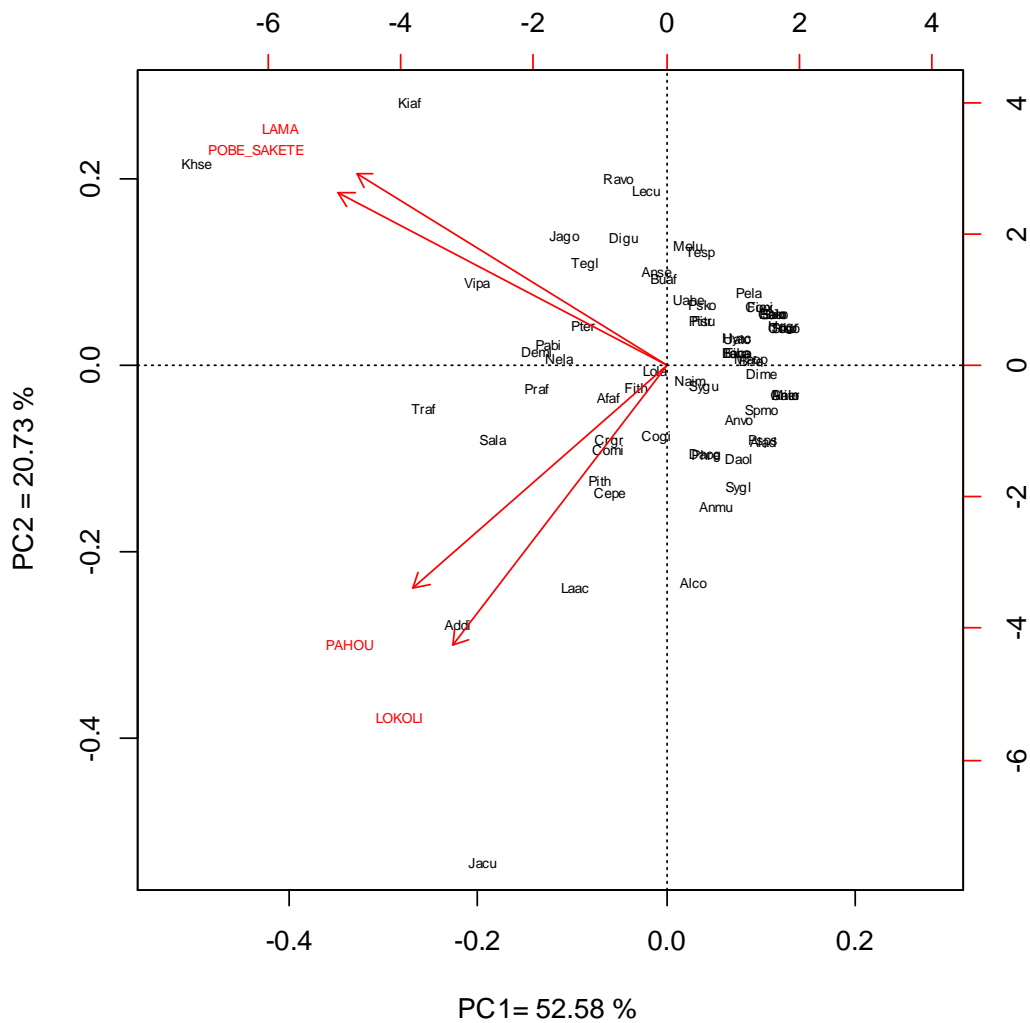


Figure 4 : Projection des espèces médicinales en fonction des phytodistricts dans le système d'axes formés par l'analyse en composante principale.

Figure 4: Projection of medicinal species according to the phytodistrict

Tableau 2: Matrice de connaissance des espèces suivant les variables

Table 2 : Knowledge table of the species according to the variables

ESPECES / VARIABLES	GROUPES ETHNIQUES		AGES		PHYTODISTRICTS	
	Nago et groupes ethniques minoritaires	Fon et Xoli	Jeunes et Vieux	Adultes	Lama, Pahou et Pobè-Sakété	Lokoli
<i>Adansonia digitata</i>	-	-	-	+	-	-
<i>Azelia africana</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Albizia adianthifolia</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Alstonia congensis</i>	+	-	+	-	-	+
<i>Annona senegalensis</i>	-	+	-	+	-	+
<i>Anthocleista vogelii</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Antiaris toxicaria</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Bombax costatum</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Bridelia ferruginea</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Burkea africana</i>	-	+	-	+	-	-
<i>Ceiba pentandra</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Combretum collinum</i>	+	+	+	-	+	-
<i>Combretum nigricans</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Cola gigantea</i>	-	-	-	+	-	-
<i>Croton gratissimus</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Daniellia ogea</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Daniellia oliveri</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Detarium microcarpum</i>	-	+	-	+	+	-
<i>Dialium guinense</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Diospyros mespiliformis</i>	+	-	-	-	+	-
<i>Ficus exasperata</i>	+	+	+	-	+	-
<i>Ficus thonningi</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Ficus trichopoda</i>	-	+	+	-	-	-
<i>Ficus vallis-choudea</i>	-	+	-	+	+	-
<i>Garcinia kola</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Gardenia erubescens</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Holoptelea grandis</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Hymenocardia acida</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Jatropha curcas</i>	+	-	+	-	-	+
<i>Jatropha gossypifolia</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Khaya senegalensis</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Kigelia africana</i>	+	-	-	-	+	-
<i>Lannea acida</i>	+	+	+	-	-	+
<i>Lannea barteri</i>	-	-	+	-	+	-
<i>Lecaniodiscus cupanioides</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Lophira lanceolata</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Mallotus oppositifolius</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Mitragyna inermis</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Morinda lucida</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Napoleona imperialis</i>	+	-	+	-	-	-

<i>Newbouldia laevis</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Parkia biglobosa</i>	-	+	-	+	+	-
<i>Pavetta crassipes</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Pericopsis laxiflora</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Phyllanthus reticulatus</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Piliostigma thonningii</i>	-	+	-	+	-	-
<i>Prosopis africana</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Pseudocedrela kotschy</i>	-	-	-	+	-	-
<i>Psychotria psychotrioides</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Pteleopsis suberosa</i>	+	+	-	+	-	-
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	-	+	+	-	-	-
<i>Rauvolfia vomitoria</i>	-	-	-	-	-	+
<i>Sarcocephalus latifolius</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Securida longepedunculata</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Spondias mombin</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Stereospermum kunthianum</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Strychnos innocua</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Symphonia globulifera</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Syzygium guineense</i>	-	+	-	+	-	-
<i>Terminalia glaucescens</i>	-	-	-	+	-	-
<i>Terminalia superba</i>	+	-	+	-	-	+
<i>Treculia africana</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Trema orientalis</i>	+	-	+	-	+	-
<i>Uapaca heudelotii</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Uapaca togoensis</i>	+	-	+	-	-	-
<i>Vitellaria paradoxa</i>	+	+	+	-	+	-

### 3.2. Disponibilité des espèces ligneuses médicinales utilisées dans la zone guinéo-congolaise

L'analyse en composante principale effectuée sur les indices de valeur d'importance en fonction des quatre phytodistricts montre que les deux premières composantes à elles seules, résument 73,31% des informations. De la figure 5, il ressort que les espèces les plus disponibles dans les forêts de Pahou sont *Antiaris toxicaria*, *Bombax costatum* et *Lecaniodiscus cupanioides* alors que *Bombax costatum*, *Azelia africana*, *Antiaris toxicaria*, *Ceiba pentandra* et *Terminalia superba* sont plus disponibles dans la forêt de Pobè. Dans la Lama, on retrouve encore *Dialium guineense* et *Lecaniodiscus cupanioides*. A Lokoli ce sont les espèces *Alstonia congensis* et *Prosopis africana* qui ont encore une bonne disponibilité. En somme, neuf espèces médicinales sont

encore disponibles dans le milieu naturel. Il s'agit de *Antiaris toxicaria*, *Azelia africana*, *Alstonia congensis*, *Bombax costatum*, *Ceiba pentandra*, *Dialium guineense*, *Lecaniodiscus cupanioides*, *Prosopis africana* et *Terminalia superba*.

### 3.3. Corrélation entre les usages et la disponibilité écologique des espèces selon le phytodistrict

Le test de corrélation de Spearman effectué sur les valeurs d'usage et les indices de valeurs d'importance des espèces dans chaque phytodistrict montre une corrélation positive et significative dans le phytodistrict de la Lama tandis que la corrélation est non significative dans les trois autres phytodistricts (Tableau 3).

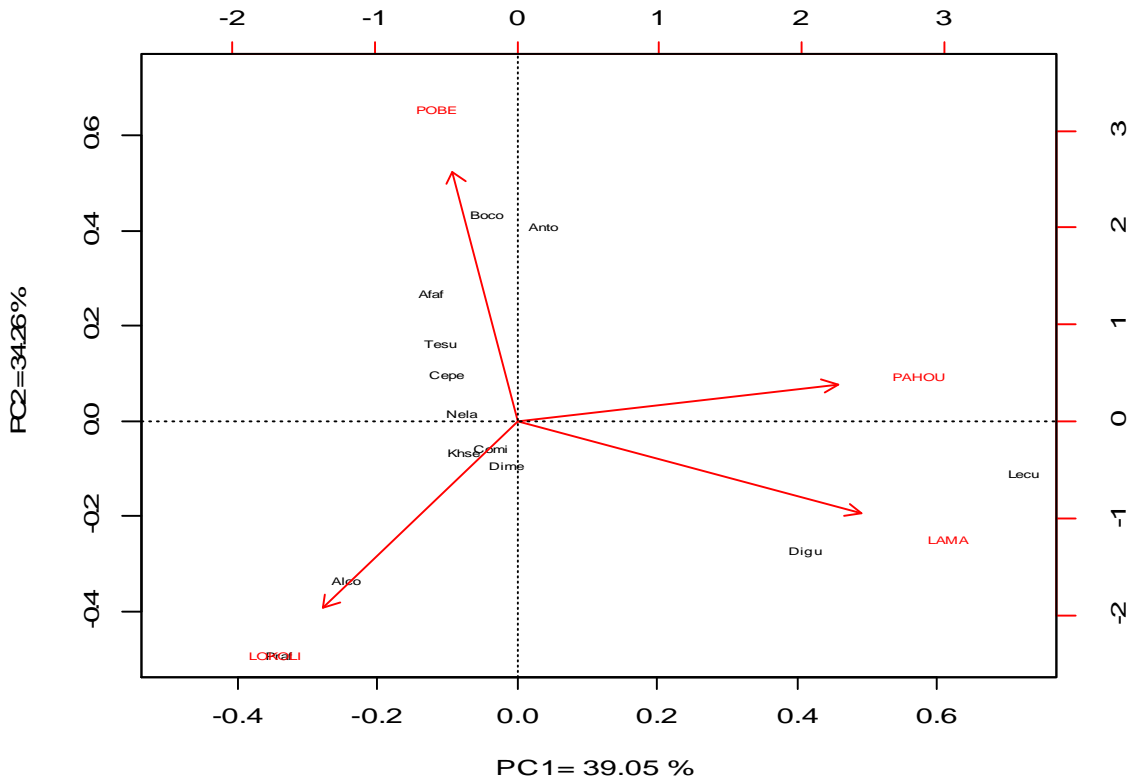


Figure 5: Projection des espèces selon leur disponibilité et suivant les phytodistricts dans le système de deux axes formés par l'analyse en composante principale

Figure 5: Projection of medicinal species according to their availability in the phytodistrict

Tableau 3: Test de corrélation de Spearman entre l'usage et la disponibilité dans chaque phytodistrict

Table 3: Spearman correlation test between use and availability within each phytodistrict

Phytodistricts	Corrélations	Probabilités
Pahou	-0.09	0.4648
Pobè-Sakété	-0.01	0.9502
Lokoli	0.13	0.2773
Lama	0.34	<b>0.0049</b>

## 4. Discussion

### 4.1. Effet des facteurs socio démographiques et environnementaux sur la connaissance ethno-médicinale des espèces boisées dans la zone Guinéo-Congolaise du Bénin

Les facteurs discriminants de l'utilisation des espèces médicinales ligneuses dans la zone guinéo-congolaise sont le sexe, l'âge, les groupes ethniques et les

phytodistricts. Camou-Guerrero *et al.*, (2008) ont constaté que les facteurs sociaux tels que le groupe ethnique, l'âge et le sexe affectent les connaissances traditionnelles et déterminent le choix des espèces de plantes utilisées par les populations. Ce constat a été fait dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari où, l'utilisation des espèces par les populations est fonction de leur groupe ethnique et sexe (Houehanou *et al.*, 2011). Le sexe est un facteur influençant l'utilisation des espèces médicinales à cause de la division du travail dans les sociétés traditionnelles (Müller-Schwarze, 2006). Les femmes s'intéressent plus aux plantes utilisées dans le domaine alimentaire tandis que les hommes maîtrisent mieux les espèces utilisées comme bois d'œuvre (Vodouhê *et al.*, 2009). Dans la zone guinéo-congolaise, le constat est que les hommes ont plus connaissance des espèces ligneuses médicinales. Ce qui est expliqué par le fait que seulement 23% des enquêtés sont des femmes. Ceci est dû au fait que les tradithérapeutes sont plus souvent des hommes (Koudokpon *et al.*, 2017). Aussi, les femmes étant mères, donnent les premiers

soins en particulier pour leurs enfants (Mehdioui et Kahouadji, 2007) et de ce fait, maîtrisent plus l'utilisation des plantes connues de tous que celles spécifiques que cherchent les hommes loin de la maison. Quant à l'âge, les adultes maîtrisent mieux les espèces ligneuses médicinales que les jeunes. Les résultats confirment que les personnes âgées utilisent plus les plantes médicinales par rapport aux autres tranches d'âge ((Benkhniue *et al.*, 2010; Mehdioui et Kahouadji, 2007).

En ce qui concerne le groupe ethnique, le fon est le groupe ethnique qui maîtrise mieux les espèces ligneuses médicinales suivi du Nago, du Xoli et des autres groupes ethniques telles que les Mahi, Goun, Adja, Aïzo, Lopa et Baribas. Ceci est probablement dû au fait que le fon est le groupe ethnique le plus représenté dans notre échantillon (38% de Fon, 22% de Nago, 21% de Xoli et 19% d'Autres groupes ethniques minoritaires) et dans la zone d'étude (Adomou *et al.*, 2018)

Le phytodistrict est aussi un facteur discriminant de l'utilisation des espèces médicinales dans la zone d'étude. Pobè est le phytodistrict où la connaissance de la population sur les espèces ligneuses médicinales est plus élevée et Lama est le phytodistrict dans lequel la connaissance est moins élevée. La biodiversité de chaque phytodistrict est la base de cette préférence d'utilisation d'un phytodistrict à un autre, ce qui est en lien avec la théorie de l'apparence écologique (de Lucena *et al.*, 2012).

#### 4.2. Disponibilité des espèces boisées médicinales selon leur niveau d'utilisation

Au total, neuf sur les 36 espèces ligneuses médicinales utilitaires possèdent un indice de valeur d'importance supérieur à 10 % donc écologiquement importantes dans la zone d'étude (Reitsma *et al.*, 1988). Il s'agit de *Antiaris toxicaria*, *Azizia africana*, *Alstonia congensis*, *Bombax costatum*, *Ceiba pentandra*, *Dialium guineense*, *Lecaniodiscus cupanioides*, *Prosopis africana* et *Terminalia superba*. Elles constituent 25% des espèces utilisées en médecine traditionnelle dans la zone. Ces espèces bien qu'étant disponibles, méritent une attention particulière car le degré de perturbation de la population d'une espèce et sa vulnérabilité dépendent de la disponibilité, des parties utilisées et du type de croissance de l'espèce concernée (Cunningham, 1996). Etant donc utilitaires, ces espèces sont objet de prélèvement intense par les riverains. *Antiaris toxicaria* et *Azizia africana* sont des espèces déjà menacées d'extinction au Bénin (Agbahungba *et al.*, 2001; Djègo *et al.*, 2011). En effet la récolte intensive des fruits ou des graines peut entraîner une diminution progressive des ligneux. C'est le cas de *Prosopis africana* où la récolte excessive des gousses a sérieusement réduit sa régénération naturelle dans les régions sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest (Weber *et al.*, 2008). Traore *et al.*,

(2011) reconnaissent la vulnérabilité de *Prosopis africana* due au mode de collecte. La faible disponibilité des 27 autres espèces médicinales très sollicitées dans la zone exige une attention particulière. Il s'agit de *Albizia adianthifolia*, *Annona muricata*, *Anthocleista vogelii*, *Bridelia ferruginea*, *Combretum collinum*, *Combretum nigricans*, *Detarium microcarpum*, *Diospyros mespiliformis*, *Ficus exasperata*, *Ficus vallis-choudea*, *Garcinia kola*, *Gardenia erubescens*, *Holoptelea grandis*, *Jatropha curcas*, *Khaya senegalensis*, *Kigelia africana*, *Lannea acida*, *Lannea barteri*, *Mallotus oppositifolius*, *Mitragyna inermis*, *Parkia biglobosa*, *Pavetta crassipes*, *Pericopsis laxiflora*, *Psychotria psychotrioides*, *Rauwolfia vomitoria*, *Sarcocephalus latifolius*, *Securida longepedunculata*, *Stereospermum kunthianum*, *Strychnos innocua*, *Treulia africana*, *Trema orientalis* et *Vitellaria paradoxa*. Par ailleurs, l'utilisation des plantes ligneuses médicinales à Pahou, Lokoli et Pobè-Sakété n'est pas significativement en lien avec la disponibilité de celles-ci dans le milieu naturel. Cela se justifie par le fait qu'il n'existe pas de forêt classée représentative dans la zone guinéo-congolaise du Bénin. La population se tourne donc vers les étals de marché de plantes médicinales (Betti, 2001; Adomou *et al.*, 2012; Ambe *et al.*, 2015) ou font recours à leur jardin botanique. Cela peut signifier aussi un mauvais état de protection des ressources naturelles dans ces zones. Par contre dans la Lama les espèces ligneuses médicinales les plus utilisées sont les plus disponibles dans la forêt. Ceci est probablement le résultat des mesures de conservation de la Lama qui, selon Neuwander *et al.*, (2011), est relativement en bon état de protection.

## 5. Conclusion

L'utilisation des espèces ligneuses médicinales varie en fonction du sexe, de l'âge, du groupe ethnique et du phytodistrict. Trente-six espèces ligneuses sont plus utilisées en médecine traditionnelle dans la zone guinéo-congolaise du Bénin parmi lesquelles neuf sont plus retrouvées. Cette disponibilité est plus accentuée dans la Lama où les espèces les plus utilisées par la population sont les plus présentes dans le milieu naturel environnant de la population. Il est important de reconnaître que malgré la disponibilité de ces espèces, elles méritent une modération dans leur utilisation car susceptible de disparition de par leur niveau de sollicitation et des parties prélevées. Notre travail est un indice d'orientation pour les plans d'aménagement et une base de données pour une meilleure conservation de la biodiversité. Nous prévoyons pour la suite, faire l'inventaire des menaces pesant sur les espèces médicinales utilisées en médecine traditionnelle et promouvoir la conservation ex-situ des espèces en disparition.



## REMERCIEMENTS

Nous remercions le Fonds National de la Recherche Scientifique et de l'Innovation Technologique (FNR-SIT) qui a financé cette recherche à travers le projet Biologie de la Conservation et Ethnopharmacologie des Ligneux médicinaux de la pharmacopée béninoise (BIOCEL).

## CONFLIT D'INTERET

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

## REFERENCES

- Achigan-Dako, E.G., Pasquini, M.W., Assogba, K. F., N'Danikou, S., Dansi, A., & Ambrose-Oji B. 2010. Traditional vegetables in Benin. Institut National des Recherches Agricoles du Bénin. Imprimeries du CENAP, Cotonou, 285 p.
- Adomou, A., 2005. Vegetation patterns and environmental gradients in Benin, thèse de doctorat, Department of Plant Sciences, Wageningen, University, the Netherlands. ISBN 90-8504-308-5
- Adomou, A.C., Yedomonhan, H., Djossa, B., Legba, S.I., Oumorou, M., Akoegninou, A., 2012. Étude Ethnobotanique des plantes médicinales vendues dans le marché d'Abomey-Calavi au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences 6, 745–772.
- Adomou, C.A., Dassou, G.H., Yedomonhan, H., Gnimanssou Abraham, F., Ouachinou, J.M.-A.S., Aboudja, M.J.M., Houenon, G.A.H., 2018. Analyse des connaissances traditionnelles et des déterminants relatifs à l'utilisation de *Newbouldia laevis* (P. Beauv.) Seemann ex Bureau (Bignoniaceae) au Sud-Bénin. Afrique Science. 14, 194–205.
- Agbahungba, G., Sokpon, N., Gaoué, O.G., 2001. Situation des ressources génétiques forestières du Bénin. Atelier Sous-Régional FAOIPGRIICRAF Sur Conserv. Gest. L'utilisation Durable Mise En Valeur Ressour. Génétiques For. Zone Sahél. Ouagadougou 22-24 Sept 1998 Note Thématique Sur les Ressources Génétiques Forestières. Document. FGR F 12.
- Agbankpé, A.J., Dougnon, T.V., Bankolé, H.S., Yèhouéou, B., Yedomonhan, H., Lègonou, M., Dougnon, T.J., 2014. Etude ethnobotanique des légumes feuilles thérapeutiques utilisés dans le traitement des diarrhées au sud-Bénin (Afrique de l'Ouest). International Journal of Biological and Chemical Sciences 8, 1784–1795.
- Agbodeka, K., Gbekley, H.E., Karou, S.D., Anani, K., Simporé, J., 2017. Activité antiplasmodiale des plantes médicinales d'Afrique de l'Ouest: Revue de la littérature International Journal of Innovation and Scientific Research 14 (28), 121-129.
- Ahoyo, C.C., Houehanou, T.D., Yaoitcha, A.S., Prinz, K., Assogbadjo, A.E., Adjahossou, C.S.G., Hellwig, F., Houinato, M.R.B. 2018. A quantitative ethnobotanical approach toward biodiversity conservation of useful woody species in Wari Maro forest reserve (Benin, West Africa). Environment Development and Sustainability 20 (5), 2301-2320
- Akoègninou, A., Van der Burg, W.J., Van der Maesen, L.J.G., 2006. Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers.
- Allabi, A.C., Busiac, K., Ekanmiana, V., & Bakiono, F. (2011). The use of medicinal plants in self-care in the Agonlin region of Benin. Journal of Ethnopharmacology, 133, 234-243.
- Ambe, A.S., Ouattara, D., Tiebre, M.-S., Vroh, B.T.A., Zirihi, G.N., N'guessan, K.E., 2015. Diversité des plantes médicinales utilisées dans le traitement traditionnel de la diarrhée sur les marchés d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Journal of Animals and Plants Sciences. 26(2), 4081–4096.
- Amoussou, E., Camberlin, P., Mahé, G., 2012. Impact de la variabilité climatique et du barrage Nangbéto sur l'hydrologie du système Mono-Couffo (Afrique de l'Ouest). Hydrology Science Journal 57(2), 1-13.
- Assogbadjo, A., Amadji, G., Kakai, R., Mama, A., Sinsin, B., Van Damme, P., 2009. Evaluation écologique et ethnobotanique de *Jatropha curcas* L. au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences 3(5): 1065-1077
- Ayena, A.C., Agassounon, D.T.M., Assogbadjo, A.E., Adoukonou-Sagbadja, H., Mensah, G.A., Agbangla, C., Ahanhazo, C., 2016. Usages Et Vulnerabilite De *Pterocarpus Santalinoides* L'her. Ex Papillionoidae Une Plante Utilisee Dans le Traitement des Gastro-Enterites Dans le Sud Benin. European Scientific Journal 12(6). <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n6p218>
- Benkhnigou, O., Zidane, L., Fadli, M., Elyacoubi, H., Rochdi, A., Douira, A., 2010. Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Mechraâ Bel Ksiri (Région du Gharb du Maroc). Acta Botanica. Barcinonensia 53, 191–216.
- Betti, J.L., 2001. Usages traditionnels et vulnérabilité des plantes médicinales dans la Réserve de Biosphère du Dja et dans les marchés de Yaoundé, Cameroun (PhD Thesis). Thèse Document des Sciences Agronomiques. ULB, Bruxelles, 418 p.

- Camou-Guerrero, A., Reyes-García, V., Martínez-Ramos, M., Casas, A., 2008. Knowledge and use value of plant species in a Rarámuri community: a gender perspective for conservation. *Human. Ecology*. 36, 259–272.
- Cunningham, A.B., 1996. Recommandations pour les zones à usages multiples et les alternatives de développement autour du parc national de Bwindi Impénétrable, Ouganda. *Peuples Parcs Plantes*.
- Dagnelie, P., 1998. Statistique théorique et appliquée (Tome 2). De Boeck & Larcier, Paris–Bruxelles.
- Dassou, H.G., Ogni, C.A., Yédomonhan, H., Adomou, A.C., Tossou, M., Dougnon, J.T., Akoègninou, A., 2014. Diversité, usages vétérinaires et vulnérabilité des plantes médicinales au Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 8, 189–210.
- de Lucena, R.F.P., de Medeiros, P.M., de Lima Araújo, E., Alves, A.G.C., de Albuquerque, U.P., 2012. The ecological apparency hypothesis and the importance of useful plants in rural communities from Northeastern Brazil: An assessment based on use value. *Journal of Environmental Management* 96, 106–115.
- Djègo, J., Djego-Djossou, S., Cakpo, Y., Agnani, P., Sinsin, B., 2011. Evaluation du potentiel ethnobotanique des populations rurales au Sud et au centre du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 5, 1432–1447.
- Djègo, J., Oumorou, M., 2009. Phytosociologie de sous-bois et impact des plantations forestières sur la diversité floristique dans la forêt classée de la Lama. *Annales des Sciences Agronomiques*. 12 (1) <http://dx.doi.org/10.4314/asab.v12i1.53834>
- Dossou, M.E., Houessou, G.L., Lougbégnon, O.T., Tenté, A.H.B., Codjia, J.T.C., 2012. Etude ethnobotanique des ressources forestières ligneuses de la forêt marécageuse d'Agonvè et terroirs connexes au Bénin. *Tropicultura* 30 (1), 41- 48
- Dougnon, T.V., Attakpa, E., Bankolé, H., Hounmanou, Y.M.G., Dèhou, R., Agbankpè, J., de Souza, M., Fabiyi, K., Gbaguidi, F., Baba-Moussa, L., 2017. Etude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées contre une maladie cutanée contagieuse: La gale humaine au Sud-Bénin. *Pharmacopée Médecine Tradit. Afr.* 18(1), 16–22.
- Goussanou, C., Tenté, B., Djègo, J., Agbani, P., Sinsin, B., 2011. Inventaire, caractérisation et mode de gestion de quelques produits forestiers non ligneux du Bassin versant de la Donga. *Annales des Sciences Agronomiques* 14, 77–99.
- Guinnin, F.F., Sacramento, T.I., Sezan, A., Ategbo, J.-M., 2015. Etude Ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement traditionnel des hépatites virales B et C dans quelques départements du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9, 1354–1366.
- Houehanou, T.D., Assogbadjo, A.E., Kakaï, R.G., Houinato, M., Sinsin, B., 2011. Valuation of local preferred uses and traditional ecological knowledge in relation to three multipurpose tree species in Benin (West Africa). *For. Policy and Economics*. 13, 554–562.
- Houinato, M., Delvaux, C., Pauwels, L., 2000. Les *Eragrostis* (Poaceae) du Bénin. *Belg. Journal of Botany*. 21–35.
- Houmenou, V., Adjatin, A., Tossou, M.G., Yedomonhan, H., Dansi, A., Gbenou, J., Akoegninou, A., 2017. Etude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement de la stérilité féminine dans les départements de l'Ouémé et du plateau au Sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11, 1851–1871.
- Kouchade, S.A., Adomou, C.A., Dassou, G.H., Akoegninou, A., 2017. Facteurs socioculturels et environnementaux déterminant la connaissance des plantes utilisées pour les soins infantiles au Sud du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11, 1272–1287.
- Koudokpon, H., Dougnon, T., Bankolé, H., Fah, L., Hounmanou, Y., Loko, F., 2017. Enquête ethnobotanique sur les plantes utilisées dans le traitement des infections au sudbénin. *Health Sciences and Diseases* 18, 92–99.
- Levy, M.M., Rapoport, J., Lemeshow, S., Chalfin, D.B., Phillips, G., Danis, M., 2008. Association between critical care physician management and patient mortality in the intensive care unit. *Annals Internal Medicine* 148, 801–809.
- Mehdioui, R., Kahouadji, A., 2007. Etude ethnobotanique auprès de la population riveraine de la forêt d'Amsittène: cas de la Commune d'Imi n'Tlit (Province d'Essaouira). *Bull. L'Institut Scientifique Rabat Section Science de la Vie* 29, 11–20.
- Müller-Schwarze, N.K., 2006. Antes and Hoy Día: plant knowledge and categorization as adaptations to life in Panama in the twenty-first century. *Economic Botany*. 60, 321–334.
- Neuenschwander, P., Sinsin, B., Goergen, G., 2011. Protection de la Nature en Afrique de l'Ouest: Une Liste Rouge pour le Bénin Nature Conservation in West Africa: Red List for Benin. *Ib. IITA*.

- Ouinsavi, C., Sokpon, N., 2010. Morphological variation and ecological structure of Iroko (*Milicia excelsa* Welw. CC Berg) populations across different biogeographical zones in Benin. *International Journal For Resources* 2010, Article ID 658396, 10 pages doi:10.1155/2010/658396
- Rai, K.R., Peterson, B.L., Appelbaum, F.R., Koltz, J., Elias, L., Shepherd, L., Hines, J., Threatte, G.A., Larson, R.A., Cheson, B.D., 2000. Fludarabine compared with chlorambucil as primary therapy for chronic lymphocytic leukemia. *New England Journal of Medicine*. 343, 1750–1757.
- Reitsma, P.H., Bertina, R.M., Van Amstel, J.P., Riemens, A., Briet, E., 1988. The putative factor IX gene promoter in hemophilia B Leyden. *Blood* 72, 1074–1076.
- Rossato, S.C., De Leitão-Filho, H.F., Begossi, A., 1999. Ethnobotany of caçaras of the Atlantic Forest coast (Brazil). *Economic Botany* 53, 387–395.
- Sokpon, N., Biaou, S.H., Ouinsavi, C., Hunhyet, O., 2006. Bases techniques pour une gestion durable des forêts claires du Nord-Bénin: rotation, diamètre minimal d'exploitabilité et régénération. *BOIS FORETS. Tropicultura* 287, 45–57.
- Traore, L., Ouedraogo, I., Ouedraogo, A., Thiombiano, A., 2011. Perceptions, usages et vulnérabilité des ressources végétales ligneuses dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 5(1): 258-278
- Vodouhê, F.G., Coulibaly, O., Greene, C., Sinsin, B., 2009. Estimating the local value of non-timber forest products to pendjari biosphere reserve dwellers in Benin. *Economic Botany*. 63, 397.
- Weber, K.P., Aw, S.T., Todd, M.J., McGarvie, L.A., Pratap, S., Curthoys, I.S., Halmagyi, G.M., 2008. Inter-ocular differences of the horizontal vestibulo-ocular reflex during impulsive testing, in: *Progress in Brain Research*. 171, 195-198
- Wezel, A., Lykke, A.M., 2006. Woody vegetation change in Sahelian West Africa: evidence from local knowledge. *Environment, Development, Sustain.* 8, 553–567.
- Yessoufou, K., 2005. Recherches ethnobotaniques et écologiques sur deux espèces fruitières dans le Département du Plateau, Sud-Bénin: *Irvingia gabonensis* (Aubry-Lecomte ex O'Rorke) Baill. et *Blighia sapida* K. König Th AGRN FSA UAC Bénin 67.



## Local perception and factors affecting conservation status of gallery forests, habitat of orchid species

Eméline S. P. ASSEDE<sup>1,2,\*</sup>, Abdou-cherifou IKOUKOMON<sup>1</sup>, Samadori S. H. BIAOU<sup>1,2</sup>,  
C.A.M.S. DJAGOUN<sup>3</sup>, Armand K. NATTA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Ecologie, de Botanique et de Biologie végétale, Université de Parakou,  
03 BP 125, Parakou, Bénin

<sup>2</sup> Département d'Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles, Faculté d'Agronomie,  
Université de Parakou, BP 123, Parakou, Bénin

<sup>3</sup> Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi,  
03 PO Box 2819, Cotonou, Bénin

Reçu le 19 Juin 2019 - Accepté le 20 Décembre 2019

### Perception locale et facteurs affectant l'état de conservation des galeries forestières, habitat des orchidées

**Résumé:** Dans un contexte de fragmentation du paysage forestier et d'utilisation durable des espèces d'orchidées, l'analyse de la base des connaissances locales est indispensable pour développer des stratégies de conservation de l'habitat des orchidées. Cette étude vise à : i) Evaluer les facteurs affectant la perception locale de l'état de conservation des galeries forestières, habitats des orchidées et ; ii) Déterminer les facteurs de dégradation de ces habitats et les conséquences selon les populations locales dans les forêts soudanaises. Nous avons utilisé une enquête basée sur un questionnaire pour croiser les connaissances sur les orchidées et l'état de dégradation de l'habitat des orchidées, de quatre principaux groupes socio-culturels sélectionnés suivant l'âge, le sexe et le niveau d'éducation, pour un total de 390 enquêtés. Nous avons utilisé la régression logistique binomiale et multinomiale pour évaluer la perception locale de l'état de conservation des habitats des orchidées en référence aux paramètres ethno-démographiques. La régression binomiale négative avec le modèle linéaire généralisé a permis de tester l'influence des paramètres ethno-démographiques sur la perception des conséquences liées à la dégradation des habitats des orchidées. L'origine socio-culturelle et le niveau d'éducation influencent significativement les connaissances des orchidées, ainsi que la perception de l'état de conservation de leur habitat ( $p < 0,05$ ). Les groupes socio-culturels Fulani, Gourmanché et Waaba perçoivent une dégradation avancée de leurs galeries forestières, habitat des espèces d'orchidées. Les trois principaux facteurs de dégradation du point de vue local sont la coupe d'arbres (65,64%), l'agriculture itinérante sur brûlis (44,10%) et les feux de brousse (39,49%). Cependant, quel que soit le modèle considéré, il n'y a pas une influence des paramètres ethno-démographiques sur la perception locale des conséquences de la dégradation des habitats des orchidées. Cependant, l'éducation et l'appartenance socio-culturelle influencent de manière significative la perception de l'état de conservation de l'habitat des orchidées. Évaluer comment cette perception locale se traduit en données quantitatives sur le terrain est cruciale pour développer des stratégies d'adaptation pour la conservation à long terme des espèces d'orchidées et l'utilisation durable de leurs habitats.

**Mots clés :** Orchidées, galeries forestière, perception locale, conservation des orchidées, forêts soudanaises, Bénin.

**Abstract:** In a context of fragmentation of forest landscape and sustainable use of orchid species, an analysis of the local knowledge base is necessary for developing conservation strategies of orchid habitat. This study aims at i) assessing factors affecting local perception of conservation status of orchid habitats, and ii) determining degradation factors of their habitat in Sudanian woodlands and the consequences of the degradation. We used a questionnaire-based survey, to cross knowledges on orchids and habitat degradation, from the four main socio-cultural groups, including the age, the sex and the level of education, translating into 390 respondents. We used the binomial and multinomial logistic regression to assess the local perception on conservation status of orchid habitats with reference to different ethno-demographic groups. We also used the

negative binomial generalized linear model (GLM) to test for an existing dependence relation between the local perceptions of the “consequences” of the degradation of gallery forest (as response variable), and the ethno-demographic variables. Ethnicity and level of education significantly influence knowledge on orchids, as well as the perception on their habitat conservation status ( $p < 0.05$ ). The socio-cultural groups Fulani, Gourmantché and Waaba perceived more the degradation of their gallery forests, habitat of orchid species. The three main factors of degradation from local view are tree cutting (65.64%), shifting agriculture (44.10%) and wildfires (39.49%). Whatever the considered GLMs, there is not a significant influence of the ethnodemographic variables on local perception of the consequences of the gallery forests degradation ( $p < 5\%$ ). However, education and ethnicity significantly influence perception on the conservation status of orchid habitat. Assessing how this local perception translates into quantitative data in the field is crucial to develop adaptive strategies for the long term conservation of orchid species and sustainable use of their habitats.

**Keywords:** Orchids, gallery forest, Local perception, orchid conservation, habitat degradation, Sudanian woodland, Benin.

## 1. Introduction

Ecosystems are habitats for all life and human activities. They provide goods and services that are fundamental to human wellbeing (Raffaelli & Frid, 2010). Many of these services are crucial for man's survival (climate regulation, pollination, air purification) while others contribute to the improvement of his living conditions (Costanza et al., 2014; Singh & Chaturvedi, 2017; Vodouhê et al., 2009). The continued provision of these essential services could be threatened by changes in land use (Assessment, 2005) as part of factors affecting habitat conservation.

Human-induced land use change and forest fragmentation caused the loss of 50 to 1000 times more species than natural processes (MEA, 2005; Haddad et al., 2015). This phenomenon conducting to the most pessimistic, hypothesis of a sixth extinction crisis (Barbault, 2008) requires strategies for monitoring habitat conservation.

Gallery forests in Sudanian woodlands are sensitive ecosystems generally rich in woody plant species. They are postulated as refugia for many vulnerable plant species in the semi-arid climate of Sudanian woodlands (Fandohan et al., 2010a; Zizka et al., 2015), including orchids species (Assédé et al., 2018). Recent studies highlighted a higher orchid density in gallery forests (of conservation gap areas) compared to other vegetation types (Assédé et al., 2018).

Interest in the conservation status of gallery forests has recently gained attention due to the multiple damages to this vegetation type caused by human activities (Niggemann et al., 2009). Fragmentation of gallery forest landscapes happened at an alarming rate causing severe modifications of their spatial arrangement (Had-

dad et al., 2015; Ousséni et al., 2011). Planning conservation policies and management interventions require a fundamental understanding of the local determinants of deforestation and degradation of the gallery forests. In this context, gallery forests are considered as a multi-functional space with socio-diversity as important driver of their conservation status (Pilli & Pase, 2018). Measuring habitat conservation status could seem straightforward, but investigating factors affecting plant conservation require long-term monitoring field data. In the absence of field data collection, a single survey on local perceptions is usually a useful initial approach to assess habitat conservation status and factors affecting its conservation, especially in gallery forests (Sieber et al., 2011).

Djogbenou et al. (2011) noted the multifunctionality that characterizes the perception of forest conservation and management by local populations. Local people's representations about local change in gallery forest landscapes is the starting point to understand forest fragmentation dynamics and planning for conservation strategies of its components (Mouhamadou et al., 2013; Sieber et al., 2011). The perception and adaptation of the rural population is also necessary to detect any change in the flora (Yaro, 2013) in the absence of a reliable scientific basis on the past vegetation. It is essential to consider their perceptions to develop better strategies for the conservation and management of plant habitats such as orchid habitats (Campos & Ehringhaus, 2003; Shackleton et al., 2002). This study aims at i) assessing factors affecting local perceptions of conservation status of orchid habitats, and ii) determining degradation factors of their habitat in Sudanian woodland and the consequences of the degradation. We addressed the following research questions: i) How do ethno-demographic groups (the ethnicity, the gender, the age and the level of education) influence knowledge of orchids? ii) What influences perceptions of the local population on the state of orchid habitat degradation? iii) What are the causal factors and consequences of degradation of gallery forests, habitat of orchids?.

\* Corresponding author : [assedeemeline@gmail.com](mailto:assedeemeline@gmail.com)  
Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Study area

The study was conducted in the Atacora department, at the extreme north-west of the Republic of Benin, around the Biosphere Reserve of Pendjari (BRP), located between 10° 30' and 11° 30' N and 0° 50' and 2° 00' E. The reserve is part of the WAP complex (W-Arli-Pendjari), the largest protected areas network of West Africa, covering the communes of Tanguiéta, Matéri and Kérou. The BRP is subdivided into three components: The Pendjari National Park (PNP) with an area of 2660.04 km<sup>2</sup>, the hunting zone of the Pendjari (HZP) of about 1720.08 km<sup>2</sup>, and the Konkombri hunting area estimated at 251 km<sup>2</sup>, all surrounded by the controlled occupation zone (COZ) with various anthropogenic activities (CENAGREF, 2016). The population of localities near the BRP is estimated at 47 627 inhabitants with an annual growth rate of 3% (INSAE, 2013). This population is located into 29 villages and one city. About 13 socio-cultural groups live around the BRP. However, the population bordering the HZP consists mainly of three ethnic groups: Berba, Gourmantchés and Waaba representing 64.9%, 23.4% and 1% of the population respectively (CENAGREF, 2016). To these main groups are added Fulani, essentially herders (CENAGREF, 2016). The local population is largely farmers (96%). The main activities include crop cultivation and livestock farming. Cultivated crops include maize, sorghum, yam, rice, and cotton, with the latter requiring intense use of pesticides (Djibril, 2002). The savanna and gallery forests in farmlands are subject to intensive fuelwood collection (the main source of domestic energy), timber harvesting and agricultural utilization (Assédé et al., 2018).

### 2.2. Sampling design

Six of the 29 villages around the BRP were selected for this study (Tanougou, Sangou, Nanébou, Bournissou, Dassari and Tiélé), based on the dominant ethnic groups (Biali, Bourba, Gourmantché, Fulani and Waaba), and their proximity both to the BRP and to a gallery forest (Assédé et al., 2017). The sample size was generated from the General Population and Housing Census (GPHR 4) (INSAE, 2013). The number (n) of persons surveyed in each village was determined by

the binomial sampling law formula of Dagnelie (1998) as follows:

$$n = U_{1-\alpha/2}^2 * P(1 - P) / d^2$$

where n: size of the study sample;  $U_{1-\alpha/2}$ : is the normal distribution value for a value of 1.96;

d: margin of error; d = 5%; P: estimated proportion of the population holding knowledge on orchid species fixed at 0.05 (Dagnelie, 1998).

A total of 195 households were surveyed with 390 respondents selected based on the gender, the age and the level of education (table 1). The head of the household and the oldest woman were surveyed in each household.

### 2.3. Data collection

The traditional leaders of the study area were contacted at the beginning of the surveys for their support and collaboration. We used a structured questionnaire-based interviews to record the knowledge of respondents on orchids and their habitat degradation.

The questionnaire included the identity of the respondent, knowledge of orchids, perception, factors and consequences of the degradation of gallery forests where orchids had been identified before, and suggestions for corrective measures. We used a photo guide of recorded orchid species in the study area from previous studies (Assédé et al., 2017, 2018).

### 2.4. Data analysis

The data were first explored to remove incomplete surveys. A total of 345 respondents were used for data analysis (table 1).

#### 2.4.1. Influence of ethno-demographic group on knowledge of orchids

We used a binary logistic regression to predict the probability that an individual belonging to an ethno-demographic group (ethnicity, gender, age and level of education) knows or does not know orchids, since the knowledge of orchids is a binary qualitative variable (Table 2). Any person in the sample who recognized at least one orchid species from the photo guide used during the survey as present in a nearby gallery forest was considered to have knowledge of orchids.

Table 1. Distribution of the respondents with regard to ethnicity, education level, gender and age

Tableau 1. Répartition des enquêtés suivant l'ethnie, le niveau d'éducation, le sexe et l'âge

Ethnicity						
Gender	Biali	Bourba	Gourmantché	Fulani	Waama	Total
Man	86	57	29	4	12	188
Woman	104	26	20	5	11	166
Total	190	83	49	9	23	354
Education						
Gender	Informal.education	Not.educated	Primary.level	Secondary.level	Total	
Man	4	135	35	14	188	
Woman	13	140	10	3	166	
Total	17	275	45	17	354	
Age (A)						
	A≤30	30<A≤50	50<A≤70	A>70	Total	
Man	1	92	78	17	188	
Woman	4	98	54	10	166	
Total	5	190	132	27	354	

Table 2. Description of variables included in the binary and multinomial logistic regression

Tableau 2. Description des variables incluent dans la régression logistique binaire et multinomiale

Variable	Type of variable	Level of measurement	Categories
Knowledge of orchids	Response	nominal	Yes, no
State of degradation of gallery forests	Response	nominal	Not degraded, degraded and highly degraded
Ethnicity	Explanatory	nominal	Biali, Bourba, Gourmantché, Fulani and Waaba
Gender	Explanatory	nominal	Male, female
Age	Explanatory	continuous	-
Level of education	Explanatory	nominal	Not educated, Informal education, Primary and Secondary levels

#### 2.4.2. Factors affecting local perception of the conservation status of orchid habitats

We used a multinomial logistic regression to assess the local perception on the degradation of gallery forests. The variable state of degradation is a multinomial qualitative variable with three modalities (table 2). The relative frequencies of each category of informant were calculated.

#### 2.4.3. Factors affecting the degradation of gallery forest from local perceptions

We used graphical representations to present the factors responsible for the degradation of gallery forests from local perception. We also used the negative binomial generalized linear model (GLM) to test for an existing dependence relation between the local percep-



tions of the “consequences” of the degradation of gallery forests (as response variable), and the ethno-demographic variables (ethnicity, gender, age and education level) as explanatory variables. The construction of the best model examined the variables with significant effect on the response variable. Five generalized linear models (m1 to m5) were fitted and compared with each other using the ANOVA function in R 3.6.1:

```
m1 <- glm(Consequences ~ Age + Gender + Ethnicity +
  Education, family=binomial)
m2 <- glm(Consequences ~ Age + Gender + Ethnicity, family=binomial)
m3 <- glm(Consequences ~ Age + Gender, family=binomial)
m4 <- glm(Consequences ~ Age, family=binomial)
m5 <- glm(Consequences ~ 1, family=binomial)
```

The ANOVA test determined if the candidate models were significantly different based on the probability  $p \leq 5\%$ . The simplest model was preferred. The model selection criteria also included the Akaike Information Criterion (AIC) – the smaller its value, the better the fit (Zuur, 2009).

### 3. Résultats

#### 3.1. Knowledge of orchids by the surveyed ethno-demographic groups

Ethnicity influenced the knowledge of orchids, with the Gourmantché and Waaba ethnic groups showing a higher proportion of persons knowing orchids (figure 1).

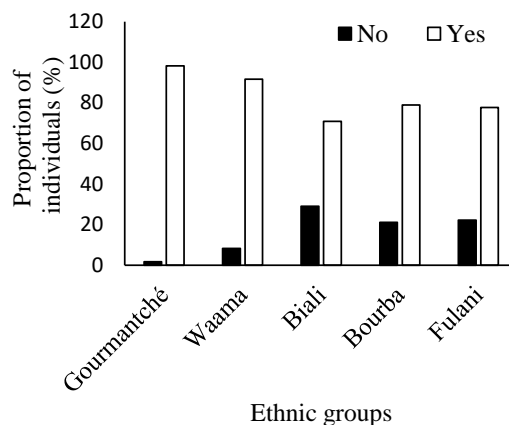


Figure 1. Proportion of individuals with knowledge of orchid species per ethnic group

Figure 1. Proportion des individus ayant des connaissances sur les espèces d’orchidées par groupe socio-culturel

Results of the binary logistic regression (table 3) showed that respondents from the Gourmantché and Waaba ethnic groups have a significant higher probability of knowing at least one orchid species ( $p=0.002$  and  $p=0.035\%$  respectively) unlike the other ethnic groups. However, the variables age, gender, and education level do not significantly influence knowledge of orchids (table 3).

Table 3. Results of the binary logistic regression between the knowledge of orchids (response variable) and the ethno-demographic groups (explanatory variables)

Tableau 3. Résultats de la régression logistique binaire entre les connaissances sur les espèces d’orchidées (variable réponse) et les facteurs ethno-démographiques des groupes d’individus enquêtés (variables explicatives)

Variables	OR	Lower (95%CI)	Upper (95%CI)	Probability
Age	0.99	0.97	1.02	0.93ns
Gender male (reference category)				
Gender female	0.7	0.41	1.2	0.2ns
Ethnic [Biali] (reference category)				
Ethnic [Bourba]	1.53	0.83	2.82	0.17ns
Ethnic [Gourmantche]	22.92	3.1	169.84	2 <sup>e</sup> -3*
Ethnic [Fulani]	1.61	0.319	8.13	0.56
Ethnic [Waaba]	4.948	1.12	21.85	3.5 <sup>e</sup> -2*
Education [not educated] (reference category)				
Instruction [Informal education]	2.4	0.66	8.66	0.18ns
Instruction [Primary]	1.27	0.56	2.88	0.56ns
Instruction [Secondary]	1.64	0.43	6,15	0.46ns

OR: Odds ratio; \*: significant at 5%; ns=not significant

### 3.2. Factors affecting local perception of orchid habitat conservation status

The ethnic group and education level influenced the perception of the degradation status of orchid habitats ( $p < 5\%$ ) (table 3). However, age and gender have no effect on the perception of the degradation status of the gallery forests.

Whatever the ethnicity, the highly degraded level was the dominant conservation status reported for gallery forests in the study area (figure 2). The ethnic groups Fulani, Gourmantché and Waaba, perceived more the deteriorated state of the gallery forests even if this perception is not statistically significant for Gourmantché (table 3). From their observations, there is no gallery forests in their area with a good conservation status. The Biali and Gourmantché have a fairly shared perception of the conservation status of the gallery forests. Even if they are very few (<5%), some of the respondents from Biali and Gourmantché ethnic groups reported a non-degraded status for the gallery forests.

The education level affected the perception of the conservation status of gallery forests negatively and significantly ( $p < 5\%$ ) (table 3; figure 3). The respondents with the most advanced education level (informal and secondary education levels) reported more frequently the deterioration of the gallery forests (figure 3).

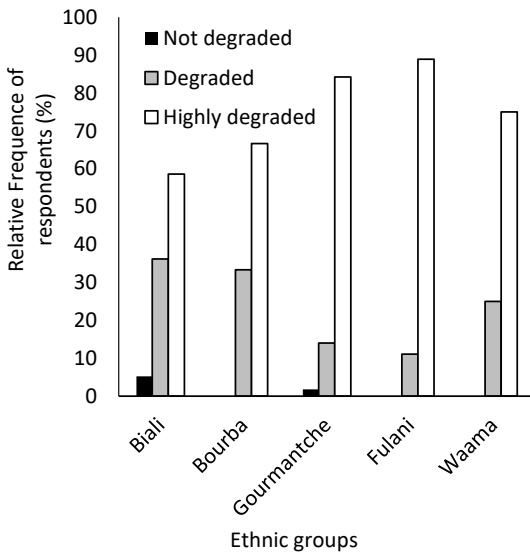


Figure 2. Ethnicity and perception of conservation status of gallery forests

Figure 2. Groupes socio-culturels et perception de l'état de conservation des galeries forestières

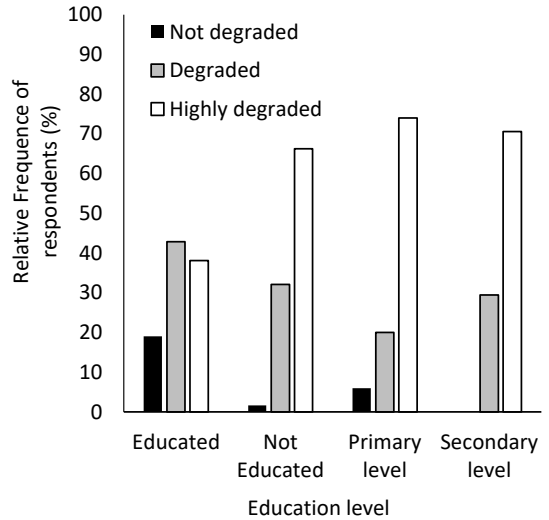


Fig. 3. Influence of education level on the perceived conservation status of gallery forests

Fig. 3. Influence du niveau d'éducation sur la perception de l'état de conservation des galeries forestières

### 3.3. Factors affecting the degradation of gallery forests, consequences and alternative for restoration from local view

In total, six factors of degradation of gallery forests were reported in the study area (figure 4). The three most important factors are tree-cutting, shifting cultivation, and bush fire.

The perceived main consequences of the degradation of gallery forests according to the local population were mainly the reduction of rainfall (39.9%) and loss of biodiversity (33%) (figure 5).

Of the tested models, the model 5 presented the smallest AIC value. However, the Anova test showed no significant difference between the later and the other models (table 5). Whatever the considered GLMs, there is no significant influence of the ethno-demographic variables (ethnicity, gender, age and level of education) on local perception of the consequences of the gallery forests degradation ( $p < 5\%$ ).

The surveyed populations of the different villages opted for reforestation (68%) and monitoring/awareness (21%) as corrective actions for the rehabilitation of degraded gallery forests in their areas (figure 6).

Table 4. Coefficient of multinomial logistic regression between the local perception of the degradation status of gallery forests (response variable) and ethno-demographic factors of the surveyed groups (explanatory variables)

Tableau 4. Coefficients de la régression logistique multinomiale entre la perception des populations locales sur le statut de dégradation des galeries forestières (variable réponse) et les facteurs ethno-démographiques des groupes d'individus enquêtés (variables explicatives)

Variables	Little degraded		Degraded	
	Coefficient	Probability	Coefficient	Probability
	2.559	0.138	3.190	0.060ns
Age	-0.011	0.688	-0.008	0.783ns
Gender [Female] / [Male]	0.966	0.168	0.378	0.584ns
Ethnic [Bourba] / [Biali]	30.269	0.000	30.319	0.000*
Ethnic [Gourmantché] / [Biali]	0.265	0.814	1.488	0.168ns
Ethnic [Fulani] / [Biali]	10.302	0.000	11.944	0.000*
Ethnic [Waaba] / [Biali]	19.894	0.000	20.454	0.000*
Education [Informal education] / [not educated]	-1.874	0.016	-2.606	0.001*
Education [Primary] / [not educated]	-1.366	0.108	-0.922	0.251ns
Education [Secondary] / [not educated]	15.100	0.000	15.229	0.000*

\*: significant at 5%; ns=not significant

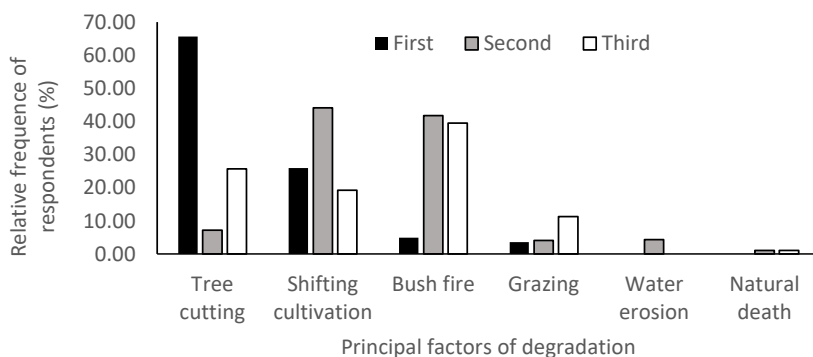


Figure 4. Principal factors of degradation of gallery forests

Figure 4. Principaux facteurs de dégradation des galeries forestières

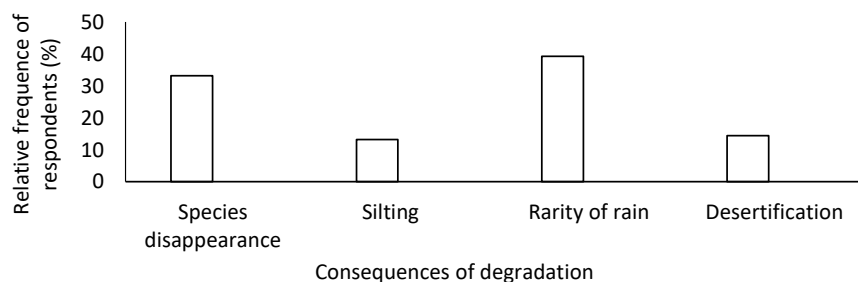


Figure 5. Consequences of the degradation of gallery forest

Figure 5. Conséquences de la dégradation des galeries forestières

Table 5. Generalized linear models results fitted and compared with the ANOVA test on the relation between local perceptions of the “consequences” of the degradation of gallery forest and the ethno-demographic parameters.

Tableau 5. Résultats des modèles linéaires généralisés ajustés et comparés avec le test ANOVA sur la relation entre les perceptions locales des « conséquences » de la dégradation des forêts galeries et les paramètres ethno-démographiques.

Model	df	AIC	Test	Probability
m1	344	133.7	m1 vs m2	0.76ns
m2	347	128.87	m2 vs m3	0.14ns
m3	351	127.71	m3 vs m4	0.12ns
m4	352	128.11	m4 vs m5	0.77ns
m5	353	126.19	-	-

ns=not significant; at 5%; vs=versus; df=degree of freedom; AIC=Akaike Information Criterion

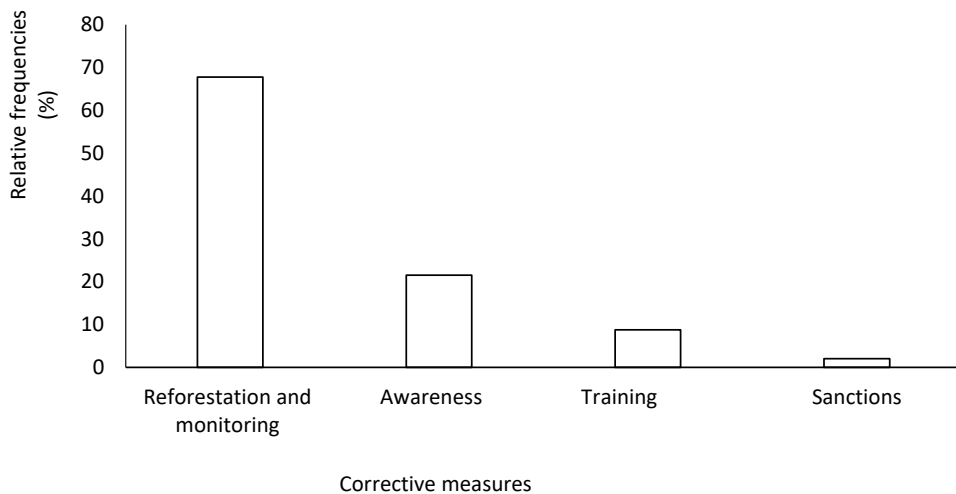


Figure 6. Corrective actions suggested by the local population for the rehabilitation of degraded gallery forests

Figure 6. Mesures correctives suggérées par les populations locales dans la réhabilitation des galeries forestières dégradées

## 4. Discussion

### 4.1. Influence of ethno-demographic groups on knowledge of orchids

The study revealed a variation in the knowledge of orchids with regard to the ethnicity around the Biosphere Reserve of Pendjari in Sudanian woodlands. Such interethnic differences were reported in Ottamari and Dendi socio-cultural groups about their knowledge on the uses of the baobab tree (*Adansonia digitata* L.)

(De Caluwé et al., 2009), and for Fulani and Gourmantché groups for uses of the tamarind tree (*Tamarindus indica* L.) (Fandohan et al., 2010b). Our finding revealed a higher proportion of people knowing orchids from Waaba and Gourmantche compared to Biali, Bourba and Fulani socio-cultural groups. This could be explained by their original hunting activity, proximity to and dependency on the reserve for their livelihood. A previous study (Assédé et al., 2017) highlighted this difference in population knowledge on the uses of several natural resources of the same area. Age and gender

did not influence significantly local knowledges of orchids probably because of sample bias. The study was implemented during the period of crop harvesting in the study area, when mostly men over 45 years were available for the survey. Crop harvesting is primarily done by women and young people. A comparison of results from this study with previous studies in the same area (Fandohan et al., 2010b; Gouwakinnou et al., 2011a, 2011b), where elders and women were more familiar with the study species, should be done with caution. From N'zebo et al. (2018) for instance, the age and gender balance significantly affect knowledge of *Tetrapleura tetraptera* fruit, and women had a higher level of knowledge than the men. All these studies focused on multipurpose fruit tree species. It is common knowledge in Sudanian woodlands of West Africa, that women are central to the collection of non-timber forest products for the nutrition of their households (Boffa, 2015; Fandohan et al., 2010b).

#### **4.2. Factors affecting local perception of orchid habitat degradation**

Ethnicity and the education level influenced the perception of the populations surveyed on the conservation status of gallery forests. The Biali and Gourmantché shared similar perceptions, while, Fulani and Waaba socio-cultural groups expressed a strong deterioration of their gallery forests. The respondents with informal and secondary level of education reported more frequently the deterioration of the gallery forests, probably because they depend on those resources and understand better the ongoing decline and fragmentation of the natural resources. Many local people of the main groups around the Biosphere Reserve of Pendjari (BRP), with no education and very low income, rely on forest resources like timber and non-timber forest products for their daily needs (Vodouhê et al., 2009). Some of them are strongly involved in the informal education programs designed by the conservation projects of the BRP. They interact directly with these resources and with their additional knowledge from their education, can clearly perceive the spatio-temporal dynamics of the resources. Unlike ethnicity and education level, age and gender have no effect on the perception of the degradation status of the gallery forests. There is no significant variation in the mean age between those who perceived the different conservation status of gallery forests probably because the degradation affects the resources used by both men and women, irrespective of the age. For Mouhamadou et al. (2013), landscape degradation affects all resources (soil, water, flora, and fauna) that are used interchangeably by women and men.

As indicated by the surveyed populations, gallery forests in the unprotected area of the BRP can be classified from less degraded to degraded. This finding supports the conclusions of Bouko et al. (2007) and Mouhamadou et al. (2013) who draw the attention to the ongoing fragmentation of forest landscapes in northern Benin. Several studies on land cover change, mainly in the Sudano-Guinean and Sudanian woodlands, highlighted a regressive tendency of gallery forests in Benin (Houessou et al., 2013; Sinsin & Kampmann, 2010; Tchibozo, 2014).

#### **4.3. Factors affecting the degradation of gallery forest according to the local perceptions**

Gallery forests are the main habitat of orchid species in the unprotected area of the Biosphere Reserve of Pendjari (Assédé et al., 2018). The local perceptions indicated the main degradation factors of gallery forests to include agriculture, wildfires, grazing, tree cutting, and natural tree deaths. The three most cited factors are tree cutting, shifting cultivation and induced fire. These factors are common to several landscapes in tropical Africa (Chaturvedi et al., 2017b, 2017a; Miles et al., 2006). Land degradation factors are mainly anthropogenic (tree cutting, shifting cultivation, bush fire and grazing) (Miles et al., 2006). In this study, tree harvesting and an increasing demand of land for agriculture were reported as main causes of forest degradation irrespective to the socio-cultural group and the education level. The population growth (INSAE, 2013) and the low income of most of the population around the BRP (Assédé et al., 2017; Vodouhê et al., 2009) explain in part the pressure on the gallery forests as alternative resource for domestic energy, timber harvesting and land for agriculture. All these anthropogenic factors were incriminated by previous studies as drivers of negative vegetation dynamic (Adjonou et al., 2010; Maazou et al., 2017; Yeo et al., 2013). The absence of significant influence of the ethno-demographic parameters on local perceptions of the consequences of degradation of the gallery forests confirmed the absence of disparity in this perception within the surveyed population. Irrespective of their ethnicity, gender, age and level of education, the local population around the BRP perceived almost similar consequences of the degradation of the gallery forests as they are probably facing similar impacts. This latter aspect needs to be documented and incorporated with the local strategies to mitigate these impacts.

## 5. Conclusion

Ethnic group and education level are the main determinants of local perceptions of orchid habitat conservation. Tree cutting, shifting cultivation and bush fires are highlighted as main degradation factors of gallery forests. From the local population view, an action plan for the restoration and monitoring of orchid habitats is crucial to perpetuate the pivotal role of gallery forests around the Biosphere Reserve of Pendjari.

## AKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to The Rufford Foundation for financial support through Rufford Small Grants for Nature Conservation to Eméline Sèssi Pélagie ASSEDE (grant reference: 24777-2). We thank the staff of the Biosphere Reserve of Pendjari for logistic support during this study. Finally, we are grateful to Prof Coert Geldenhuis for the language editing and to the local population for their kind collaboration during this study.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors did not declare any conflict of interest.

## REFERENCES

- Adjonou K., Djiwa O., Kombate Y., Kokutse A. D. and Kokou K. 2010. Etude de la dynamique spatiale et structure des forêts denses sèches reliques du Togo: implications pour une gestion durable des aires protégées, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4 (1).
- Assédé E. S. P., Djagoun C. A. M. S., Azihou A. F., Kouton M. D., Gogan Y. S. C., Geldenhuis C. J., Chirwa P. W. and Sinsin B. A. 2017. Folk perceptions and patterns of use of orchid species in Benin, West Africa, *Flora et Vegetation Sudano-Sambesica*, 20, pp. 26–36.
- Assédé E. S. P., Djagoun C. A. M. S., Azihou F. A., Gogan Y. S. C., Kouton M. D., Adomou A. C., Geldenhuis C. J., Chirwa P. W. and Sinsin B. 2018. Efficiency of conservation areas to protect orchid species in Benin, West Africa, *South African Journal of Botany*, 116, pp. 230–237.
- Barbault R. 2008. *Écologie générale-6e éd.: Structure et fonctionnement de la biosphère*. Dunod.
- Boffa J.-M. 2015. Opportunities and challenges in the improvement of the shea (*Vitellaria paradoxa*) resource and its management, *Occasional Paper*, 24.
- Bouko B. S., Sinsin B. and Soulé B. G. 2007. Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes au Bénin, *Tropicultura*, 25 (4), pp. 221–227.
- Campos M. T. and Ehringhaus C. 2003. Plant virtues are in the eyes of the beholders: a comparison of known palm uses among indigenous and folk communities of southwestern Amazonia, *Economic Botany*, 57 (3), pp. 324.
- CENAGREF 2016. Plan d'Aménagement et de Gestion Participative de la Réserve de Biosphère de la Pendjari. Programme d'appui aux Parcs de l'Entente, Composante 2 PAPE Composante 2. Cotonou, Bénin, p. 124.
- Chaturvedi R. K., Raghubanshi A. S. and Singh J. S. 2017a. Sapling harvest: A predominant factor affecting future composition of tropical dry forests, *Forest Ecology and Management*, 384, pp. 221–235.
- Chaturvedi R. K., Raghubanshi A. S., Tomlinson K. W. and Singh J. S. 2017b. Impacts of human disturbance in tropical dry forests increase with soil moisture stress, *Journal of Vegetation Science*, 28 (5), pp. 997–1007.
- Costanza R., De Groot R., Sutton P., Van der Ploeg S., Anderson S. J., Kubiszewski I., Farber S. and Turner R. K. 2014. Changes in the global value of ecosystem services, *Global Environmental Change*, 26, pp. 152–158.
- Dagnelie P. 1998. *Statistique théorique et appliquée. Tome 2. Inférence statistique à une et à deux dimensions*, De Boeck Université, Paris.
- De Caluwé E., De Smedt S., Assogbadjo A. E., Samson R., Sinsin B. and Van Damme P. 2009. Ethnic differences in use value and use patterns of baobab (*Adansonia digitata* L.) in northern Benin, *African Journal of Ecology*, 47 (3), pp. 433–440.

- Djogbenou C. P., Glèlè Kakai R., Arouna O. and Sinsin B. 2011. Analyse des perceptions locales des aménagements forestiers participatifs au Bénin, [*VertigO*] *La Revue Électronique En Sciences de l'environnement*, 11 (1).
- Fandohan A. B., Assogbadjo A. E., Kakai R. L. G., Sinsin B. and Van Damme P. 2010a. Impact of habitat type on the conservation status of tamarind (*Tamarindus indica* L.) populations in the W National Park of Benin, *Fruits*, 65 (1), pp. 11–19.
- Fandohan B., Assogbadjo A. E., Kakai R. G., Kyndt T., De Caluwé E., Codjia J. T. C. and Sinsin B. 2010b. Women's traditional knowledge, use value, and the contribution of tamarind (*Tamarindus indica* L.) to rural households' cash income in Benin, *Economic Botany*, 64 (3), pp. 248–259.
- Gouwakinnou G. N., Lykke A. M., Assogbadjo A. E. and Sinsin B. 2011a. Local knowledge, pattern and diversity of use of *Sclerocarya birrea*, *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7 (1), pp. 8.
- Gouwakinnou G. N., Lykke A. M., Djossa B. A. and Sinsin B. 2011b. Folk perception of sexual dimorphism, sex ratio, and spatial repartition: implications for population dynamics of *Sclerocarya birrea* [(A. Rich) Hochst] populations in Benin, West Africa, *Agroforestry Systems*, 82 (1), pp. 25–35.
- Haddad M., Brudvig A., Clobert J., Davies F. and Gonzalez A. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems, *Science Advances*, 1 (2).
- Houessou L. G., Teka O., Imorou I. T., Lykke A. M. and Sinsin B. 2013. Land use and land-cover change at " W" Biosphere Reserve and its surroundings areas in Benin Republic (West Africa), *Environment and Natural Resources Research*, 3 (2), pp. 87.
- INSAE 2013. Effectifs de la population des villages et quartiers de villes du Bénin (RGPH-4), Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique (INSAE), Cotonou, Bénin.
- Maazou R., Rabiou H., Issiaka Y., Abdou L., Saidou S. I. and Mahamane A. 2017. Influence de l'occupation des terres sur la dynamique des communautés végétales en zone Sahélienne: cas de la commune rurale de Dantchandou (Niger), *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (1), pp. 79–92.
- Miles L., Newton A. C., DeFries R. S., Ravilious C., May I., Blyth S., Kapos V. and Gordon J. E. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests, *Journal of Biogeography*, 33 (3), pp. 491–505.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Mouhamadou I. T., Imorou I. T., Mèdaho A. S. and Sinsin B. 2013. Perceptions locales des déterminants de la fragmentation des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé au Bénin, *Journal of Applied Biosciences*, 66, pp. 5049–5059.
- Niggemann M., Jetzkowitz J., Brunzel S., Wichmann M. C. and Bialozyt R. 2009. Distribution patterns of plants explained by human movement behaviour, *Ecological Modelling*, 220 (9–10), pp. 1339–1346.
- N'zebo J.-M., Dje K. M. and Ahi A. P. 2018. État des connaissances et usages traditionnels des fruits de *Tetrapleura tetraptera* ((Schumach. & Thonn.) Taub., 1891), plante spontanée aromatique alimentaire du sud-est de la Côte d'Ivoire, *Journal of Animal & Plant Sciences*, 38 (1), pp. 6190–6205.
- Ousséni A., Ismaïla T., Paul D. C. and Brice S. 2011. Comparative analysis of local populations' perceptions of socio-economic determinants of vegetation degradation in sudano-guinean area in Benin (West Africa), *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 3 (7), pp. 327–337.
- Pilli R. and Pase A. 2018. Forest functions and space: a geohistorical perspective of European forests, *IForest-Biogeosciences and Forestry*, 11 (1), pp. 79.
- Raffaelli D. G. and Frid C. L. 2010. *Ecosystem ecology: a new synthesis*. Cambridge University Press.
- Shackleton S., Campbell B., Wollenberg E. and Edmunds D. 2002. Devolution and community-based natural resource management: Creating space for local people to participate and benefit, *Natural Resource Perspectives*, 76 (1), pp. 1–6.
- Sieber S. S., Medeiros P. M. and Albuquerque U. P. 2011. Local perception of environmental change in a semi-arid area of Northeast Brazil: a new approach for the use of participatory methods at the level of family units, *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 24 (5), pp. 511–531.



- Singh J. S. and Chaturvedi R. K. 2017. Tropical dry deciduous forest: Research trends and emerging features. Springer.
- Sinsin B. and Kampmann D. 2010. Atlas de la Biodiversité de l'Afrique de l'Ouest, Tome I: Bénin/Biodiversity Atlas of West Africa, Volume I: Bénin. Cotonou & Frankfurt/Main: BIOTA.
- Tchiboza E. A. 2014. Landscape characterization and modeling degradation by fragmentation of plant formations: Case of Ketu and Dogo classified forest (East Center of Benin), *Landscape*, 3 (12).
- Vodouhê F. G., Coulibaly O., Greene C. and Sinsin B. 2009. Estimating the local value of non-timber forest products to pendjari biosphere reserve dwellers in Benin, *Economic Botany*, 63 (4), pp. 397.
- Yaro J. A. 2013. The perception of and adaptation to climate variability/change in Ghana by small-scale and commercial farmers, *Regional Environmental Change*, 13 (6), pp. 1259–1272.
- Yeo K., Tiho S., Ouattara K., Konate S., Kouakou L. M. M. and Fofana M. 2013. Impact de la fragmentation et de la pression humaine sur la relique forestière de l'Université d'Abobo-Adjamé (Côte d'Ivoire)., *Journal of Applied Biosciences*, 61, pp. 4551–4565.
- Zizka A., Thiombiano A., Dressler S., Nacoulma B. M., Ouédraogo A., Ouédraogo I., et al. 2015. The vascular plant diversity of Burkina Faso (West Africa)—A quantitative analysis and implications for conservation, *Candollea*, 70 (1), pp. 9–20.



## Prévalence et facteurs associés de la dénutrition chez les enfants de 0 à 59 mois au Bénin dans la commune de Karimama

Albert KORA SABI<sup>1</sup>, Jean KPETERE<sup>1</sup>, Enoch AKPO<sup>1</sup>, Moucktarou ABDOULAYE<sup>1</sup>, Gwladys TANKOUANOU<sup>1</sup>, Ephraïm ALLOLA<sup>1</sup>, Ismaël AMADOU<sup>1</sup>, Narcisse ANAGONOU<sup>1</sup>, Daniel SABI FERI<sup>1</sup>, Louis NANAKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Organisation pour le Développement Durable le Renforcement et l'Autopromotion des structures communautaires (DEDRAS-ONG), Département de Recherche et de l'Innovation, BP 215 Parakou, Bénin

Reçu le 17 Octobre 2018 - Accepté le 22 Novembre 2019

### Prevalence and associated factors of undernutrition in children from 0 to 59 months in Benin in the commune of Karimama

**Abstract:** The prevalence of global acute undernutrition in Benin for children aged 0-5 in 2018 is 5%. The objective of this work was to determine the prevalence of global undernutrition and to identify the factors associated with the occurrence of this undernutrition in subjects under 5 years of age in July 2018. There was talk of a transversal descriptive work and analytical study that looked at child undernutrition in rural northern areas. A univariate then multivariate analysis of the factors associated with undernutrition was carried out. As main results, one can retain, a prevalence of 24.3% on a recorded population of 641 children of less than 5 years. The prevalence of severe wasting was 2.5%, that of moderate was 5.5%. As for the delay in statute, its prevalence was 5.3% and 9.9% respectively for the severe form and the moderate form. The stunted growth accounted for 3.6% and 7.5% respectively. The factors associated with overall undernutrition were non-compliance with the MEA with a risk of 2.02 ( $p = 0.001$ ), household size with a risk of 1.83 ( $p = 0.037$ ). The protective factors were the introduction of porridge after six months (risk of 0.45;  $p = 0.023$ ) and households owning sown areas of 0.25-2 ha (risk of 0.66;  $p = 0.043$ ). These factors could be the levers on ambitious prevention programs likely to be grafted to reduce the extent of undernutrition in rural areas in North Benin.

**Keywords:** Undernutrition, prevalence, associated factors, Benin.

**Résumé :** La prévalence de la dénutrition aiguë globale au Bénin des enfants de 0 à 5 ans en 2018, était de 5%. Cette prévalence cache des disparités au niveau des départements même si elle n'atteint pas le seuil critique de 10%. La présente étude vise à déterminer la prévalence et les facteurs associés à la dénutrition chez les enfants de 0 à 59 mois à Karimama. Elle a consisté en une enquête transversale, descriptive et analytique qui s'est penchée sur la dénutrition infantile en milieu rural du nord Bénin. Une analyse univariée puis multivariée des facteurs associés à la dénutrition a été réalisée. Comme résultats principaux, on peut retenir, une prévalence de 24,3% sur une population enregistrée de 641 enfants de moins de 5 ans. La prévalence de l'émaciation sévère était de 2,46%, celle modérée de 5,5%. Quant au retard statural sa prévalence était respectivement de 5,28% et 9,86% pour la forme sévère et la forme modérée. Le retard de croissance pondérale comptait respectivement pour 3,58% et 7,5%. Les facteurs associés à la dénutrition globale étaient le non-respect de l'AME avec un risque de 2,02 ( $p = 0,001$ ), la taille des ménages avec un risque de 1,83 ( $p = 0,037$ ). Les facteurs protecteurs étaient l'introduction de la bouillie après six mois (risque de 0,45 ;  $p = 0,023$ ) et les ménages propriétaires de superficies emblavées de 0,25 à 2 ha (risque de 0,66 ;  $p = 0,043$ ). Ces facteurs pourraient être les leviers sur lesquels d'ambitieux programme de prévention pourraient se greffer pour réduire considérablement l'ampleur de la dénutrition en milieu rural au Nord Bénin.

**Mots clés:** Dénutrition, prévalence, facteurs associés, Bénin.

## 1. Introduction

Dans le monde, la dénutrition maternelle et juvénile explique 45% des décès d'enfants de moins de 5 ans (FAO, 2019). En 2018, plus de 90% des enfants présentant un retard de croissance vivaient en Afrique (39,5%) et en Asie (54,9%). Selon la même source, la dénutrition serait à l'origine du recul du Produit Intérieur Brut (PIB) qui pourrait aller jusqu'à 11% en Afrique et en Asie. Chaque année, environ 1 million d'enfants de moins de cinq ans meurent de maladies liées à la dénutrition dans les régions de l'Afrique de l'Ouest et du Centre (UIP, 2017). En Afrique de l'Ouest et du Centre, les dernières estimations mondiales conjointes de l'Unicef/OMS et Banque Mondiale font état de la baisse du taux de retard de croissance de 36,6% en 2010 à 34,9% en 2016. L'état nutritionnel des enfants de moins de 5 ans d'une communauté reflète souvent la situation alimentaire et nutritionnelle de cette dernière. Au Bénin, la prévalence de la dénutrition chronique au sein des enfants de 6 à 59 mois est élevée et dépasse le seuil critique de 30% suggéré par l'OMS. Plusieurs études récentes ont montré que la prévalence de la dénutrition chronique s'est détérioré passant de 32% en 2011 à 34% en 2014 (AGVSA, 2017). Par ailleurs, selon le Fonds des Nations Unies pour l'Enfance (Unicef), l'insécurité alimentaire d'une localité s'accompagne souvent d'un risque de différentes formes de dénutrition. Les indicateurs nutritionnels et indices anthropométriques sont toutefois également influencés par bien d'autres facteurs, tels que les événements climatiques néfastes et le niveau d'instruction des femmes. Le Bénin tire l'essentiel de ses ressources économiques de l'agriculture de subsistance, de la production du coton et du commerce régional. Cet état de chose détermine sa vulnérabilité face aux fluctuations des prix des produits sur le marché international ainsi qu'à la crise mondiale. Le pays a récemment subi les conséquences des effets du changement climatique qui ont affecté négativement la sécurité alimentaire et nutritionnelle des couches vulnérables. Il s'agit des catastrophes naturelles dont des inondations meurtrières de 2007 et 2010, et la sécheresse dans le nord du pays en 2011 qui ont déstabilisé la production agricole, mais surtout, la crise alimentaire globale et la hausse des prix. En Août 2012, des pluies torrentielles se sont abattues dans le Nord du Bénin, causant d'énormes pertes de réserves de nourritures, de bétail, de matériel de pêche et d'objets à usage quotidien. La précarité des conditions de vie de ces popula-

tions rendues vulnérables du fait de ces catastrophes naturelles, entame de manière drastique leur sécurité alimentaire et les expose aux maladies infectieuses, qui aggravent la dénutrition (Konan *et al.*, 2007). En 2016, une enquête SMART a révélé l'existence des poches de dénutrition aigue globale au-dessus du seuil d'urgence dans la commune de Karimama (15,1% dont 10,7% de formes modérées) (AGVSA, 2017). Bien que plusieurs projet et programme de lutte contre la malnutrition soient mis en œuvre au Bénin et en particulier dans la commune de Karimama, la situation nutritionnelle n'est point reluisante dans la commune. Il urge donc nécessaire d'explorer les pistes afin d'identifier les différents facteurs associés à la dénutrition en milieu rural au Bénin. L'objectif de notre étude était de déterminer la prévalence et les facteurs associés à la dénutrition (émaciation, retard de croissance et insuffisance pondérale) chez les enfants de 0 à 59 mois au Bénin dans la commune de Karimama.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Cadre d'étude

La Commune de Karimama est située dans le département de l'Alibori. Elle constitue la pointe septentrionale du Bénin et couvre une superficie de 6 041 km<sup>2</sup> et sa population était estimée à 76142 habitants. Au recensement général de la population en 2012, la commune comptait 9168 ménages (PDC3, 2017). Les infrastructures sanitaires sont constituées d'un centre de santé communal, 4 centres de santé d'arrondissement et une maternité isolée (PDC3, 2017).

### 2.2. Type d'étude et population cible

L'étude a consisté en une enquête transversale, descriptive et analytique qui s'est déroulée du 1<sup>er</sup> mai au 31 juillet 2018

Le ménage représentait l'unité d'enquête. L'échantillonnage a été réalisé en utilisant la méthode d'échantillonnage aléatoire simple. A cet effet, 575 ménages ont été tirés au hasard d'une liste complète des unités d'échantillonnage (ménages) issues du recensement des cibles du Projet Multisectoriel de l'Alimentation, de la Santé et de la Nutrition (PMASN) dans la commune de Karimama. Les enfants de 0 à 59 mois résidant dans la commune depuis plus de trois mois dans les ménages sélectionnés et dont les parents ont donné leur consentement verbal étaient la principale cible et ont été enquêtés.

### 2.3. Déroulement de l'enquête

Dix-sept conseillers en nutrition préalablement formés à la prise des données anthropométriques et aux critères cliniques de la dénutrition dans le cadre de la

---

\* Auteur Correspondant : [albertkora67@yahoo.fr](mailto:albertkora67@yahoo.fr)  
Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin

mise en œuvre du Projet Multisectoriel de l'Alimentation de la Santé et de la Nutrition (PMASN), répartis en cinq équipes ont contribué à la collecte de données.

## 2.4. Collecte et analyse de données

Un questionnaire à deux volets a servi à collecter les informations. Le premier volet a porté sur les enfants, à savoir leurs caractéristiques sociodémographiques, leur statut vaccinal, leurs pratiques d'alimentation et leur état nutritionnel. Les caractéristiques sociodémographiques des enfants étaient le genre, l'âge en mois et le rang de naissance. Le statut était dit à jour lorsque l'enfant en fonction de son âge avait reçu tous les vaccins du calendrier vaccinal du Programme Elargi de Vaccination (PEV) applicable au cours de ses neuf premiers mois au Bénin. Les pratiques d'alimentation portaient sur le mode d'allaitement à la naissance, la durée de l'allaitement maternel exclusif et de la poursuite de l'allaitement maternel jusqu'à 24 mois ou plus, l'âge approximatif d'introduction des aliments comme l'eau, la bouillie. L'état nutritionnel des enfants a été évalué à partir des paramètres anthropométriques comme le poids et la taille. Le poids (en kilogramme) a été mesuré à l'aide d'une balance électronique de marque Salter. La taille a été mesurée en centimètres par une toise horizontale (enfant de moins de 2 ans) ou verticale (enfant de 2 ans et plus). Le poids et la taille ont été mesurés avec des précisions respectives de 100 g et 0,1 cm. Les indices anthropométriques taille/âge (T/A), poids/âge (P/A) et poids/taille (P/T) ont été utilisés pour évaluer l'état nutritionnel. Ils ont été exprimés en Z-scores et comparés aux normes de l'OMS (Unicef, 2011). Le retard de croissance (dénutrition chronique), l'émaciation (dénutrition aigüe) et l'insuffisance pondérale ont été définis respectivement par des indices T/A, P/A et P/T inférieur -2 Z-scores. Pour cette étude, nous avons créé une variable « dénutrition » définie par la présence de l'un au moins des trois types de dénutrition. L'enfant était dit « dénutri » si l'un des trois indices était inférieur à -2 Z-scores et « Bien-nourri » si tous les indices étaient supérieurs -2 Z-scores. Les prévalences des trois types de dénutrition ont été classées selon le degré de dénutrition (sévère, modéré, risque de retard et bon état nutritionnel) défini par l'OMS. Le deuxième volet a concerné les caractéristiques de chaque ménage, telles que le nombre d'enfants de moins de 5 ans, le nombre de personnes vivant dans le ménage, l'âge des parents et l'activité du chef ménage, la superficie emblavée et les principales spéculations cultivées. Pour le dépouillement des données collectées, les données ont été saisies sur le tableur Excel version 2016 et analysées avec le logiciel SPSS 20.0. La recherche des éventuels facteurs associés à la dénutrition s'est faite en deux étapes. Premièrement, une analyse univariée à l'aide du test de Chi-carré au seuil de 5% ; les variables avec une valeur de p inférieur à 5% ont ensuite été incluses dans une analyse multivariée, à savoir une régression logistique.

Du modèle final, des odds ratio ont été calculés ainsi que leur intervalle de confiance à 95%.

## 3. Résultats

### 3.1. Caractéristiques sociodémographiques des enfants à Karimama

Au total, 641 enfants de 0 à 59 mois ont été recensés dont 320 de sexe masculin et 321 de sexe féminin, soit un sexe ratio de 0,99. La tranche d'âge la plus représentée était celle des enfants dont l'âge est compris entre 6 et 23 mois (49,6%). Parmi les enfants enregistrés, 45,2% avaient le statut vaccinal à jour.

### 3.2. Etat nutritionnel des enfants à Karimama

Le tableau 1 décrit l'état nutritionnel des enfants à Karimama. L'étude a montré que la dénutrition était présente chez 156 enfants sur 641, soit 24,3% des enfants.

Tableau 1 : Etat nutritionnel des enfants à Karimama

Indicateur	N	Prévalence en %
<i>Z-score poids pour taille</i>	568	
<i>Dénutrition (émaciation) sévère</i>	14	2,46
<i>Dénutrition (émaciation) modéré</i>	31	5,5
<i>Risque d'émaciation</i>	55	9,68
<i>Bon état nutritionnel</i>	468	82,4
<i>Z-score taille pour âge</i>	568	
<i>Dénutrition (rabougrissement) sévère</i>	30	5,28
<i>Dénutrition (rabougrissement) modéré</i>	56	9,86
<i>Risque de retard</i>	68	11,97
<i>Bon état nutritionnel</i>	414	72,89
<i>Z-score poids pour âge</i>	641	
<i>dénutrition (retard pondéral) sévère</i>	23	3,58
<i>dénutrition (retard pondéral) modérée</i>	48	7,5
<i>Risque d'insuffisance pondérale</i>	65	10,14
<i>Bon état nutritionnel</i>	505	78,78

N = effectif

### 3.3. Dénutrition, statut vaccinal et caractéristiques sociodémographiques des ménages à Karimama

Le tableau 2 montre que le statut vaccinal non à jour était associé à la dénutrition, cependant, un enfant sur deux (51, 2%) avait le statut vaccinal à jour au moment de l'enquête.

Tableau 2 : Dénutrition, statut vaccinal et caractéristiques sociodémographiques à Karimama

Caractéristiques	Dénutris	N	P
<i>Genre</i>			
<i>Masculin</i>	72 (22,5%)	320	0,279
<i>Féminin</i>	84 (26,2%)	321	
<i>Tranche d'âge</i>			
< 6	15 (20,3%)	74	0,416
6 à 23 mois	74 (23,3%)	318	
24 et plus	67 (26,9%)	249	
<i>Rang de naissance</i>			
1 <sup>er</sup>	22 (19,6%)	112	0,349
2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup>	54 (24,5%)	220	
4 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup>	55 (28,2%)	195	
6 <sup>e</sup> et plus	25 (21,9%)	114	
<i>Statut vaccinal à jour</i>			
<i>oui</i>	69 (21%)	328	0,046
<i>non</i>	87 (27,8%)	313	

p = seuil de signification, Dénutris = présence d'au moins un type de dénutrition, N = effectif

### 3.4. Dénutrition et caractéristiques des ménages à Karimama

Plus de cinq ménages sur dix (57%) avaient déclaré un enfant de moins de cinq ans à leur charge. Dans 71,5% des ménages, l'on comptait au moins cinq personnes. La superficie médiane emblavée était de 2 ha. Les principales spéculations cultivées par ordre d'importance étaient le mil, le sorgho et le maïs. Un nombre de personnes supérieur ou égal à dix par ménage, l'ethnie, l'activité du chef de ménage (éleveur) et les superficies emblavées supérieures à la médiane étaient associés à la dénutrition dans la commune de Karimama.

### 3.5. Dénutrition et alimentation des enfants à Karimama

Le tableau 4 montre le lien entre l'état nutritionnel des enfants à Karimama et leur pratique alimentaire. Plus de cinq enfants sur dix (56,8%) étaient allaités exclusivement au sein jusqu'à l'âge de six mois. Le sevrage précoce, l'introduction de la bouillie avant six mois et le non-respect de l'allaitement maternel exclusif jusqu'à six mois ont été également identifiés comme facteurs de risque à la dénutrition.

Tableau 3 : Dénutrition et caractéristiques sociales des ménages à Karimama

Caractéristiques	Dénutris	N	P
<i>Nombre d'enfants &lt;5 ans par ménage</i>			
1	94 (25,75%)	365	0,628
2	57 (22,5 %)	253	
3 et plus	5 (21,7 %)	23	
<i>Nombre de personnes par ménage</i>			
< 5	42 (23%)	183	0,03
[5 et 10[	72 (21,7%)	332	
≥ 10	42 (33,3%)	126	
<i>Tranche d'âge mère (en années)</i>			
16-24	30 (19,5%)	154	0,216
25-34	101 (26,6%)	380	
≥ 35	25 (23,4%)	107	
<i>Tranche d'âge père (en années)</i>			
16-24	5 (41,7%)	12	0,073
25-34	39 (19,5%)	200	
≥ 35	112 (26,1%)	429	
<i>Ethnie</i>			
<i>Dendi</i>	100 (21,3%)	469	0,003
<i>Peulh</i>	56 (32,6%)	172	
<i>Activités du père</i>			
<i>Agriculteur</i>	78 (22,7%)	343	0,017
<i>pêcheur</i>	26 (22,8%)	114	
<i>Eleveur</i>	25 (41%)	61	
<i>Autres</i>	27 (22%)	123	
<i>Superficie emblavée (ha)</i>			
0,25-2	89 (21,6%)	412	0,03
2,5-3	67 (29,3%)	229	
<i>Principales spéculations cultivées</i>			
<i>mais, mil et arachide</i>	5 (20%)	25	0,932
<i>mil, sorgho</i>	49 (24,3%)	202	
<i>riz, mil et sorgho</i>	95(24,4%)	389	
<i>riz, mais</i>	7 (28%)	25	

p = seuil de signification, Dénutris = présence d'au moins un type de dénutrition, N = effectif

Tableau 4 : Dénutrition et pratique de l'alimentation des enfants dans la commune de Karimama

Caractéristiques	Dénutris	N	P
<i>Allaitement maternel dans les 30 minutes qui ont suivies l'accouchement</i>			
<i>Oui</i>	48 (21,3%)	225	0,192
<i>Non</i>	108 (26%)	416	
<i>Allaitement maternel exclusif</i>			
<i>Oui</i>	68 (18,7%)	364	< 0,001
<i>Non</i>	88 (31,8%)	277	
<i>Introduction eau (mois)</i>			
≤ 6	75 (26,8%)	280	0,203
≥ 6	81 (22,4%)	361	
<i>Introduction bouillie (mois)</i>			
≤ 6	85 (34,6%)	246	< 0,001
≥ 6	71 (18%)	3955	
<i>Allaitement maternel jusqu'à 24 mois ou plus</i>			
≤ 24	67 (29,1%)	230	0,034
≥ 24	89 (21,7%)	411	

p= seuil de signification, Dénutris = présence d'au moins d'un type de dénutrition, N = effectif

### 3.6. Facteurs associés de la dénutrition chez les enfants de moins de cinq ans dans la commune.

En régression logistique, toutes les variables avec une probabilité inférieure ou égale 5% en analyse univariée ont été introduites dans le modèle final. Le non-respect de l'allaitement maternel exclusif, le sevrage avant 24 mois, l'ethnie (peulh), le nombre de personnes supérieur ou égal à dix par ménage et la superficie emblavée (2,5-3ha) ont été identifiés comme facteurs associés à la dénutrition chez les enfants de moins de 5 ans dans la commune de Karimama (tableau 5).

Tableau 5 : Facteur associés à la dénutrition à Karimama

Variables	OR	IC	P
<i>Allaitement maternel exclusif</i>			
<i>Oui</i>	1		
<i>Non</i>	2,02	[1,35-3,04]	0,001
<i>Sevrage avant 24 mois</i>			
<i>Oui</i>	1		
<i>Non</i>	0,71	[0,48-1,06]	0,091
<i>Ethnie</i>			
<i>Peulh</i>	1		
<i>Dendi</i>	0,55	[0,33-0,92]	0,022
<i>Nombre de personnes par ménages</i>			
< 5	1		
[5 10[	0,66	[0,41-1,1]	0,11
≥ 10	1,83	[1,04-3,23]	0,037
<i>Activité du chef de ménage</i>			
<i>Pêche</i>	1		
<i>Agriculture</i>	0,83	[0,46-1,47]	0,517
<i>Elevage</i>	1,81	[0,76-4,3]	0,181
<i>Autres</i>	0,77	[0,39-1,5]	0,439
<i>Statut vaccinal à jour</i>			
<i>Oui</i>	1		
<i>Non</i>	1,45	[0,99-2,14]	0,058
<i>Introduction de la bouillie avant 6 mois</i>			
<i>Oui</i>	1		
<i>Non</i>	0,44	[0,30-0,66]	< 0,001
<i>Superficie emblavée</i>			
0,25 à 2	0,66	[0,42-0,99]	0,043
2,5 à 3	1		

OR = Odds Ratio, IC = Intervalle de Confiance, p = seuil de signification

## 4. Discussion

La dénutrition chez les enfants de moins de 5 ans dans la commune de Karimama était de 24,3%. De multiples facteurs associés seraient à l'origine de ces problèmes nutritionnels.

Le non-respect de la pratique de l'allaitement maternel exclusif jusqu'à 6 mois, le sevrage précoce, et l'introduction de la bouillie avant six mois étaient des facteurs de risques importants chez les enfants à Karimama. L'OMS et le Ministère béninois de la Santé recommandent que, tous les enfants soient allaités exclusivement jusqu'à l'âge de six mois. Cependant, il est de pratique courante de constater au Bénin et en particulier dans la commune de Karimama, que dès les premiers jours qui suivent la naissance, les enfants soient nourris par des aliments autres que le lait maternel (bouillie, tisane). Ces pratiques alimentaires influencent négativement l'état nutritionnel des enfants. La consommation de bouillie se fait au détriment de l'allaitement au sein ; ce qui réduit la quantité de lait produit par la mère (Sackou Kouakou et al, 2016). L'administration de bouillie de céréales à cet âge semble inappropriée du fait de l'inadéquation des enzymes digestifs du nourrisson de cet âge aux aliments ingérés. L'introduction de la bouillie à partir de six mois a plus d'avantages sanitaires que de risques potentiels (Akré et al, 1992 ; Cohen et al, 1994). Quant à la durée de l'allaitement, l'OMS recommande sa poursuite jusqu'à 24 mois et plus, car il permet d'assurer une contribution nutritionnelle importante et procure plusieurs avantages au couple mère-enfant. Parmi les avantages de l'allaitement, le plus important est l'effet protecteur contre les infections gastro-intestinales. Cette recommandation n'est cependant pas observée à Karimama. Le sevrage se fait de façon précoce et les méthodes utilisées sont souvent radicales. Une nutrition adéquate au cours de la petite enfance est fondamentale pour le développement de l'ensemble du potentiel de chaque enfant.

L'étude a également montré que, les enfants qui avaient le statut vaccinal à jour étaient moins dénutris ; les femmes profitaient des différents rendez-vous de la vaccination pour faire le suivi et promotion de croissance des enfants à travers des conseils et des pesées par les agents de santé. En effet, le Programme Elargi de la Vaccination (PEV) et des Soins de Santé Primaires (DNPEV-SSP) du ministère de la santé au Bénin impose à la mère de présenter son enfant à la naissance, 6, 10, 14 semaines et à 9 mois de vie pour recevoir le BCG, le vaccin contre la rougeole, les quatre doses de vaccin contre la poliomyélite ainsi que les trois doses du vaccin pentavalent (DTCoq Hépatite B, Haemophilus b) en injection. En plus de ces vaccins, au Bénin, le Ministère de la Santé Publique a adopté depuis 2002

l'introduction du vaccin anti-marijuana (VAA) ou vaccin contre la fièvre jaune. Les mères qui viennent régulièrement au centre de santé bénéficient de soins promotionnels et préventifs. Elles bénéficient à cette occasion de séances de communication pour le changement de comportement et parfois de démonstrations culinaires à partir de 6 mois (Aké Tano et al, 2011). Par contre, lorsque les mères ne respectent pas le calendrier vaccinal, le suivi de l'enfant n'est pas fait convenablement et le poids n'est pas pris régulièrement, ce qui peut faire ignorer une forme de malnutrition débutante ou un risque de dénutrition ou de dénutrition modérée (Sackou Kouakou et al, 2016). Cette situation augmente le risque de mortalité infantile.

La taille de la fratrie supérieure ou égale à dix par ménage concourt à l'exacerbation des problèmes sanitaires à Karimama. La relation entre la dénutrition et la taille du ménage découle du constat selon lequel les situations de dénutrition naissent des difficultés des familles nombreuses à assurer leur sécurité alimentaire. Celle-ci est d'autant plus difficile à assurer que les membres du ménage sont plus nombreux (Yonkeu et al, 2018). La commune de Karimama manque de superficie cultivable, le complexe du parc W couvre les 5/6 de la superficie de la commune (PDC3, 2017). De plus, l'agriculture est principalement une agriculture de type familial reposant sur de petites exploitations familiales et orientée vers la polyculture associée au petit élevage traditionnel. L'insécurité alimentaire est critique dans la commune où elle touche plus de 32% des ménages (AGVSA, 2013). Cependant, le nombre élevé de personnes dans le ménage n'apparaît pas toujours comme un facteur clé dans la survenue de la dénutrition. Certains auteurs ont relevé que les niveaux de dénutrition étaient plus faibles pour les ménages de plus petite taille, mais sans différence significative avec ceux de grandes tailles (Traoré et al, 2008 ; Mariko et al, 2006). Il découle de nos résultats que, l'ethnie a un impact sur l'état nutritionnel des enfants à travers les habitudes alimentaires, les modes de socialisation. Les enfants Peulhs étaient plus susceptibles d'être malnutris que les Dendi. Les peulhs de la commune de Karimama sont réticents aux services de soin de santé moderne et à la consommation de certains aliments (les œufs, la viande de poulets et le poisson), prétextant que ces aliments sont porteurs de malheur. Dans cette situation, les enfants sont nourris aux céréales et autres aliments pauvres en macronutriments et en vitamines. Or, ce sont ces aliments riches en protéines qui devraient maintenir l'état nutritionnel des enfants. De plus, les enfants ne sont pas bien suivis lors des stratégies avancées par les agents de santé à cause de leur fréquent déplacement (transhumances ou pour les fermes). Les enfants des ménages



cultivant plus de 2 ha couraient plus le risque d'être malnutris que ceux des ménages qui emblavaient de petites superficies. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que, les parents s'occupent plus des champs et manquent du peu de temps pour donner le minimum de soins nécessaires pour un bon état nutritionnel des enfants. De plus, la pauvreté des sols, le manque de connaissances sur les itinéraires techniques adéquats et l'absence des variétés améliorées les mieux adaptées aux conditions agro écologiques de la commune, ne permettraient pas aux ménages qui s'investissent plus dans les grandes superficies d'obtenir des rendements leur permettant de couvrir les besoins nutritionnels de la famille.

## 5. Conclusion

La malnutrition reste toujours un sujet préoccupant malgré les efforts du Ministère en charge de la Santé et du Conseil de l'Alimentation de Santé et de la Nutrition (CAN) au Bénin. La nature complexe des problèmes de la dénutrition nécessite l'engagement de tous pour des solutions durables. Il est nécessaire de susciter une prise de conscience concernant la prévalence élevée, les facteurs associés et les conséquences de la dénutrition et de continuer les sensibilisations sur l'existence de solutions peu onéreuses à ce problème. Ce travail d'analyse situationnelle doit servir de base pour la recherche de solutions aux problèmes de dénutrition des enfants de cette localité en particulier et pour les autres enfants de manière générale. La prise en compte des facteurs associés tels que la pratique de l'AME, l'introduction de la bouillie après six mois et le statut vaccinal dans la mise en œuvre du Projet Multisectoriel de l'Alimentation de la Santé et de la Nutrition Bénin, permettrait de mieux orienter les interventions à base communautaire par les agents de PMASN et les agents de santé lors des différentes stratégies avancées.

## CONFLIT D'INTERET

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

---

## REFERENCES

- Aké Tano O., Ekou FK., Konan YE. 2011. Déterminants de la malnutrition chez les enfants de moins de cinq ans suivis à l'Institut national de Santé publique Côte d'Ivoire. *Med Afr Noire*, 58, pp.93-99.
- Akré J. 1992. L'alimentation infantile : bases physiologiques. Genève : Organisation mondiale de la Santé, 112p.
- Cohen RJ., Brown KH., Canahuati J., Rivera LL., Dewey KG. 1994. Effects of age of introduction of complementary foods on infant breast milk intake, total energy intake, and growth : a randomised intervention study in Honduras. *Lancet*, 344, pp.288-93.
- FAO, FIDA, OMS, PAM, UNICEF 2019. L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2019. Se prémunir contre les ralentissements et les fléchissements économiques. Rome, FAO.
- Konan Y., Aké O., Koffi K. 2007. Evaluation de l'état nutritionnel des enfants de 6 à 59 mois, déplacés des zones de guerre à Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. *Med. Afr. Noire*, 54, pp.625-30.
- Mariko S., Ikanane Ag., A. Ayad M. 2006. Hong R. État nutritionnel des enfants de moins de cinq ans au Mali. Calverton, Maryland : Institut national de la Statistique et Macro international, 58p.
- Ministère de la Décentralisation et de la Gouvernance Locale. 2014. Plan de Développement Communal de Karimama Troisième Génération (PDC3), 242p.
- PAM, INSAE 2017. Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire (AGVSA), 21p.
- PAM, INSAE 2013. Analyse Globale de Vulnérabilité et de la Sécurité alimentaire (AGVSA), 146p.
- PMASN 2016. Projet Multisectoriel de l'Alimentation, de la Santé et de la Nutrition, Base de données (Bénin).
- Sackou Kouakou JG., Aka BS., Hounsa AE., Attia R., Wilson R., Ake O., Oga S., Houenou Y. K. L. 2016. Malnutrition : prévalence et facteurs de risque chez les enfants de 0 à 59 mois dans un quartier péri-urbain de la ville d'Abidjan, *Med Sante Trop*, 26, pp. 321–317. DOI:10.1684/mst.2016.059110.
- Traoré B., Dabo K., Traore S. 2008. Analyse des causes de la malnutrition dans trois pays du Sahel : Burkina Faso, Mali et Tchad. Bamako : Institut du Sahel, 72p.

- UNICEF, OMS 2011. Normes de croissance OMS et identification de la malnutrition aigüe sévère chez l'enfant : déclaration commune de l'Organisation mondiale de la Santé et du Fond des Nations Unies pour l'enfance Genève. [https://www.who.int/nutrition/publications/severemalnutrition/9789242598162\\_fre.pdf](https://www.who.int/nutrition/publications/severemalnutrition/9789242598162_fre.pdf)
- UNICEF, UIP 2017. Promouvoir la nutrition infantile en Afrique de l'Ouest et du Centre. Séminaire parlementaire inter-régional co-organisé par l'Union interparlementaire (UIP) et le Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF) en collaboration avec alive&thrive et le soutien de l'Assemblée nationale du Burkina Faso, Ouagadougou (Burkina Faso).
- Yonkeu S., Maiga A., Wethé J., Mampouya M., Maga G. 2018. Conditions socioéconomiques des populations et risques de maladies : Le bassin versant du barrage de Yitenga au Burkina Faso. Mai 2003. <http://vertigo.revues.org/4778> (consulté le 27/08/2018).



# Estimation of Optimal Portfolios of Governance Structures for Improving Benin' Rice Producers' Income

Ogoudélé Simon CODJO<sup>1\*</sup>, Rose FIAMOHE<sup>2</sup>, Sylvain KPENAVOUN<sup>1</sup>, Denis ACCLASSATO<sup>3</sup>, Gauthier BIAOU<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Agriculture, University of Abomey-Calavi

<sup>2</sup> Africa Rice Center (AfricaRice)

<sup>3</sup> Faculty of Economics, University of Abomey-Calavi

<sup>4</sup> Faculty of Agriculture, National University of Agriculture of Benin

Reçu le 4 Février 2019 - Accepté le 20 Décembre 2019

## Estimation de portefeuilles optimaux des structures de gouvernance pour améliorer les revenus des producteurs de riz du Bénin

**Résumé :** La volatilité des prix des produits agricoles est l'un des problèmes critiques qui affecte fortement le revenu des petits producteurs ; par conséquent, pourrait contribuer à aggraver la pauvreté. Cet article utilise une analyse de portefeuille pour identifier le portefeuille optimal de modes de transaction pour la commercialisation du paddy. Les données ont été collectées au Bénin en 2015 auprès de 300 producteurs du paddy. Les résultats indiquent que le portefeuille optimal de deux modes de transaction consiste à vendre 17% et 83% du riz produit sur le marché au comptant et à travers le contrat formel, respectivement. Le meilleur portefeuille pour la combinaison de trois modes de transaction consiste à vendre 13%, 57% et 30% de la production par le biais du marché au comptant, d'un contrat formel et des associations de producteurs. Enfin, un portefeuille consistant à vendre respectivement 10%, 25%, 43% et 22% de la production sur le marché au comptant, le contrat informel, le contrat formel et les associations de producteurs constitue le meilleur portefeuille pour l'utilisation de quatre modes de transaction. Le contrat formel est inclus dans tous les meilleurs portefeuilles identifiés et présente le pourcentage le plus élevé. Par conséquent, ces contrats formels peuvent être utilisés pour augmenter les revenus des producteurs de riz et réduire les risques de fluctuation des prix. Les portefeuilles développés dans cette recherche peuvent être utilisés pour conseiller les producteurs de paddy pour une meilleure décision de commercialisation du paddy.

**Mots clés :** Sélection optimale de mode de transaction, analyse du portefeuille, simulation stochastique, paddy, Bénin.

Code JEL: G11, Q11, Q12.

**Abstract:** Prices volatility is one of the critical problems that highly affects smallholder producer's income; therefore, it might contribute to deeper poverty. This study applies portfolio analysis to identify the optimal portfolio of governance structures (GSs) selection for paddy marketing. Data were collected in Benin in 2015 from 300 rice producers randomly selected. The results indicate that the optimal portfolio of two GSs consists of selling 17% and 83% of the production through spot market and formal contract, respectively. The best portfolio of three GSs consists of selling 13%, 57%, and 30% of the production through spot market, formal contract, and farmer association. Finally, a portfolio that consists of selling 10%, 25%, 43%, and 22% of the production through spot market, informal contract, formal contract, and farmers association, respectively, is the best one in the case of four GSs. Formal contract is included in all the best portfolios identified and always presents the highest percentage. Therefore, these formal contracts can be used to enhance rice producers' revenues and reduce price fluctuation risk. The portfolios developed in this research can be used to advise paddy producers for a better marketing decision.

**Keywords:** Optimal GS Selection, Portfolio Analysis, Stochastic Simulation, Rice, Benin.

JEL code: G11, Q11, Q12.

## 1. Introduction

Price fluctuation on agricultural markets is one of the most significant factors that influences producers' incomes. According to Rapsomanikis and Sarris (2008), various uncertainties such as prices fluctuation, weather instability, and some idiosyncratic shocks such as illnesses can highly affect producers' revenues and be especially detrimental to small scale poor producers in developing countries. Accordingly, agricultural business is a risky business with unstable revenue due to the uncertainty about the prediction of the future (Broll, Welzel, & Wong, 2013; Hardaker, 2004; Kobzar, 2006).

Uncertainty about market price might highly jeopardize farmers' decision-making. They might struggle about the varieties to produce to guarantee marketing outlet. Furthermore, they may face difficulties in deciding not only the appropriate time to market their products but also the marketing option to use to mitigate the risk of income fluctuation. Accordingly, risk is part of farmers decision making process. Two main types of risk are usually described in the literature: financial risk and business risk (Hardaker, 2004).

Financial risk is related to farm financing, including credits constraints, leverage, leasing, and interest rate variability (Hardaker, 2004). Business risk springs from production risk (weather instability) and from market risk (price fluctuation, change in demand and supply). Price volatility affects all countries that produce commodities, but the problem is more serious in developing countries (Page & Hewitt, 2001). Accordingly, strategies to deal with risk are important in producers' decision-making process in developing countries. Managing risk involves selecting among alternatives or to diversify farm enterprise (Broll *et al.*, 2013; Markowitz, 1991; Sharpe, 1970). According to Williamson (1979), governance structure selection is considered as part of the firm optimization problem. During the our data collection producers have stated the diversification of the GSs as a strategy used to cope with market risk.

A GS is an organizational option used by an economic agent to carry out a transaction. Economic agents, when coordinating their activities, adopt GSs, which, according to Williamson (1975), allow them to minimize transaction costs. These GSs include the spot market, hybrid forms (contractual forms) and hierarchy. As stated by producers during the field work, by combining GSs, their objective is to minimize the risk of price fluctuation to keep their revenue as stable as possible. Accordingly, the combination of GSs may be a strategy to face revenue fluctuations. As Arinloye (2013), this

research resolves around four GSs, including spot market (SM), informal contract (IC), formal contract (FC), and farmers association (FA).

The SM does not require any agreement, prior to the selling time, between the buyer and the seller. In such GS, anonymous providers and purchasers meet, agree on prices and leave, and the relationship between the providers and purchasers is not expected to continue beyond the current exchange (Macneil, 1981). The FC is an agreement concluded based on well-defined and unambiguous clauses. This type of contract is written and exhibits the evidences of the clauses of the contract. The IC does not exhibit an official framework that defines the agreement between the producer and the processor. It is based on past relationships and experiences between a seller and a buyer (Bradach & Eccles, 1989, Gibbons *et al.*, 1994, Ménard, 2004). In such contract, the terms are established orally without written evidences. Finally, a FA represents a group of producers seeking to protect their interests. FAs are engaged in a wide range of activities, such as the promotion of a product, the development of quality, training, and the provision of information (Shepherd *et al.*, 2010). In addition, a FA can collect the products of its members for the sake of marketing. In our study area, producers either use one of these GSs or combine two or more for the marketing of rice.

Research about GSs have been largely embraced in the literature (eg. Bailey & Hunnicutt, 2002; Arinloye, 2013; Williamson, 1975). Those studies generally focus on the magnitude of transaction costs on the GSs (Bailey & Hunnicutt, 2002; Ji, Felipe, Briz, & Trienekens, 2012) or on the factors that influence their choice (Arinloye, 2013; Kpenavoun, 2009; Paulson, Katchova, & Lence, 2010; Williamson, 1975). However, it is still unclear how producers should allocate their production to those GSs to minimize the risk of revenue fluctuation. Moreover, while some producers might be willing to use only one GS other may prefer using two, three or four. Considering that this research focuses on four GSs; there are six possibilities to combine two GSs, four to combine three, and only one in the case of four GSs. This research, first, identifies the highest revenue portfolio and the lowest risk portfolio (in terms of price fluctuation) for combining two or three GSs. Second, this research predicts which portfolio a risk averse and a risk loving producer will prefer.

## 2. Producer's optimal decision

We consider in this study a rice producer who faces a standard portfolio decision within a risky business environment. This study considers (1) a farmer that produces Q amount of paddy annually, (2) sells paddy through the selected governance structure, and faces an optimal selling decision problem. According to Wil-

---

\* Auteur Correspondant : [simcodjo20@yahoo.fr](mailto:simcodjo20@yahoo.fr) / [s.codjo@cgiar.org](mailto:s.codjo@cgiar.org)  
Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin

liamson (1979), governance structure selection is considered as part of the firm optimization problem. Accordingly, the producer's optimal decision consists of obtaining the maximum outcome for each variance, which one captures the risk level. In other word, the producer would like to minimize risk for each targeted outcome. The revenue is the outcome considered in this research. A pertinent framework to analyze such situation is the portfolio theory. A "portfolio" can be defined as a combination of items, which one may be securities, assets, or other objects of interest (Nalley *et al*, 2009). The portfolio theory is an approach developed by Markowitz (1959) to analyze an investment selection to cope with risk. It is a theoretical approach to investment choices assuming that rational investors will seek to minimize their risk for any given expected return, and to maximize their return for any given level of risk (Markowitz, 1959).

In portfolio theory, two important characteristics of investors are described. First, the investors want their return to be high and second, they want it to be dependable and level off (Markowitz, 1959). From our field work, paddy producers stated that they combine governance structures to reduce the risk of paddy selling price fluctuation. Thus, by combining the GSs paddy producers want to maximize their revenue by reducing the price fluctuation risk. A portfolio that provides high return is not necessary the one that guarantee the lowest price fluctuation risk. Conversely, the lowest uncertainty portfolio might provide an undesirable return level (Markowitz, 1959). Between these extreme situations exist the portfolios that present various degree of return and uncertainty. Farmers' choice among these portfolios depends on their willingness to bare risk. Risk loving farmers will prefer the portfolios that provides the highest return no matter the risk associated to that portfolio.

This research applies the portfolio theory to GS choice by adopting a framework similar to that of Nalley *et al* (2009) who developed a model to analyze the portfolio of rice varieties selection of producers in order to optimize their profit while minimizing yield risks in Arkansas. Due to the fact that prices volatility is one of the serious concerns of agricultural market (Broll *et al.*, 2013; Hardaker, 2004; Kobzar, 2006), a best portfolio

of GSs can be couched by estimating expected income resulting from the combination of GSs.

It is assumed that the objective of the producer is to choose the optimal allocation of the total quantity of rice sold through each GS. The decision variable is  $x_i$  is the proportion of rice sold through the GS  $i$ . The objective function is presented in equation 1.

$$\text{Max } R = \sum_{i=1}^4 X_i P_i Q \quad (1)$$

$$\text{St: } \sum X_i = 1 \quad (2)$$

$$\sum_i Y_i X_i = \alpha \quad (3)$$

$$X_i \geq 0 \text{ for all } i \quad (4)$$

$R$  is the total revenue generated by the selling of one metric ton of paddy rice,  $X_i$  is the percentage of the total quantity sold under the governance structure  $i$ .  $Q$  the quantity of paddy rice sold. In the equation 3  $\alpha$  is the targeted variance, which is the sum of the mean revenue variance.  $Y_i$  is the average revenue of the governance structure  $i$ .

### 3. Methodology

#### 3.1. Source of data

The data were derived from agricultural surveys conducted by the Africa Rice Center (AfricaRice) and the National Institute of Agricultural Research in Benin (INRAB). Data were collected in 2015 in the rice development hub of Glazoué which includes the districts of Bantè, Dassa, Glazoué, and Savalou. In each district, a list of active villages in rice production was established with the assistance of members of the rice producers' association. Thus, 15 villages were identified as being active in the district of Bantè, 14 in the district of Savalou, 16 in the district of Dassa, and 19 in the district of Glazoué. Forty-one (41) villages were selected randomly and proportionally to the number of active villages in each district.

Table 1: Details of the producers sampling

Districts	Number of villages active in production	Number of villages selected	Total number of paddy producers in the selected villages	Number of respondents selected
Dassa	16	10	211	70
Glazoué	19	12	235	78
Savalou	14	9	199	66
Bantè	15	10	260	86
Total	64	41	905	300

At the level of each selected village, the list of rice-producing households was set with the assistance of producers' association leaders. This list is supplemented by a census of the other producers of the village. A total of 300 producers randomly selected from forty-one (41) villages were surveyed. The number of producers selected in each village is proportional to the number of producers in the village.

During the survey, the data were collected mainly on the socioeconomic characteristics of respondents such as the sex, the age, the education level, and the membership of producers associations. In addition, the GSs used by farmers to sell rice, the quantity of rice sold through each GS, and the price of selling of paddy through each GS were also collected. For example, if a producer sells 100kg of his production, he may use only two GSs by selling 70kg in the first and 30 kg in the second. Other producers may use three or four GSs, and so, share out the quantity of paddy sold through these GSs.

### 3.2. Description of scenario analysed

The goal of the present research is to identify the best portfolio based on the number of GS that producers would like to use among the four addressed in this research. Six possibilities exist to choose two GSs among four, four possibilities for combining three GSs and, finally only one option exists in the case of four GSs. When the producer decides to use two GSs, the following combinations are possible: SM and FC, SM and IC, SM and AP, FC and IC, FC and , IC and AP. Firstly, the optimal portfolio is estimated in each scenario as described in table 2. Secondly, the scenarios are compared in terms of revenue and risks (mean-variance) to identify the highest revenue portfolio and the lowest risk one. The portfolio risk is measured by the mean-variance of the revenue obtained by combining GSs.

Table 2: Description of the scenarios analyzed

Scenarios	Governance structure (GS)			
	SM	IC	FC	FA
	Choice of two GSs			
SM and IC	1	2	-	-
SM and FC	1	-	2	-
SM and FA	1	-	-	2
IC and FC	-	1	2	-
IC and FA	-	1	-	2
FC and FA	-	-	1	2
	Choice of three GSs			
SM, IC, and FC	1	2	3	-
SM, IC, and FA	1	2	-	3
SM, FC, and FA	1	-	2	3
IC, FC, and FA	-	1	2	3
	Choice of four GSs			
SM, IC, FC, and FA	1	2	3	4

## 4. Results

### 4.1. Comparison of the average price of selling of paddy rice through the GSs

Table 3 presents the average prices of selling of the paddy rice through each GS. The standard deviation of the price on each GS is used to appreciate market risk (C.A, 1999; Hull, 1991). SM displays both the highest average selling price and standard deviation. Although the SM offers the best selling price, the transaction costs that can be associated with that GS may be higher than that of the others GS. In case the producers should transport the paddy to a physical market, they don't have the guarantee that the product will be sold the first time. Furthermore, the existence of middlemen on the market may abate the net price that receive the producer. IC presents the lowest average selling price. By using IC, producers usually receive pre-financing from the processors based on a trust. As a compensation for the financing, the producers usually receive a low price. The price receive through formal contracts is almost the same as that of SM. However, that GS presents the lowest standard deviation, meaning that it has the lowest risk of price fluctuation. That option could be a good one for producers since it combines a relatively high price of selling and a low risk of price fluctuation.

Table 3: Average selling price (US \$/ton) of rice through the GS

GSs	Average price	Standard deviation
Spot market	261.83	27.15
Informal contract	221.79	15.86
Formal contract	259.84	11.34
Farmer association	250.08	14.52

Survey Benin, 2015

### 4.2. Simulation of the selling price of rice on each GS

The figures 2 and 3 present the probability density function (PDF) of the simulated prices of one ton of paddy for each GS. These figures present the chance of selling paddy more than producers' current average income when they decide to use only one GS. The producer's average income per ton of paddy sold is equal to 257.43 US \$/ton. FC displays the highest percent of selling rice at more than \$257.43 with 58%, following by SM with 56%. IC presents the lowest chance of selling one ton of paddy at more than per ton income with only 1%. The SM price holds the largest standard deviation, meaning that it presents the highest risk of the price fluctuation. In the opposite, the smallest standard deviation is associated with FC. Based only on prices analysis, both a risk lover and a risk averse producer will prefer to sell exclusively their paddy rice on the

spot market. Indeed, the high risk attached to spot market is a positive risk. In all, the risk loving producers will prefer SM since they make more money because that GS has a thicker tail on the right side and risk averse producers will choose it since it has a thinner left-hand tail. However, the decision of producers is not made only based on the price of selling. The price of

selling might be high but displaying substantial transaction costs, which may affect negatively the revenue. Therefore, producers could abjure a high price GS due to the transaction costs that can lower the profit. Producers make a tradeoff between a high price GS and a low transaction cost one, which usually leads them to combine two or more GS.

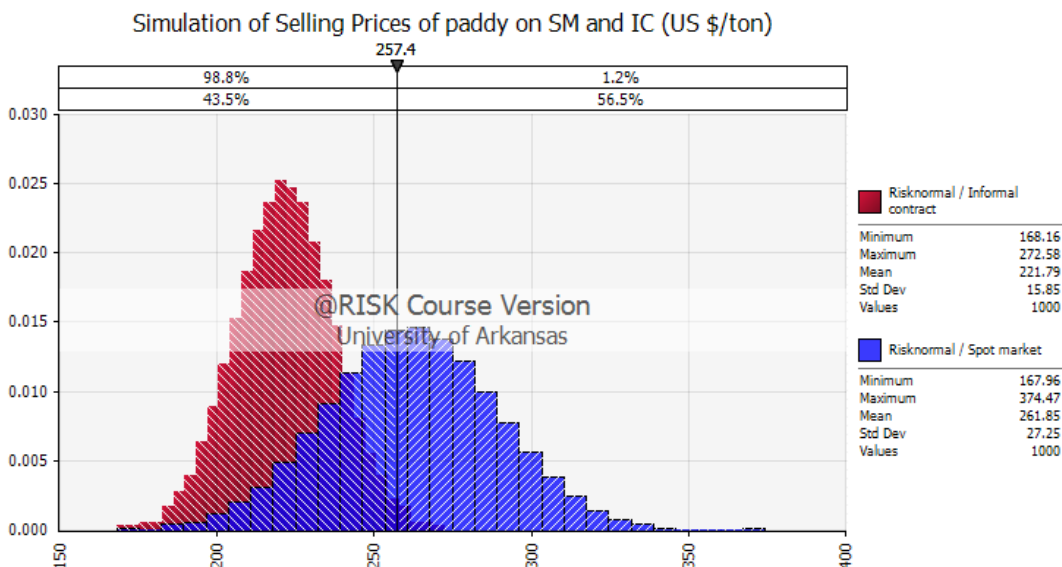


Figure 2: PDF of SM and IC prices

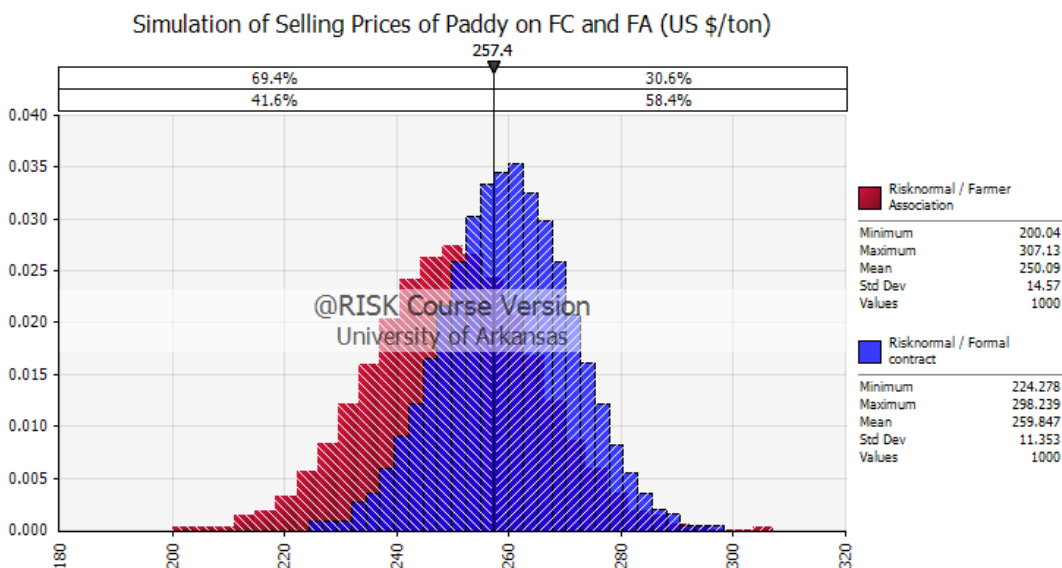


Figure 3: PDF of FA and FC prices

### 4.3. Comparison of the incomes and risk of the possible portfolios

Table 4 shows the portfolios for the possible combinations of two, three, and four GSs. By assuming that producers are risk averse, the best portfolio is the combination that provides the producer with the lowest risk of the revenue fluctuation. In opposite, a risk loving producer will prefer the high revenue portfolio. Table 4 gives the details about the outcomes of each portfolio in terms of revenue and risk.

In the case of two GSs, the best portfolio in terms of risk consists of selling 34% of the paddy rice through IC and 66% through FC. The revenue associated with that portfolio is \$246.75 per metric ton, which is lower than producers' current per ton average income. The portfolio that provides the highest revenue consists of selling 17% and 83% of the rice through SM and FC, respectively. The venue associated with that portfolio is \$260.17 per metric ton. This value is higher than \$257.43, producers per ton average income.

The safest portfolio in the case of 3 GSs consists of selling 27%, 47% and 26% through IC, FC, FA, respectively. The revenue associated with that portfolio is \$247 per metric ton. The portfolio that provides the highest revenue combines 17%, 57%, and 13% of rice selling through SM, FC, and FA, respectively. The venue associated with that portfolio is \$257.10 per metric ton. The portfolio associated with the highest revenue is almost the same as the average producers' per ton of paddy income.

Table 4: Comparison of the possible combination of GSs

Combina- tion of GSs	Portfolio (%)				Portfo- lio risk (vari- ance)	Portfo- lio Rev- enue (\$/t)
	SM	IC	FC	FA		
2 Governance Structures						
SM and IC	27	73	-	-	173.31	232.65
SM and FC	17	-	83	-	103.37	260.17
SM and FA	23	-	-	77	160.87	252.76
IC and FC	-	34	66	-	82.25	246.75
IC and FA	-	46	-	54	114.77	237.17
FC and FA	-	-	64	36	91.38	256.34
3 Governance Structures						
SM, IC, and FC	13	30	57	-	68.33	248.5
SM, IC, and FA	15	40	-	45	93.91	240.68
SM, FC, and FA	13	-	57	30	77.42	257.10
IC, FC, and FA	-	27	47	26	65.37	247
4 Governance structures						
SM, IC, FC, and FA	10	25	43	22	56.05	248.41

Survey Benin, 2015

There is only a unique portfolio that provides the lowest risk in the case of the combination of four GS.

That one consists of selling 10%, 25%, 43% and 22% of the paddy rice through SM, IC, FC, and FA, respectively.

The question raised after the identification of the possible portfolios and their associated outcomes, in terms of risk and revenue, concerns the one a producer should select in each case. The response to that question depends on the nature of the risk, positive or negative, and whether the producer is risk averse or risk loving. Accordingly, it is important to delve further into both options, namely the highest revenue and the lowest risk portfolio, in each case.

### 4.4. Simulation of the revenue derived from the highest revenue and lowest risk portfolio

#### 4.4.1. Case of 2 GSs

Figure 4 shows the distribution of the revenue of the portfolio (34% of IC and 66% of FC) presenting the lowest risk and that (17% through SM and 83% through FC) presenting the highest revenue. Both the risk loving and risk averse producers will prefer the combination of SM and FC. Although that option is the most risky, the risk associated is in the positive sense. The high standard deviation associated with the revenue of that portfolio is due to the high prices on SM. Therefore, the risk loving producers will prefer it since they make more money because that portfolio has a thicker tail on the right side and risk averse producers will choose it since it has a thinner left-hand tail. Accordingly, the combination of SM and FC is the best portfolio if producers want to use two GSs. With such optimal portfolio, producers have 61% percent chance to make more than the average per ton of paddy selling income.

#### 4.4.2. Case of 3 GSs

Figure 5 shows the distribution of the revenue of the portfolio (27%, for IC, 47% for FC and 26% for FA) presenting the lowest risk and that (13% for SM, 57% for FC, and 30% for FA) presenting the highest revenue. Both the risk loving and risk averse producers will prefer the combination of SM and FC and FA. Although that option is the most risky as exactly in the case of two GS, the risk associated is in the positive sense. The risk loving producers will prefer it since they make more money because that portfolio has a thicker tail on the right side and risk averse producers will choose it since it has a thinner left-hand tail. By using the portfolio generating the highest revenue, producers have 47% chance to make more than the current average per ton of paddy selling revenue.



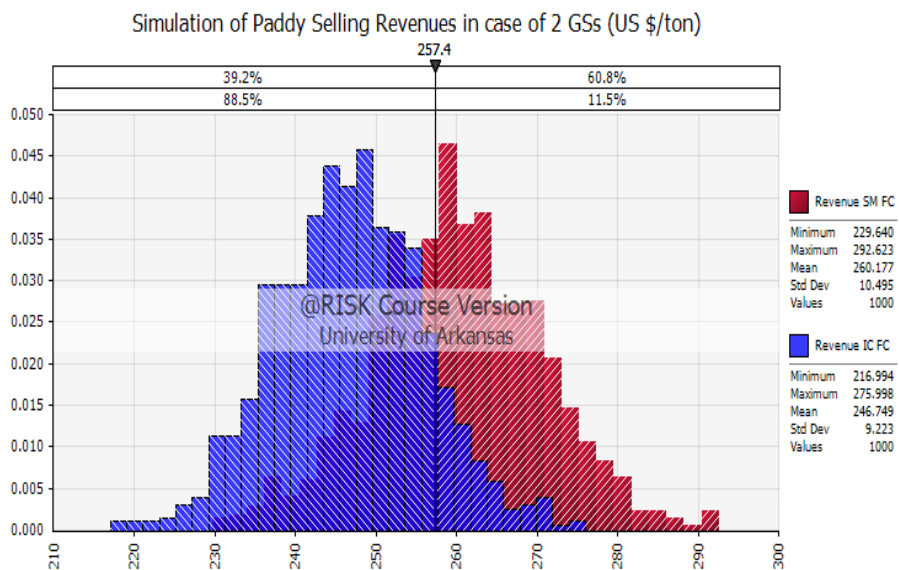


Figure 4: PDF of the revenue of highest return portfolio (SM and FC) and lowest risk one (IC and FC)

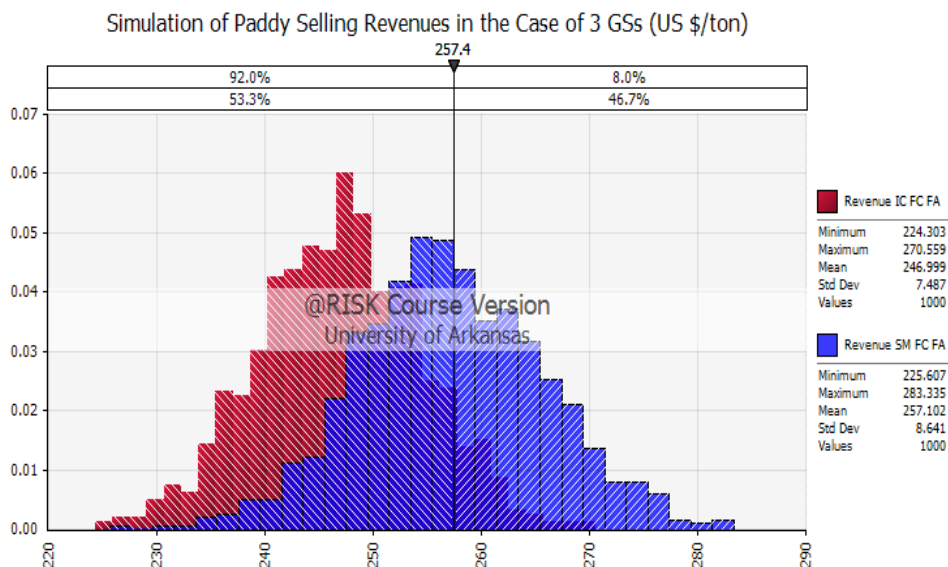


Figure 5: PDF of the revenue of the highest return portfolio (SM, FC, and FA) and lowest risk one (IC, FC, and FA)

#### 4.4.3. Case of 4 GSs

Figure 6 shows the distribution of the revenue of the portfolio presenting the lowest risk for producers. That one consists of selling 10%, 25%, 43% and 22% of the paddy rice through SM, IC, FC, and FA, respectively.

By using such a portfolio, the producers are 10% sure to make more than the current average per ton of paddy selling revenue. By willing to take greater risk, producers can increase the revenue of their portfolio.

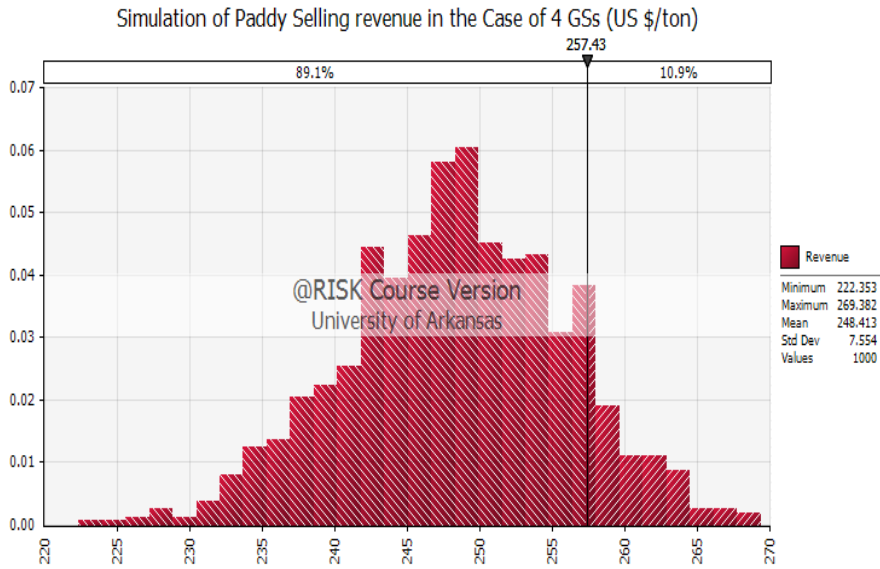


Figure 6: PDF of the revenue of the lowest risk portfolio

#### 4.5. Efficiency frontier analysis for the best portfolios in each case

##### 4.5.1. Case of two and three GSs

Figures 7 and 8 show the distribution of rice producers' revenues according to risk level when they use two and three GSs, respectively. In the case of two GSs, the best portfolio consists of selling 17% and 83% through SM and FC, respectively. The venue associated with that portfolio is \$260.17 per metric ton. Concerning the

combination of three GSs, the best portfolio consists of combining 17%, 57%, and 13% of rice selling through SM, FC, and FA, respectively. The revenue associated with that portfolio is \$257.10 per metric ton. In both cases, when the risk of price fluctuation increases, the quantity sold through SM increases. The riskiest case consists of selling the entire quantity of rice on spot market. However, such choice provides the highest revenue. This high revenue is the reward of bearing risk for selling paddy on the spot market (Hardaker, 2004).

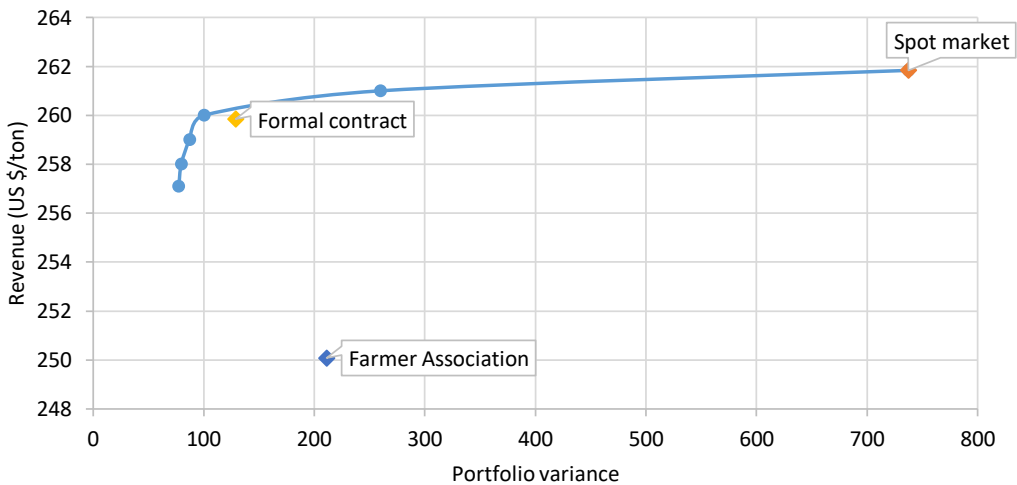


Figure 7: The Efficient Mean-Variance Frontier for the Selection of Two GS

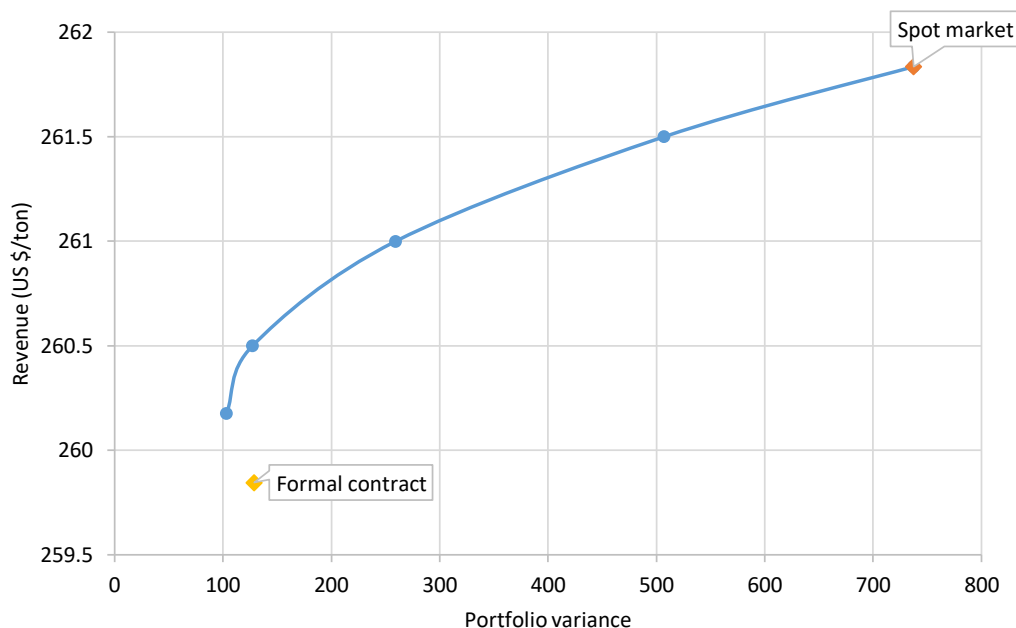


Figure 8: The Efficient Mean-Variance Frontier for the Selection of Three GS

#### 4.5.2. Case of four GSs

Figure 9 shows the distribution of rice producers' revenues according to the risk level. The optimal solution, combining the optimal revenue to the lowest risk, is obtained by selling 10% of the production through SM, 25% through IC, 43% through FC, and 22% through FA. Considering that the revenue is computed for 1000 kg, the best portfolio will consist of selling 100 kg through SM, 250 kg through IC, 430 kg through FC and 220 kg through FA. The revenue associated with that portfolio is estimated at \$248.41 per metric ton of paddy rice, which is below the current average revenue of producers. However, the producer is sure to get such

amount. Although the spot market has the best price of selling of paddy rice, the best portfolio considers selling only 10% of the rice through that governance structure. Indeed, the spot market presents the highest variance of prices, and so the highest risk of revenue fluctuation. In opposite, formal contracts display the lowest risk, which make that governance structure heavily considered in the best portfolio.

In case the producers would like to ensure the minimum possible risk level, they should sell the totality of the rice through formal contracts. Conversely, all the rice should be sold on the spot market if the producers want the highest revenue. In this specific case, the risk associated with the revenue is also the highest.

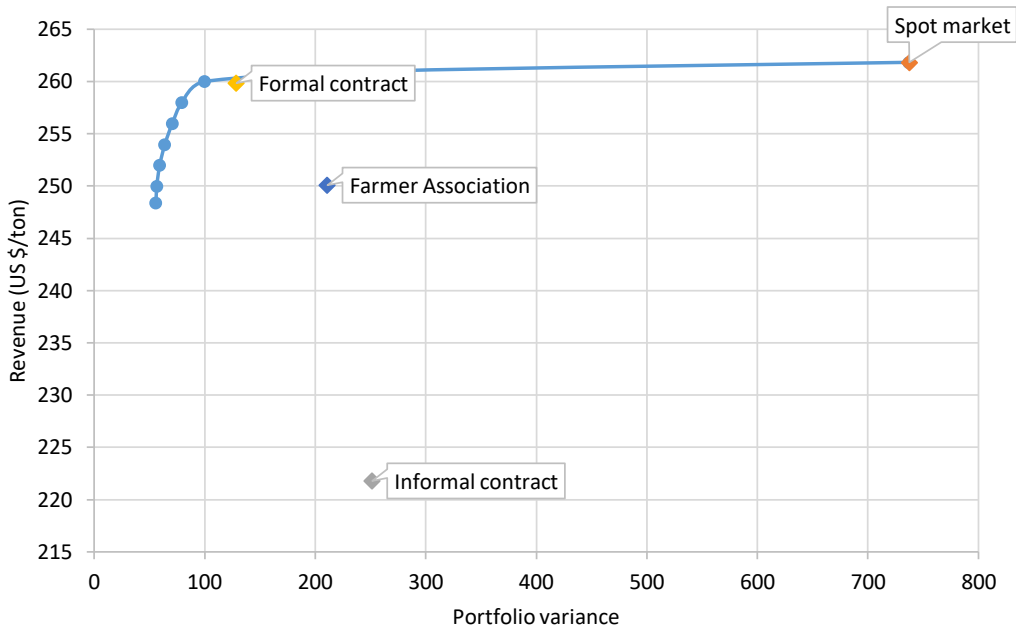


Figure 9: The Efficient Mean-Variance Frontier for the Selection of Four GS

## 5. Conclusion and discussion

Prices stability is of paramount importance to mitigate market risk and ensure producers' wellbeing. Producers will not be willing to invest in production or to increase it if they do not have appropriate strategies to deal with their products' prices fluctuation. The portfolio developed in this study can be used to advise producers about rice marketing. Such portfolio will reduce producer's vulnerability to price instability. The best portfolio identified in this study when the producers would like to use two, three, and four GSs include formal contract. As a result, the formal contracts play a key role in reducing producers' revenue fluctuation. This study suggests selling 83%, 57%, and 43% of the production through formal contracts when the producers decide to use, two, three, and four GSs, respectively. Such strategy allows producers to minimize the risk of revenue fluctuation. Accordingly, this study confirms the role of contract farming in hedging against income risk. According to MacDonal (2004), marketing contracts can be used to reduce income risk through the payment mechanism specified in the contract. A large

body of literature support contract farming role in managing market risk (e.g. McBride & Key, 2002; Grosh, 1994; Bijman, 2008).

The findings of this study also suggest that producers should sell 30% and 22% of their production through association of producers when they use three and four GSs, respectively. This result is significantly different from that of Woldie (2010). This author suggests that an optimal earning is obtained if banana producers sell between 70% and 85% of their production to farmer cooperative. Due to formal contract role in reducing the risk of producer's income fluctuation, interventions aiming at reducing producers market risk should target formal contracts. Also, future research should focus on analyzing producer's willingness to accept formal contract's attributes. That research will identify important attributes that can be used to design contract that will more likely be successful.

## CONFLIT D'INTERET

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

## REFERENCES

- Arinloye, D.-D. A. (2013). Governance, marketing and innovations in Beninese pineapple supply chains: A survey of smallholder farmers in South Benin. PhD thesis, Wageningen Universiteit, 194p.
- Bailey, D., & Hunnicutt, L. (2002). The role of transaction costs in market selection: market selection in commercial feeder cattle operations. 2002 Annual meeting, July 28-31, Long Beach, CA (19894).
- Bijman, J. (2008). "Contract Farming in Developing Countries: An Overview." Working Paper, Wageningen University.
- Broll, U., Welzel, P., & Wong, K. P. (2013). Price risk and risk Management in Agriculture. *Contemporary Economics*, 7(2), 17-98. doi:10.5709/ce.1897-9254.79.
- Carter, C.A. (1999). Commodity futures markets: a survey. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 43(2), 209-247. doi:10.1111/1467-8489.00077.
- Grosh, B. (1994). "Contract Farming in Africa: An Application of the New Institutional Economics." *Journal of African Economies*, 3(2):231-261.
- Hardaker, J. B. (2004). *Coping with risk in agriculture*. Cambridge, MA Wallingford, Oxford shire: CABI Pub.
- Hull, J. (1991). *Introduction to futures and options markets*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Ji, C., Felipe, d. J., Briz, J., & Trienekens, J. H. (2012). An Empirical Study on Governance Structure Choices in China's Pork Supply Chain. *International Food and Agribusiness Management Review*, 15(2), 121-152.
- Kobzar, O. A. (2006). Whole-farm risk management in arable farming: portfolio methods for farm-specific business analysis and planning. PhD thesis, Wageningen Universiteit, 168p.
- Kpenavoun, S. (2009). Réformes des marchés agricoles : coûts de transaction, choix des modes de transaction des producteurs et dynamique de l'efficacité du marché des céréales : cas du maïs au Bénin. PhD Thesis, Université de Liège. Gembloux Agro-Bio Tech, 172p.
- McBride, William & Nigel, Key. Economic and Structural Relationships in U.S. Hog Production. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Agricultural Economics Report No. 818, February, 2003.
- Markowitz, H. (1959). *Portfolio selection: efficient diversification of investments* (Vol. 16). London; New Haven, Yale University Press.
- Nalley, L. L., Barkley, A., Watkins, B., & Hignight, J. (2009). Enhancing Farm Profitability through Portfolio Analysis: The Case of Spatial Rice Variety Selection. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41(3), 641-652. doi:10.1017/S1074070800003126.
- Page, S., & Hewitt, A. (2001). *World commodity prices: still a problem for developing countries?* London: Overseas Development Institute.
- Paulson, N. D., Katchova, A. L., & Lence, S. H. (2010). An Empirical Analysis of the Determinants of Marketing Contract Structures for Corn and Soybeans. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, 8(1). doi:10.2202/1542-0485.1282.
- Rapsomanikis, G., & Sarris, A. (2008). Market Integration and Uncertainty: The Impact of Domestic and International Commodity Price Variability on Rural Household Income and Welfare in Ghana and Peru. *The Journal of Development Studies*, 44(9), 1354-1381. doi:10.1080/00220380802265439.
- Sharpe, W. F. (1970). *Portfolio theory and capital markets*. New York: McGraw-Hill.
- Unterschultz, J. R. (2000). Managing Market Risk in Western Canadian Agriculture. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 48(4), 527-537. doi:10.1111/j.1744-7976.2000.tb00408.x.

- Williamson, O. E. (1975). *Markets and hierarchies, analysis and antitrust implications: a study in the economics of internal organization*. New York: Free Press.
- Williamson, O. E. (1979). Transaction-cost economics: the governance of contractual relations. *The journal of Law and Economics*, 22(2), 233-261.
- Woldie, G. A. (2010). Optimal farmer choice of marketing channels in the Ethiopian banana market. *Journal of agricultural & food industrial organization*, 8(1).



# Procédé de Production, caractéristiques microbiologique, physicochimique et sensorielle du chakpalo, bière traditionnelle de maïs en Afrique de l'Ouest

Ayodélé Mariam EGOUNLETY<sup>1</sup>, Générose VIERA-DALODE<sup>1</sup>, Paul HOUSSOU<sup>2</sup>, Joseph DOSSOU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi (FSA/UAC)

<sup>2</sup> Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Reçu le 24 Février 2019 - Accepté le 13 Décembre 2019

## Processing, Microbiological, physicochemical and sensory characteristics of Chakpalo, Traditional maize beer from West Africa

**Abstract:** Chakpalo is a traditional Benin beer made from sorghum cereals and / or maize. The objective of this study is to identify the production system, to characterize the chakpalo from the physico-chemical, microbiological and sensory and to stabilize the chakpalo based maize. A survey was carried out in the original production area (Dassa Zoumé) on the production and marketing of chakpalo made from maize. Samples of chakpalo produced were subjected to physicochemical, microbiological and sensory analysis. The results showed that the production of chakpalo is exclusively a female activity. Four types of chakpalo have been identified in relation to the raw material used for production: chakpalo from maize / sorghum mixture, chakpalo from sorghum, chakpalo from maize and chakpalo from rice. According to the producers, a good chakpalo is of brownish color, slightly acidic and slightly alcoholic. During the fermentation process, the content of proteins and soluble solids decreased significantly ( $p < 0.05$ ), while the load of lactic bacteria and yeasts as well as the titratable acidity increased significantly ( $p < 0.05$ ). The chakpalo based maize obtained is an acid product with a pH of 4.11, a titratable acidity of 0.09 g / 100g (lactic acid). It has a soluble dry extract (9.40 °brix) and an alcohol (3.36%). After pasteurization, the chakpalo based maize has a pH of 4.0, a soluble dry extract of 9.73 ° brix significantly ( $p < 0.05$ ) different from that of unpasteurized chakpalo. The dominant microbial flora consists of lactic acid bacteria and yeasts and molds. The consumption test showed that the pasteurization of chakpalo has an influence on its sensory attributes which are very different according to the different groups of consumers.

**Keywords:** Chakpalo, maize, consumption, pasteurization, fermentation, quality.

**Résumé :** Le chakpalo est une bière traditionnelle du Bénin à base des céréales de sorgho et/ou du maïs. L'objectif de cette étude est d'identifier le système de production, de caractériser le chakpalo du point de vue physico-chimique, microbiologique et sensorielle et de stabiliser le chakpalo à base de maïs. Une enquête a été réalisée dans la zone originelle de production (Dassa Zoumé) sur la production et la commercialisation du chakpalo à base de maïs. Des échantillons de chakpalo produits ont été soumis aux analyses physicochimique, microbiologique et sensorielle. Les résultats ont montré que la production de chakpalo est une activité exclusivement féminine. Quatre types de chakpalo ont été identifiés en relation avec la matière première utilisée pour la production : chakpalo d'un mélange maïs/sorgho, chakpalo de sorgho, chakpalo de maïs et chakpalo du riz. Selon les productrices, un bon chakpalo est de couleur brunâtre, peu acide et légèrement alcoolisé. Au cours du processus de fermentation, la teneur en protéines et en extraits secs solubles ont significativement ( $p < 0,05$ ) diminué, tandis que la charge en bactéries lactiques et levures ainsi que l'acidité titrable ont significativement ( $p < 0,05$ ) augmenté. Le chakpalo à base de maïs obtenu est un produit acide ayant un pH de 4,11, une acidité titrable de 0,09 g/100g (d'acide lactique). Il a une teneur en extrait sec soluble de 9,40°brix et taux d'alcool de 3,36%. Après pasteurisation, le chakpalo à base de maïs a un pH

de 4,0, un extrait sec soluble de 9,73 °brix significativement ( $p < 0,05$ ) différentes de celles du chakpalo non pasteurisé. La flore microbienne dominante est constituée de bactéries lactiques et de levures et moisissures. Le test de consommation a montré que la pasteurisation du chakpalo a une influence sur ses attributs sensoriels qui sont bien distincts selon les différents groupes de consommateurs.

**Mots clés:** Chakpalo, maïs, consommation, pasteurisation, fermentation, qualité.

## 1. Introduction

Le maïs (*Zea mays* L.), le sorgho (*Sorghum bicolor*, *Sorghum vulgare*, *Sorghum guineense*) et le mil (*Pennisetum glaucum*) sont les principales céréales utilisées comme matières premières au cours de la production de boissons traditionnelles fermentées en Afrique (Dossou et al. 2014 ; N'Guessan et al. 2016). En Afrique ces boissons sont principalement des bières (Nout, 1980 ; Iwuoha et Eke, 1996). La bière de sorgho et celle du maïs sont connues sous diverses appellations telles que *pito* ou *burukutu* au Ghana et au Nigéria, *otika* au Nigéria, *dolo* au Burkina Faso, *busaa* au Kenya *tchoukoutou* au Bénin et *chakpalo* en côte d'ivoire et au Bénin, *doro* du Zimbabwe, *Bili-bili* au Tchad et *Ikagage* au Rwanda, *Malawa maize beer au Malawi et Zambie* (Kayodé et al. 2007 ; Sawadogo-Lingan et al., 2007 ; Kutyauro et al. 2009 ; Yao 2009 ; Mbajiuka et al. 2010 ; Osseyi et al. 2011 ; Desobgo et al. 2013 ; Lyumugabe et al. 2013 ; Dossou et al. 2014 ; N'Guessan et al. 2016).

Le chakpalo est une bière, faiblement alcoolisée qui se consomme frais. Elle est préparée selon un procédé traditionnel qui comporte principalement une étape de fermentation spontanée d'un moût obtenu à partir du maïs germé, du sorgho germé ou même du mélange de ces deux céréales germées avec une grande quantité d'eau (Dossou et al. 2014). La préparation du chakpalo remonte très loin dans le temps. Le chakpalo semble avoir été introduire au Bénin à partir du Nigéria où l'on connaissait depuis fort longtemps la technologie de production du *burukutu* à partir du mil existe depuis fort longtemps (Nago, 1989). La production du chakpalo a d'abord pris place dans la région centrale du Bénin (Dassa, Savè, Savalou, Pira) avant de se répandre progressivement dans le reste du pays grâce aux flux migratoires des populations et aux échanges commerciaux (Nago, 1989, Dossou et al. 2015). Selon la tradition orale, en langue locale *Idaatcha*, le mot « *tchakparo* » dériverait de l'expression « *tchakpa iro* » ; qui signifierait « la bouillie du génie de la forêt » et par extension « la boisson du génie », car la technologie du chakpalo

aurait été livrée aux hommes par un génie de la forêt (Dossou et al. 2014).

De plus, selon Dossou et al. (2006) la production de chakpalo comporte de nombreuses contraintes technologiques qui affectent la qualité et la compétitivité du produit fini. De nos jours, le maltage, le brassage et la fermentation spontanée du moût sont généralement les trois étapes de la production du *tchakpalo* (Dossoumoun, 1981 ; Okoumansoun, 1984 ; Ategbó, 1985 ; Nago, 1989 ; Adjadi et al. 2015). Le maltage, vieille technique utilisée pour la production de nombreuses autres boissons traditionnelles au Bénin, (Kayodé et al. 2005, Dossou et al. 2011), consiste en un mécanisme de transformation biochimique des grains et de synthèse des enzymes et permet de réduire à des valeurs insignifiantes les proportions de composés toxiques et de facteurs antinutritionnels tels que les tannins et les glucosides cyanogéniques que l'on retrouve dans les grains de sorgho (FAO, 1995). Malgré les avancées technologiques réalisées par le monde dans le domaine de la brasserie industrielle, la qualité de cette bière traditionnelle est demeurée variable due au changement du goût et son aspect au cours du temps. Les conditions de production et de distribution du chakpalo ne permettent pas sa conservation sur une longue durée. Des essais de stabilisation du chakpalo ont été réalisés avec divers agents de conservation tels que le froid, la chaleur et divers additifs chimiques comme le saccharose, l'acide citrique et l'acide ascorbique (Ategbó, 1985 ; Nago, 1989 ; Nago et al. 1998). Cependant, la durée de conservation du chakpalo reste toujours limitée. En effet pour stimuler la promotion de cet important produit fini, la maîtrise de la fermentation et de la stabilité du chakpalo doit être considérée comme une importante question de la recherche. L'ensemble de ces contraintes justifie la présente étude, qui vise la production, la caractérisation et la stabilisation du chakpalo à base de maïs par un traitement thermique (pasteurisation) après la fermentation. Plus spécifiquement, il est question d'identifier les différents procédés traditionnels de production, de caractériser les paramètres physico-chimiques, microbiologiques du chakpalo à base de maïs et d'en évaluer la qualité sensorielle.

\* Auteur Correspondant : [m.egounlety@yahoo.com](mailto:m.egounlety@yahoo.com)

Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin



## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Choix de la zone d'enquête et échantillonnage des acteurs

L'enquête a été conduite auprès des productrices de chakpalo de maïs ou de maïs /sorgho du 25 Mars au 5 Avril 2016 dans la commune de Dassa-Zoumé située entre 1°90' et 2°40' longitude Est puis 7°20' et 8°10' latitude Nord (Figure 1). Cette zone est située dans le département des Collines, dans la région centrale du Bénin. Le choix de cette zone est justifié par le fait que le chakpalo est une boisson fermentée des groupes socioculturels Idaatcha et Nago.

Des entretiens structurés ont été réalisés avec les productrices à l'aide d'un questionnaire. L'enquête a permis de collecter des données plus spécifiques sur les caractéristiques socioculturelles (âge, niveau d'éducation, groupes socioculturels, etc.), la technologie de production de chakpalo, les équipements utilisés, les problèmes liés à la fabrication et la conservation.

La taille de l'échantillon a été déterminée selon la méthode de boule de neige (Hongbété et Kindossi, 2017). Un échantillonnage de trente-huit (38) productrices du chakpalo a été effectué dans la zone d'enquête où l'activité de production du chakpalo de maïs et/ou du mélange maïs sorgho est plus importante.

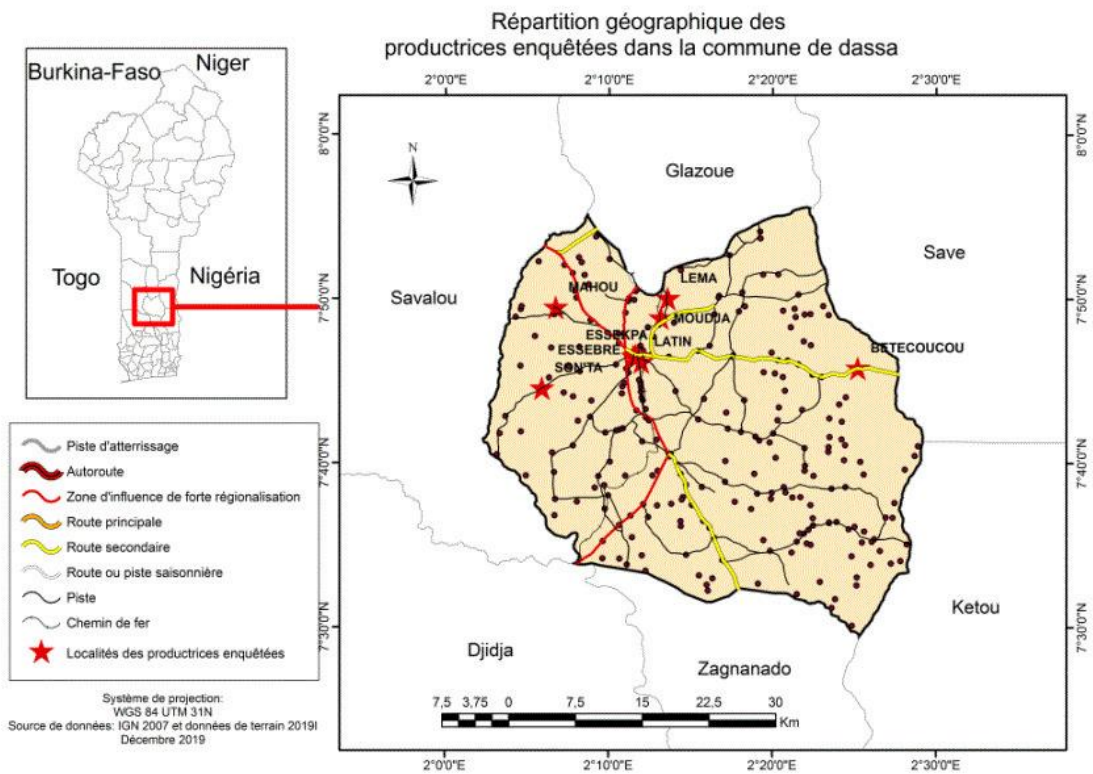


Figure 1: Carte de la commune de Dassa Zoumé

Figure 1. Dassa-Zoume municipality map

### 2.2. Méthodologie de suivi de production et de caractérisation

#### 2.2.1. Matériel végétal

La matière première utilisée est le maïs de la variété *Moungangui* dite l'endurant acheté à l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB). Il a été

choisie à cause de ses caractéristiques. Toutes les zones agro-écologique du pays sont recommandés pour sa production à cause de sa disponibilité, il a un cycle de 90 jours, le poids de mille grains est 320 grammes, le recouvrement de l'épi est très bon, le rendement est de 4 t/ha. Le maïs est de couleur blanche (INRAB/MAEP, 2010).

### 2.2.2. Expérimentation du trempage

Le trempage est une étape prépondérante du maltage, qui procure l'eau et l'oxygène à la graine pour une bonne germination. Trois répétitions ont été faites afin de connaître la durée maximale de trempage, 5 g de grains de maïs ont été répartis dans chaque pot et trempés dans 300 ml d'eau à la température ambiante selon Dossou et al. (2014). Après différentes durées retenues (10 min, 20 min, 2 h, 3 h...12 h), les grains de chaque pot ont été mis à l'étuve à 105°C pour la détermination de la teneur en eau (AACC, 1984).

### 2.2.3. Essai de production du chakpalo

La production du chakpalo a suivi les 3 grandes opérations que sont : le maltage, le brassage, et la fermentation. La préparation du chakpalo a été réalisée selon la méthode de Dossou et al (2014) décrite comme suit : Cinq kilogrammes de grains de maïs ont été trempés dans l'eau à la température ambiante durant 12 heures pour accroître la teneur en eau des grains afin de favoriser une bonne germination. A la fin du trempage, les grains trempés sont lavés et égouttés, maintenus dans un panier recouverts d'une toile mousseline pendant 20 h pour la pré-germination, sous étape très importante de la germination qui permet la levée des plantules. Ensuite les graines en cours de germination sont étalées sur des sacs de jute en fine couche pendant 72 h, recouvertes d'autres sacs de jutes et soumises à un arrosage quotidien toutes les 5 h, par aspersion d'eau pendant toute la durée de germination. Cet arrosage a pour but d'empêcher le dessèchement des graines et leur confère l'humidité relative nécessaire à une bonne germination. Le malt vert obtenu à la fin de la germination, est étalé sur des plateaux et séché à l'étuve à 60°C pendant 8 h pour permettre aux enzymes d'hydrolyser le résidu d'amidon contenu dans les graines et de libérer les sucres fermentescibles, indispensables au brassage de chakpalo. Le malt de maïs ainsi produit est grossièrement moulu dans un moulin à maïs, additionné avec d'eau et mélangé jusqu'à l'obtention d'une pâte moyennement consistante. Cette pâte est laissée pendant 4 heures environ avant qu'elle ne soit délayée dans l'eau dans une proportion d'environ un (01) kg de farine pour trois (03) L d'eau. Le mélange appelé (maiche) est remué, homogénéisé et laissé décanter pendant environ 2h à la température ambiante. A la fin de la décantation, deux phases sont obtenues, le décantât 1 (le dépôt 1) et le surnageant 1. Le décantât 1 est séparé du surnageant 1. Ensuite, le décantât 1 est porté à ébullition pendant 2 h 30 min environ. Le produit de cuisson est mélangé au surnageant 1. Le mélange est laissé au repos pendant 11 h. Le surnageant 2 est séparé du dépôt 2. Le dépôt 2 est recueilli et porté à ébullition pendant 2 à 3h avant d'être refroidi et filtré. Le filtrat est mélangé au surnageant 2 et porté à ébullition pendant 1 à 2h de temps pour donner le moût sucré qui est filtré et conditionné dans un

bidon de fermentation pendant 24-48 heures à la température ambiante. Le chakpalo obtenu après 48 h de fermentation est conditionné dans des bouteilles de 25 cl puis capsulé à l'aide d'un capsuleur et soumis à une pasteurisation à 60°C pendant 1 h dans un bain marie de marque NB301 (N-BIOTEK Co., Ltd, Korea), gradué de +5°C à 100 °C, avec une précision de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ , et d'une capacité volumétrique de 12 litres.

### 2.2.4. Collecte d'échantillons

Des échantillons de grains de maïs, du malt de maïs, du moût sucré et de chakpalo au cours des deux essais de production ont été prélevés pour des analyses microbiologiques et physicochimiques.

### 2.2.5. Analyses microbiologiques

Ces analyses microbiologiques visent à dénombrer les principaux germes microbiens susceptibles d'être retrouvés dans le moût sucré et le chakpalo. Ainsi, la flore aérobie mésophile totale (ISO 4833, 2003), les bactéries lactiques (ISO 15214,1998), les levures et moisissures (NB ISO7954-2006) et les entérobactéries (ISO 21528-2, 2004) ont été dénombrées.

### 2.2.6. Analyses physicochimiques

La teneur en matière sèche est déterminée par séchage à l'étuve Heraeus T5042 à 105°C pendant 72 h, suivi de pesée différentielle suivant la méthode AACC 44-15A (AOAC, 1984). Le pH et l'acidité titrable sont déterminés suivant la méthode AACC 02-31.01 (AOAC, 1984). La teneur en protéines a été déterminée selon la méthode AOAC (1995). La détermination des extraits secs solubles des échantillons est réalisée à l'aide d'un réfractomètre (Sopelem 9596, France) et exprimé en degré Brix. Une goutte de moût ou du chakpalo a été déposée sur la lentille du réfractomètre et la lecture a été faite directement à la température ambiante après exposition à la lumière. Le taux d'alcool a été déterminé à l'aide d'un ébulliomètre par Mounir et al. (2016).

### 2.2.7. Analyse sensorielle

Un test axé sur le consommateur a été effectué sur le chakpalo non pasteurisé et celui pasteurisé. Ce test a visé à fournir des renseignements sur les caractéristiques organoleptiques du chakpalo et les préférences des consommateurs, ainsi que sur les caractéristiques pour l'acceptabilité du produit. Un test hédonique d'une échelle de 9 points allant de « Extrêmement désagréable » à « Extrêmement agréable » a permis aux consommateurs d'apprécier l'apparence, le goût (acide, sucré) et l'acceptabilité globale des deux échantillons. Ce test a été réalisé à l'Université d'Abomey Calavi avec un panel constitué de 30 dégustateurs rencontrés au hasard pour identifier les variations entre les différents produits et pour obtenir les informations sur leurs préférences.

## 2.2.8. Analyses statistiques

Les données ont été analysées en se servant de la statistique descriptive. Ainsi, les moyennes, les écarts types ont été calculés au moyen de l'Excel du Microsoft 2007. Les données de l'enquête collectées auprès des productrices et celles des tests de consommation ont été saisies et traitées à l'aide du logiciel Sphinx survey plus<sup>2</sup> version 5.1. Le logiciel XLSTAT version 2015 a été utilisé pour analyser les résultats de tests de dégustation par une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Ensuite le logiciel STATISTICA version 7.1 a été utilisé pour faire une ANOVA sur les variables physico-chimiques et microbiologiques.

La significativité de la différence entre les échantillons a été déterminée au seuil de 5%.

Les relations entre les variables physico-chimiques et microbiologiques ont été déterminées à travers une corrélation de Pearson.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Profil socio culturel des productrices

La production ou la commercialisation du chakpalo de maïs est une activité exclusivement réalisée par les femmes (100%) dont 95% sont mariées. Environ 97,5% des productrices sont âgées de 26 à 65 ans et les autres ont un âge compris entre 18-25 ans. Les productrices de chakpalo interviewées appartiennent strictement au groupe socioculturel Idaatcha. La majorité des productrices sont des chrétiennes (87,5%). Les animistes et musulmanes représentent 12,5%. En général, elles ont un faible niveau d'instruction dont la plupart d'entre elles (55% des enquêtées) sont analphabètes, 27,5% ont le niveau primaire et 17,5% sont alphabétisées en Idaatcha. La production de chakpalo de maïs et/ou du mélange maïs/ sorgho est une activité qui se transmet de génération en génération ; ceci a été confirmé par 90% des productrices interviewées. Par conséquent, une mère ; ou une tante productrice de chakpalo transmet la technologie à sa fille dès son adolescence afin de perpétuer cette activité au sein de la famille. La production de chakpalo est bien développée dans la commune de Dassa-Zoumè où elle constitue l'activité principale de 80% des productrices interviewées qui en tirent l'essentiel de leur revenu. Des études de caractéristiques socioéconomiques des acteurs des activités de production et de commercialisation des produits alimentaires de rue au Bénin sont fréquemment assurées par les femmes généralement peu instruites (Kindossi et al. 2012 ; Dossou et al. 2015 ; Hongbété et al. 2017 ; Hongbété et al. 2018). L'enquête a enregistré surtout des productrices/vendeuses et des productrices/grossistes qui livrent le produit fini à des revendeuses. Des productions domestiques sont également enregistrées pour l'autoconsommation, pour les cérémonies, les festivités et manifestations populaires. De même, Kayodé

et al. (2007) ont souligné que ces bières traditionnelles sont considérées comme des boissons spirituelles utilisées lors des festivités endogènes.

Quatre types de chakpalo sont connus: chakpalo produit à base de maïs, chakpalo produit à base de sorgho, chakpalo produit à base de riz et chakpalo produit à base du mélange maïs/sorgho. Soixante pourcent des productrices interviewées ont déclaré que la production de chakpalo dépend de la disponibilité et du prix d'achat de la matière première. Certaines productrices (37,5%) ont mentionné que le chakpalo est aussi connu sous l'appellation « Otioka ».

### 3.2. Production de chakpalo

#### 3.2.1. Type et qualité de la Matière première utilisée

Toutes les productrices interviewées (100%) ont déclaré qu'elles n'utilisent que le maïs et le sorgho comme matières premières pour la production du chakpalo. La somme de certaines fréquences en pourcentage calculées est supérieure à 100%. Ce pourcentage est dû au fait que les productrices interviewées utilisent plusieurs matériels, plusieurs matières premières ou effectuent les mêmes opérations avec plusieurs matériels. Lors de la production du chakpalo, les productrices les utilisent seuls ou en combinaison. Ainsi, le mélange maïs et sorgho est utilisé par la plupart des productrices de chakpalo (92,50%), 57% d'entre elles utilisent le maïs seul tandis que 58,4% des productrices interviewées utilisent le sorgho seul. Le maïs et le sorgho sont généralement achetés au marché (90% des productrices interviewées) ou sont prélevés de leurs réserves de production agricole (10% des productrices interviewées). Pour Dossou et al. (2015), le sorgho est la seule et principale matière première utilisée dans la production de chakpalo dont les sources d'approvisionnement varient d'une productrice à une autre. Selon les productrices la combinaison des matières premières pour la production de chakpalo est très économique compte tenu du prix de sorgho qui est plus élevé que celui du maïs. Le Tableau 1 présente les critères de qualités définies par les productrices. Selon les productrices de chakpalo, le critère de qualité utilisé pour le choix de la matière première est la couleur (blanche pour le maïs (82,5% des productrices interviewées) et rouge pour le sorgho (47,3% des productrices interviewées). Kayodé et al. (2007) et Dossou et al. (2015) ont notifié que le chakpalo est issu d'un sorgho rouge ou marron. De plus, le grain doit être intact, c'est-à-dire dépourvu de charançon (57,5% pour le sorgho, 67,5% pour le maïs), bien sec (30% pour le sorgho, 60,0% pour le maïs), exempt de corps étrangers c'est-à-dire sans cailloux ou autres déchets organiques (30% des productrices interviewées). Ces qualités de la matière première sont continuellement recherchées pour un produit fini de qualité (Dossou et al. 2011, Hongbété et al. 2017) .

Cinquante pourcent (50%) des productrices interviewées ont signalé qu'elles introduisent des panicules de sorgho et/ou gaine foliaire de sorgho pour modifier la couleur blanchâtre de chakpalo de maïs en couleur brune très appréciée par les consommateurs.

Tableau 1 : Pourcentage des productrices ayant évoqué les critères de qualité de la matière première.

Table 1. Percentage of producers who mentioned the raw material quality criteria

Critère de qualité	Productrices interviewées (%)	
	Maïs	Sorgho
Couleur blanche	82,5	0
Couleur rouge	0	47,5
Absence de charançon	67,5	57,5
Bien sec	60	30
Absence de corps étrangers	30	30

### 3.2.2. Capacité de production

La quantité de matière première utilisée pour la production de chakpalo varie selon les productrices. Ainsi, elle varie de 10 à 80 kg par semaine pour la production de chakpalo chez 95% des productrices interviewées pour le chakpalo de maïs et 52,5% des productrices interviewées pour le chakpalo de sorgho.

La plupart des productrices interviewées (94,5%) ont déclaré qu'un (01) kilogramme de maïs transformé donne environ 3,95 litres de chakpalo alors qu'un (01) kilogramme de sorgho donne environ 2,75 L de chakpalo. Cette valeur est comparable à celle trouvée par Dossou et al. (2015) qui indique qu'un kilogramme de sorgho donne environ 2,5 litres de chakpalo. De même pour 95% des productrices, une bouteille de 1,5 litres de chakpalo coûte 300 F CFA (soit environ 50 centimes d'Euro). Ainsi, la quantité de chakpalo produit par semaine varie de 40 à 320 litres suivant le type de chakpalo et la catégorie de productrices (grossiste ou détaillante). La production du chakpalo augmente surtout pendant la saison sèche et les grandes cérémonies. En effet, 40 à 80 litres de chakpalo par semaine sont produits par seulement 7,5% de productrices interviewées de chakpalo de maïs et de 2,5% de productrices de chakpalo de sorgho-maïs. Ensuite 84 à 200 litres de chakpalo sont produit par 75% de productrices de chakpalo de maïs et 40% de productrices de chakpalo de maïs-sorgho. Enfin 204 à 320 litres sont produite par 22,5% de productrices de chakpalo de maïs et 10% de productrices de chakpalo de maïs-sorgho. La majorité des productrices interviewées (84%) ont déclaré qu'elles effectuent 1 à 2 fois la production de chakpalo par semaine.

### 3.2.3. Durée de conservation

Selon les productrices interviewées, le chakpalo peut être conservé à la température ambiante pendant environ 3 à 4 jours en fonction du type de chakpalo ; c'est ce que déclarent 88,5% des productrices de chakpalo de maïs et 80% des productrices de chakpalo de sorgho-maïs. Les productrices ont évoqué qu'au bout du 5<sup>ème</sup> jour, il faut réchauffer le chakpalo afin de réduire le goût acide. Environ 8,5% des productrices de chakpalo de maïs et 10 % des productrices de chakpalo de sorgho-maïs pratiquent une durée de stockage variant entre 5 et 6 jours. Seulement 3% des productrices de chakpalo de maïs et 3,5 % des productrices de chakpalo de sorgho-maïs effectuent la conservation pendant une durée de 7 à 8 jours.

### 3.2.4. Transformation de maïs en chakpalo

La production de chakpalo est un procédé très laborieux et nécessite (100% de productrices interviewées). La production du chakpalo regroupe principalement trois (03) grands étapes : le maltage, le brassage et la fermentation (Figure 2). Le maltage débute par un nettoyage manuel et est constitué de trois principales opérations que sont le trempage, la germination et le séchage. Les grains de céréale sont vannés, et lavés dans une bassine (52% de productrices interviewées) plusieurs fois avec l'eau de pompe à motricité humaine pendant 0,5 à 1h pour éliminer les débris, cailloux et autres corps étrangers et les grains cassés pour éviter une mauvaise germination. Ensuite, les grains de céréale sont trempés dans une bassine (80% de productrices interviewées), un seau plastique (30% de productrices interviewées) ou une jarre (22% de productrices interviewées) à la température ambiante pendant 22 à 24 h (62% de productrices interviewées) pour augmenter la teneur en eau des grains jusqu'à un niveau favorable à la germination (82% de productrices interviewées). Après le trempage, les grains de céréale sont retirés, lavés et égouttés dans un panier (75,5% de productrices interviewées) ; puis maintenus dans le dispositif d'égouttage et recouverts pendant environ 11 à 13 h de pré-germination (60,5% de productrices interviewées) pour permettre un début de la levée de pousses. La germination proprement dite se réalise par étalement des grains en couche de quelques épaisseurs sur un sac de jute (65,5% de productrices interviewées), une bâche perforée (62,5% de productrices interviewées) ou une toile mousseline (50% de productrices interviewées) pendant 3 à 5 jours (84,5% de productrices interviewées) à l'abri des rayons solaires (80,5% de productrices interviewées). Des épaisseurs élevées entraînent une dégradation des grains due à l'absence d'aération.

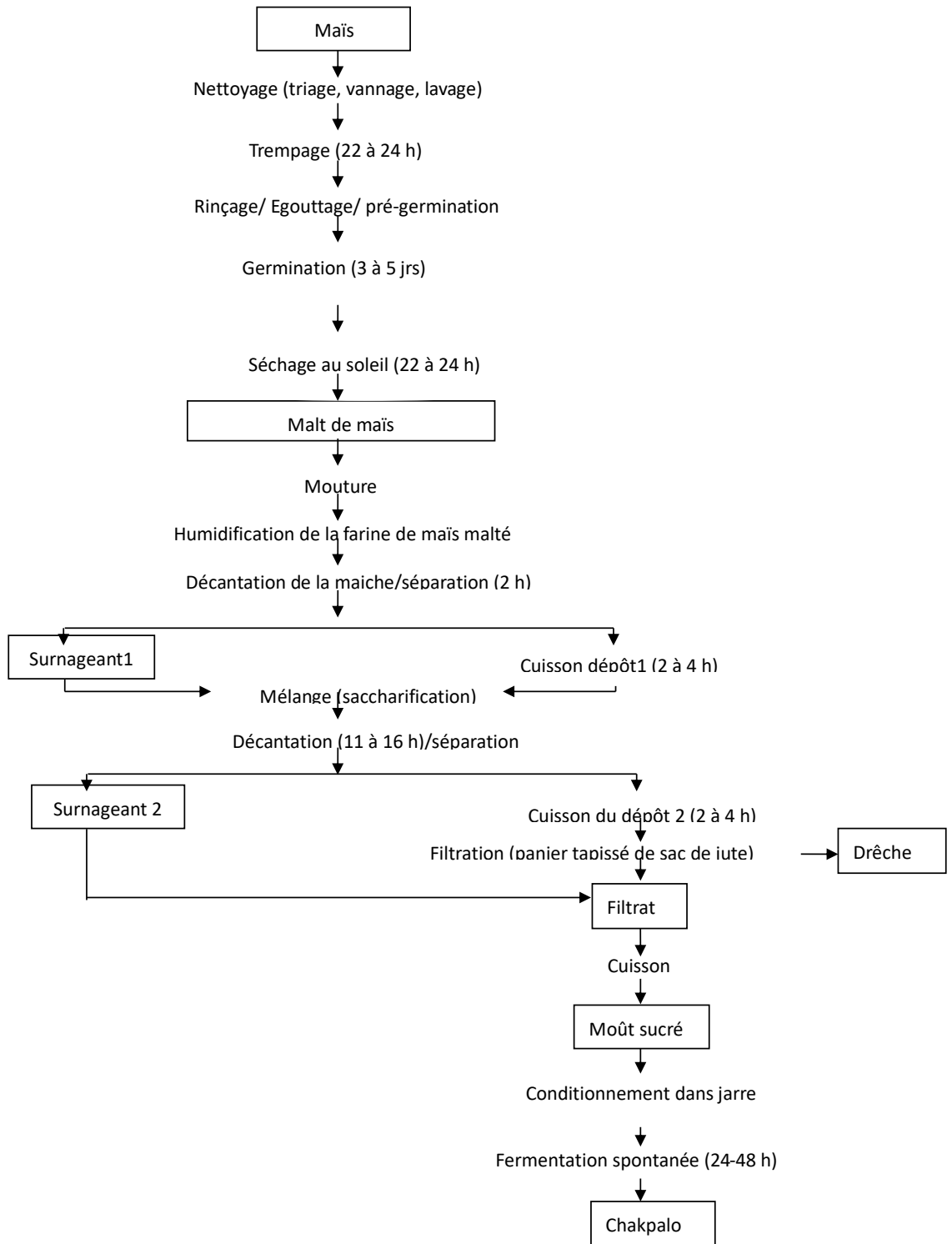


Figure 2 : Diagramme de fabrication de Chakpalo à base de maïs

Figure 2: Flow diagram of Maize Chakpalo processing

Les grains mis en germination sont ensuite recouverts d'un autre sac de jute (45% de productrices interviewées) et aspergés d'eau toutes les demi-journées (40% de productrices interviewées), pendant les 3 à 5 jours de germination pour éviter le dessèchement des grains et apporter l'humidité nécessaire. Après la germination, les grains germés sont étalés à l'air libre au soleil (80% de productrices interviewées) en couche mince sur une aire de séchage (40% de productrices interviewées), une bâche (67,5% de productrices interviewées) ou un sac de jute (45% de productrices interviewées) et laissés sécher pendant 22 à 24 h (62,5% de productrices interviewées) pour réduire la teneur en eau des grains germés (65% de productrices interviewées). Le grain de céréale trempé germé et séché est appelé malt. Le grain malté va subir le deuxième procédé qui est le brassage et comporte la mouture du malt, la préparation de la maiche, la saccharification et les différentes étapes de cuisson. Le malt est grossièrement moulu dans un moulin à maïs (100% de productrices interviewées) et recueilli dans une bassine (52% de productrices interviewées). La farine obtenue est délayée dans l'eau (100% de productrices interviewées) dans une proportion d'environ un (01) kg de farine pour trois (03) L d'eau (54,5% de productrices interviewées). Le mélange obtenu est appelé maiche, et est remué, homogénéisé et laissé décanter pendant environ 4 à 5 h (65% de productrices interviewées) à la température ambiante. A la fin de la décantation, le surnageant 1 est habilement séparé du dépôt 1 par 55% de productrices interviewées. Ensuite, une première cuisson de la maiche est réalisée au cours de laquelle une petite quantité d'eau est ajoutée au dépôt, qui est chauffé dans une marmite pendant 2 à 4 h (56% de productrices interviewées). La marmite est retirée du feu et son contenu est ajouté au surnageant initialement recueilli (52% de productrices interviewées) pour permettre l'acidification. Ce mélange est laissé au repos pendant 11 à 16 h pour une bonne saccharification et une meilleure décantation donnant le surnageant 2 et le dépôt 2 (65% de productrices interviewées). Ensuite, le dépôt 2 est chauffé dans une marmite pendant 2 à 4 h (65% de productrices interviewées). Cette cuisson est suivie d'une filtration (100% de productrices interviewées) pour séparer le drèche du filtrat. Le filtrat recueilli dans une jarre (62,5% de productrices interviewées) à travers une toile mousseline (47,5% de productrices interviewées) ou un panier tapissé de sac de jute (48,5% de productrices interviewées) est ajouté au surnageant 2 (45% de productrices interviewées) et le mélange subit une dernière cuisson dans une marmite (55% de productrices interviewées) pour donner le moût sucré du chakpalo. Le moût sucré obtenu après brassage est filtré, puis conditionné dans des gourdes (45% de productrices interviewées) fréquemment utilisées pour la fermentation spontanée du

chakpalo pendant 24-72 heures (55% de productrices interviewées) à la température ambiante.

### **3.2.5. Critère d'appréciation du chakpalo**

La plupart des productrices ont apprécié le chakpalo comme étant une boisson peu alcoolisée (56% des productrices interviewées) et peu acide (45,5% des productrices interviewées). Un bon chakpalo est de couleur brunâtre, peu acide et légèrement alcoolisé. Pour certaines productrices (42%) un chakpalo très acide n'est pas de bonne qualité, aurait subi une longue fermentation ou mal produit. Pour Kayodé et al. (2007) et Dossou et al. (2015) le goût et le degré d'alcool ont été appropriés comme les critères essentiels de qualité utilisées par les consommateurs pour apprécier certaines bières traditionnelles (tchoukoutou, dolo et chakpalo).

## **3.3. Commercialisation de chakpalo**

### **3.3.1. Facteur influençant le prix de vente de chakpalo**

Le prix de vente du chakpalo dépend du prix d'achat de la matière première (97,5% des productrices interviewées) et de la période de forte demande surtout pendant la saison sèche et la période des événements particuliers (55% des productrices interviewées).

### **3.3.2. Niveau de demande et lieu de vente**

Le niveau de demande du chakpalo est variable. En effet, 92,5% des productrices interviewées ont estimé que le niveau de la demande de la moyenne est de 162 litres par semaine alors que 2,5% d'entre elles ont révélé que la demande courante est faible.

Le chakpalo est une boisson rafraichissante qui se vend dans les rues (82,5% productrices interviewées), au marché (70% productrices interviewées) et dans les maisons (37,5% productrices interviewées).

## **3.4. Système technologique de production et caractérisation physicochimiques et microbiologique**

### **3.4.1. Evolution de la teneur en eau des grains de maïs au cours du trempage**

Cette étude a été réalisée dans le but de déterminer la durée maximale de trempage des grains de maïs de la variété Mounngui. Selon Dossou et al. (2014), le trempage des grains de sorgho est l'une des étapes importantes du maltage puisqu'il apporte aux grains de maïs l'eau et l'oxygène nécessaire pour sa bonne germination. La Figure 3 présente le suivi de la teneur en eau des grains au cours du trempage montrant la vitesse d'absorption d'eau des grains de maïs réalisé à la température ambiante.

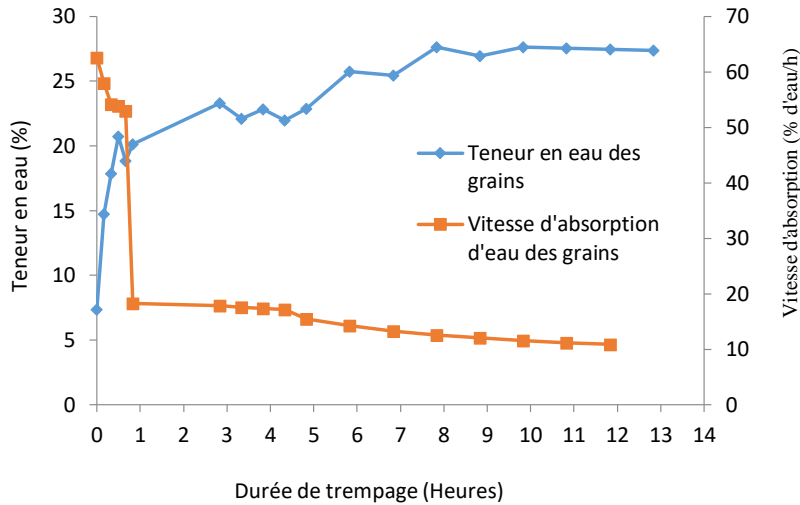


Figure 3: Evolution de la teneur en eau et la vitesse d’absorption d’eau au cours du trempage du maïs

Figure 3: Evolution of water content and speed of water absorption during the soaking of maize

L’absorption d’eau par les grains, présente trois phases dont une phase d’absorption rapide de l’eau suivie d’une phase d’absorption lente et d’une phase d’absorption constante. La teneur en eau initiale des grains de maïs est passée rapidement de 7,36 à 20,12 % après 50 minutes de trempage et à 27,4 % en fin de trempage, 12 heures. Le grain de maïs absorbe près de 44,15 % d’eau au cours des 50 premières minutes de trempage. L’élévation de l’eau dans le grain (52,99 % d’eau/h) est très élevée en début de trempage à 50 minutes à cause de la vitesse d’absorption rapide du grain de maïs et devient faible en fin de trempage (11,20 % d’eau/h) au cours des 11 dernières heures ce qui est dû à une diminution de l’absorption de l’eau. Cette observation d’accélération de la vitesse d’absorption d’eau au début du trempage est conforme à celle obtenue par Dossou *et al.* (2014) au cours du suivi de la teneur en eau des grains de sorgho pendant le trempage. D’autres part ces auteurs ont observé qu’après 8 heures de trempage, les grains de sorgho n’absorbent quasiment plus d’eau. L’absorption d’eau est demeurée particulièrement lente voire presque constante au cours des dix dernières heures de trempage à 25 °C.

**3.4.2. Profil physique des grains de maïs et caractéristiques physicochimiques du malt de maïs**

Le Tableau 2 présente les teneurs en matière sèche et en protéine du malt de maïs utilisés pour la production de chakpalo.

La matière sèche du malt de maïs est de 91,81 ± 0,02 g/100 g ; donc la teneur en eau est d’environ 8%. Le séchage à 60°C pendant 8 h à l’étuve permet d’obtenir

un produit suffisamment sec. Ce malt obtenu est donc prédisposé à une bonne conservation. Il reste que des tests de conservation soient effectués pour le confirmer.

La teneur en protéine du malt de maïs est de 9,08 ± 0,01 g/100 g. Cette teneur en protéine est très avantageuse pour l’amélioration de la valeur nutritionnelle du chakpalo.

Tableau 2 : Teneurs en matière sèche et en protéine du malt de maïs

Table 2. Dry matter and protein contents of maize malt

Paramètres	Moyenne ± Ecart type
Teneur en matière sèche du malt de maïs (g/100g)	91,81 ± 0,02
Teneur en protéine de malt de maïs (g/100g. MS)	9,08 ± 0,01

### 3.5. Changements microbiologiques et physico-chimiques du moût sucré du chakpalo de maïs au cours de la fermentation

#### 3.5.1. Evolution microbienne du moût sucré au cours de la fermentation

Le Tableau 3 présente l'évolution de la flore microbienne du moût sucré pendant 48 h de fermentation. La charge de la flore aérobie mésophile totale a augmenté de 7,4 Log (ufc/ml) à 9,5 Log (ufc/ml) de 0 à 48 h de fermentation. La charge des bactéries lactiques a augmenté de 7,8 Log (ufc/ml) à  $9,45 \pm 0,46$  Log (ufc/ml) de 0 à 48 h de fermentation. La charge des levures et moisissures a augmenté 7,5 Log (ufc/ml) à 9,5 Log (ufc/ml) de 0 à 48 h de fermentation.

L'analyse de variance a révélé que la durée de fermentation a une influence significative sur la charge des bactéries lactiques et des levures et moisissures. Ainsi, au cours du processus de fermentation, les charges en bactérie lactiques et levure ont significativement ( $p < 0,05$ ) augmenté de 24 h que leurs charges initiales. Toutefois, aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) des charges en bactéries lactiques et en levures et moisissures n'est observée entre 24h et 48 h de fermentation.

L'évolution au niveau des différentes flores citées témoigne de l'activité et de l'aptitude de flore aérobie mésophile totale, bactéries lactiques et levures et moisissures à se développer dans le moût sucré. L'augmentation progressive de la charge des bactéries lactiques et des levures et moisissures enregistrée au cours du processus de fermentation est en accord avec les résultats des études antérieures sur mawè (Hounhouigan et al. 1993) et sur le gowé (Vieira-Dalode, 2008). Louembe et al. (1996) ont enregistré également une augmentation significative de la charge de bactéries lactiques et de levures et moisissures pendant 15 h de fermentation du potopoto, une bouillie fermentée à base de maïs.

Tableau 3 : Changement microbiologique du moût sucré au cours de la fermentation

Table 3. Microbiological change of sweet wort during fermentation

Durée de fermentation (heure)	Flore aérobie mésophile totale (Log cfu/ml)	Bactérie lactique (Log cfu/ml)	Levure et moisissure (Log cfu/ml)	Entérobactérie (Log cfu/ml)
0	7,42 ± 0,41a	7,82 ± 0,10a	7,52 ± 0,57a	<1
24	8,62 ± 0,68a	9,02 ± 0,07b	8,23 ± 0,35ab	<1
48	9,56 ± 0,27b	9,45 ± 0,46b	8,81 ± 0,02b	<1

a,b : les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différents ( $p > 0,05$ )

La charge des entérobactéries énumérées est  $<1$  Log (ufc/ml). Alors que ces microorganismes sont des indicateurs de contamination. Ce niveau de charge obtenue peut s'expliquer par les bonnes pratiques d'hygiène observées lors des manipulations. De plus, l'absence des entérobactéries peut s'expliquer par l'action des différents métabolites produits par les bactéries lactiques, métabolites ayant contribué à inhiber leur développement.

#### 3.5.2. Evolution des caractéristiques physicochimiques du moût au cours de la fermentation

Le Tableau 4 présente l'évolution des caractéristiques physicochimiques du moût sucré pendant 48 h de fermentation. La teneur en matière sèche ainsi que celle en extraits secs solubles et en protéines montrent une diminution progressive de  $8,12 \pm 0,05$  à  $7,72 \pm 0,21$  g/100g de moût sucré,  $10,1 \pm 0,07$  à  $9,40 \pm 0,00$  °brix, et  $9,47 \pm 0,67$  à  $2,50 \pm 2,21$  g/100g respectivement. La diminution de la teneur en matière sèche n'est pas significative ( $p > 0,05$ ) au cours des 48 h de fermentation alors que celle des extraits secs solubles est significative ( $p < 0,05$ ) à partir de 24 heures de fermentation. Cette réduction des extraits secs solubles est probablement le résultat de l'activité microbienne, montrant qu'au cours de la fermentation les bactéries lactiques et levures et moisissures utilisent la matière puis produisent de l'eau au cours des réactions métaboliques (Hounhouigan et al. 1993). Pour la même dynamique de fermentation, Nanadoum et al. (2006) et Djê et al. (2008) ont observé également une diminution progressive mais non significative ( $p > 0,05$ ) des extraits secs solubles pendant 8 h de fermentation du tchapalo de la côte d'ivoire et du bili bili, une bière traditionnelle du Tchad respectivement. Ils ont aussi attribué cette diminution à l'utilisation de ces matières par les microorganismes impliqués dans les produits.

La diminution du pH est très lente durant l'évolution de fermentation. En effet, le pH décroît de  $4,19 \pm 0,01$  à  $4,11 \pm 0,01$  à la fin de la fermentation. Ensuite, sa diminution est statistiquement significative ( $p < 0,05$ ) durant tout le processus de fermentation. La diminution du pH au cours des processus de fermentation serait le résultat de la production d'acides organiques. Par contre, l'acidité titrable a augmenté au cours du processus de fermentation de 0,03 à 0,09 g d'acide lactique pour 1 litre de chakpalo. Cette augmentation de l'acidité titrable n'est pas statistiquement significative ( $p > 0,05$ ) durant les 48 h de fermentation. Cet accroissement de l'acidité titrable serait attribuable à l'activité des bactéries lactiques qui dégradent les matières sèches et extraits secs solubles pour produire d'autres métabolites dont les plus importants sont l'acide lactique, l'acide acétique, l'acide citrique, l'acide oxalique (Djê et al. 2008). Aussi, a-t-il été rapporté qu'une faible diminution du pH après 12 h de fermentation des farines de mil non malté (Abdalla et al. 1998) serait due à l'utilisation



des acides organiques par les levures. Selon Akinrele (1970) ce phénomène serait lié à l'utilisation de l'acide lactique par les levures. Toutefois, l'acide produit abaisse le pH et la plupart des microorganismes notamment les pathogènes sont incapables de se développer dans un tel milieu garantissant ainsi la qualité sanitaire du produit (Aka et al. 2008). Cependant ce produit acide est favorable au développement des levures qui assurent la fermentation alcoolique sans modifier le pH, l'acidité titrable, les minéraux et les protéines. La légère augmentation de 2,5% de la teneur en protéines dans le chakpalo n'est pas négligeable sur le plan nutritionnel. Aussi, Nanadoum et al. (2006) ont également observé que le pH n'évolue pas significativement au cours du processus de fermentation alcoolique de bilibili, bière traditionnelle tchadienne. La grande différence entre le moût sucré et le chakpalo se situe au niveau de la teneur en sucres qui varie significativement au cours de la fermentation alcoolique. En effet, durant cette fermentation, les levures utilisent les sucres fermentescibles qu'elles transforment en alcool et en

dioxyde de carbone (Djê et al. 2008 ; Aka et al. 2008. N'guessan et al. 2011).

### 3.5.3. Corrélation entre les paramètres physicochimiques et la population microbienne

Le Tableau 5 présente l'existence d'une corrélation significative entre l'augmentation de la population microbienne et les paramètres physicochimiques. Les bactéries lactiques sont significativement ( $p < 0,05$ ) et positivement corrélées avec les levures et moisissures ( $r=0,80$ ). Cette corrélation indique que l'évolution des bactéries lactiques semble s'accompagner d'un développement des levures. Selon Steinkraus (2002), cette corrélation serait le résultat d'une association symbiotique entre les levures et les bactéries lactiques et que les bactéries lactiques créent un environnement acide favorable à la prolifération des levures qui produisent à tour des vitamines et d'autres composés.

Tableau 4 : Changement physicochimique du moût sucré au cours de la fermentation

Table 4. Physicochemical change of sweet wort during fermentation

Durée de fermentation (heure)	Matière sèche (g/100 g)	Extrait sec soluble (°brix)	Protéine (g/100g)	pH	Acidité titrable (g/l d'acide lactique)	Alcool (%)
0	8,12 ± 0,05a	10,1 ± 0,07a	9,47 ± 0,67a	4,19 ± 0,01a	0,03 ± 0,00a	0a
24	7,91 ± 0,06a	9,55 ± 0,07b	5,00 ± 3,53b	4,13 ± 0,00b	0,04 ± 0,04a	1,35 ± 0,18b
48	7,72 ± 0,21a	9,40 ± 0,00b	2,50 ± 2,21c	4,11 ± 0,01c	0,09 ± 0,01a	3,36 ± 0,48c

a,b,c : les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différents ( $p > 0,05$ )

Tableau 5 : Coefficients de corrélation entre les paramètres physicochimiques et la population microbienne impliquée dans le processus de fermentation de moût sucré en chakpalo

Table 5. Correlation coefficients between physicochemical parameters and microbial population involved in the fermentation process of sweet wort into Chakpalo

Variables	Flore aérobie mésophile totale	Bactéries lactiques	levure et moisissure	Matière sèche	Protéine	pH	Acidité titrable	Extrait sec soluble	Alcool
Flore aérobie mésophile totale	<b>1</b>								
Bactéries lactiques	<b>0,903</b>	<b>1</b>							
levure et moisissure	<b>0,935</b>	<b>0,801</b>	<b>1</b>						
Matière sèche	-0,675	-0,692	-0,763	<b>1</b>					
Protéine	<b>-0,886</b>	<b>-0,933</b>	<b>-0,876</b>	<b>0,855</b>	<b>1</b>				
pH	-0,661	-0,671	-0,794	<b>0,967</b>	<b>0,876</b>	<b>1</b>			
Acidité titrable	<b>0,876</b>	<b>0,916</b>	<b>0,894</b>	<b>-0,914</b>	<b>-0,977</b>	<b>-0,902</b>	<b>1</b>		
Extrait sec soluble	<b>-0,857</b>	<b>-0,951</b>	<b>-0,863</b>	0,799	<b>0,950</b>	0,807	<b>-0,965</b>	<b>1</b>	
Alcool	<b>0,931</b>	<b>0,918</b>	<b>0,878</b>	-0,794	<b>-0,977</b>	-0,808	<b>0,932</b>	<b>-0,884</b>	<b>1</b>

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $p = 0,05$

La flore aérobique mésophile totale, la charge de bactéries lactiques et levures et moisissures sont significativement ( $p < 0,05$ ) et négativement corrélées avec la teneur en protéine ( $r = -0,88$  ;  $r = -0,93$  et  $r = -0,87$  respectivement) avec les extraits secs solubles ( $r = -0,86$  ;  $r = -0,95$  et  $r = -0,86$  respectivement) et significativement ( $p < 0,05$ ) et positivement corrélées avec l'acidité titrable ( $r = 0,86$  ;  $r = 0,96$  et  $r = 0,86$  respectivement) avec la teneur en alcool ( $r = 0,93$  ;  $r = 0,92$  et  $r = 0,88$  respectivement). Ces corrélations montrent que la population microbienne utilise la matière pour leur métabolisme et produisent de l'acide lactique et de l'alcool au cours du processus de fermentation.

### 3.5.4. Caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du chakpalo témoin et du chakpalo pasteurisé

Les Tableaux 6 et 7 présentent les caractéristiques microbiologiques et physicochimiques du chakpalo témoin et de celui pasteurisé.

Les charges de flore aérobique mésophile totale, de bactéries lactiques et de levures et moisissures du chakpalo pasteurisé sont significativement ( $p < 0,05$ ) inférieure à celles du chakpalo témoin (témoin). Cette réduction de signification est due à la pasteurisation effectuée à  $60^{\circ}\text{C}$  pendant une 1 h. Les deux chakpalo sont exempts de microorganismes pathogènes (Tableau 6). L'absence des microorganismes pathogènes est due d'une part au respect des conditions d'hygiène au cours de la production et d'autre part au pH acide du chakpalo qui n'est pas favorable à leur prolifération.

Au plan physicochimique (Tableau 7), le pH ( $4,0 \pm 0,0$ ) et l'acidité titrable ( $0,08 \pm 0,00$  g/100 g d'acide lactique) du chakpalo pasteurisé sont significativement ( $p < 0,05$ ) inférieure au pH ( $4,11 \pm 0,01$ ) et l'acidité titrable ( $0,09 \pm 0,01$  g/100 g d'acide lactique) du chakpalo témoin. Alors que les teneurs en matière sèche et en extraits secs solubles de chakpalo pasteurisé sont significativement ( $p < 0,05$ ) supérieure à celles du chakpalo témoin. Cette variation est due à l'effet de la pasteurisation qui a permis la concentration de la matière.

Tableau 6 : Qualité microbiologique de chakpalo pasteurisé

Table 6. Microbiological quality pasteurized chakpalo

Chakpalo	Flore aérobique mésophile totale (Log ufc/ml)	Bactérie lactique (Log ufc /ml)	Levure et moisissure (Log ufc /ml)	Entérobactéries (Log ufc /ml)
Témoin	$9,56 \pm 0,27a$	$9,45 \pm 0,46a$	$8,81 \pm 0,02a$	<1
Pasteurisé	$6,03 \pm 0,27b$	$6,84 \pm 0,02b$	$6,72 \pm 0,30b$	<1

a,b : les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différents ( $p > 0,05$ )

Tableau 7 : Qualité physicochimiques du chakpalo pasteurisé

Table 7. Physicochemical quality of pasteurized chakpalo

Chakpalo	Matière sèche (g/100g)	Extrait sec soluble (°brix)	Protéine (g/100g)	pH	Acidité titrable (mg/100g d'acide lactique)	Alcool (% v/v)
Témoin	$7,72 \pm 0,21a$	$9,40 \pm 0,00a$	$2,50 \pm 2,21a$	$4,11 \pm 0,01a$	$0,09 \pm 0,01a$	$3,36 \pm 0,48a$
Pasteurisé	$8,90 \pm 0,55b$	$9,73 \pm 0,04b$	$3,60 \pm 3,53a$	$4,0 \pm 0,0b$	$0,08 \pm 0,00a$	$3,88 \pm 0,16a$

a,b : les moyennes avec les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différents ( $p > 0,05$ )

## 3.6. Evaluation sensorielle du chakpalo

Les deux échantillons de chakpalo témoin et de celui pasteurisé sont soumis à l'évaluation de 30 consommateurs suivant les critères : apparence, goût et l'acceptabilité globale. Ces consommateurs sont ensuite regroupés en classe selon la similitude d'appréciation des deux produits.

### 3.6.1. Evaluation de l'apparence du chakpalo de maïs perçu par les consommateurs

Les consommateurs ont évalué l'apparence du chakpalo pasteurisé et du chakpalo non pasteurisé (Figure 4). Environ 40 % et 26,70 % des consommateurs ont estimé que l'apparence des produits est un peu agréable,

33,30 % et 26,70 % des consommateurs l'ont trouvé agréable, 13,30 % et 10 % des consommateurs extrêmement agréable pour les chakpalo pasteurisé et non pasteurisé respectivement. Seulement 16,70 % des consommateurs ont jugé que le chakpalo non pasteurisé a une apparence ni agréable ni désagréable.

Les consommateurs ont trouvé que le chakpalo pasteurisé est de couleur blanchâtre (80 % des consommateurs), visqueux (20 % des consommateurs) alors que celui non pasteurisé est de couleur cendre (30 % des consommateurs), moins visqueux (33,30 % des consommateurs).

**3.6.2. Goût du chakpalo de maïs perçu par les consommateurs**

La Figure 5 présente l'évaluation du goût de chakpalo selon la perception des consommateurs. Environ 20 % et 33,33 % de consommateurs ont attribué une note de 6 (un peu agréable), 36,70 % et 23,30% des consommateurs une note de 7 (agréable), 23,3 % et 20% des consommateurs une note de 8 (très agréable) ensuite 10 % et 6,7% des consommateurs une note de 9

(extrêmement agréable) au goût de chakpalo pasteurisé et à celui non pasteurisé respectivement. Seulement 10% de consommateurs ont jugé que le chakpalo non pasteurisé a un goût ni agréable ni désagréable.

La majorité de consommateurs (63,30 %) ont préféré le goût légèrement sucré et légèrement acide du chakpalo pasteurisé contre le goût moins sucré et très acide du chakpalo non pasteurisé.

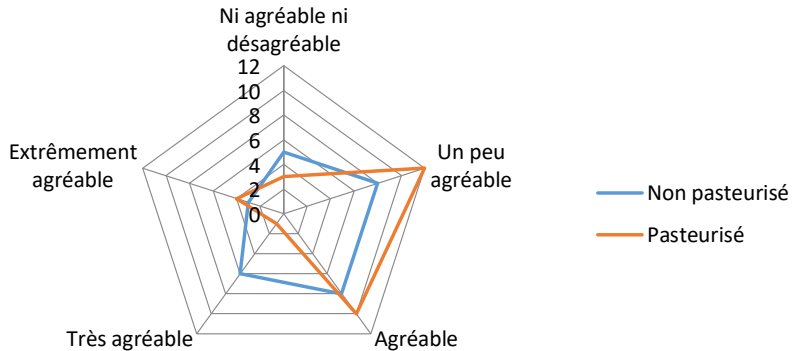


Figure 4 : Evaluation de l'apparence de chakpalo selon les consommateurs

Figure 4. Appearance Assessment of chakpalo according to consumers

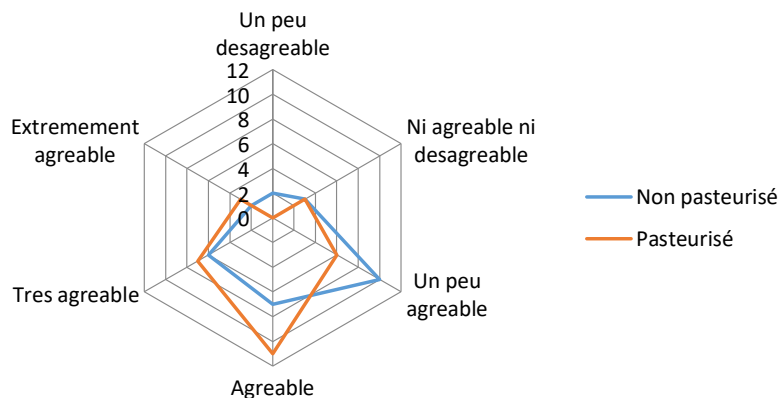


Figure 5: Evaluation du goût de chakpalo selon les consommateurs

Figure 5. Taste Assessment of chakpalo according to consumers

### 3.6.3. Acceptabilité du chakpalo

Tous les deux produits ont été appréciés pour l'apparence (scores de 6,8 sur 9 et 6,67 sur 9 pour le chakpalo non pasteurisé et le Chakpalo pasteurisé respectivement) et le goût (scores de 6,6 et 7,03 pour le chakpalo non pasteurisé et le Chakpalo pasteurisé respectivement) (Tableau 8). Pour l'appréciation globale, un score d'acceptabilité supérieur à 6 « un peu agréable » a été attribué avec une moyenne de 6,43 pour le chakpalo non pasteurisé et de 7,03 pour celui pasteurisé, soit « agréable » (Tableau 8).

Aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'est observée pour l'appréciation des deux produits. Ces résultats révèlent une acceptation de tous les attributs sensoriels de base qui caractérisent le chakpalo.

Tableau 8 : Score d'acceptabilité globale du chakpalo selon les consommateurs

Table 8. Overall acceptability score of chakpalo according to consumers

Chakpalo	Apparence	Goût	Acceptabilité globale
Non pasteurisé	6,80 ± 1,24a	6,60 ± 1,30a	6,43 ± 1,17a
Pasteurisé	6,67 ± 1,21a	7,03 ± 1,13a	7,03 ± 1,43a

a, pas de différence significative ( $p > 0,05$ )

### 3.6.4. Classification des consommateurs

L'analyse de classification ascendante hiérarchique a été réalisée pour grouper les consommateurs interviewés selon le dendrogramme (Figure 6). La classification a donné une variation d'acceptabilité des deux produits suivant le comportement des consommateurs. Ainsi, selon la méthode de Ward, le trait en pointillé présente le niveau de similarité de trois groupes de consommateurs suffisamment distincts les uns des autres. Il s'agit de groupe C1 (aiment plus chakpalo pasteurisé) constitué de 56,67% de consommateurs, groupe C2 (aiment bien chakpalo) de 30% de consommateurs et de groupe C3 (aiment chakpalo non pasteurisé) de 13,33% de consommateurs.

### 3.6.5. Appréciation des consommateurs

La Figure 7 présente l'appréciation des trois groupes de consommateurs de chakpalo issu du dendrogramme. Nous avons utilisé le point 5 « ni agréable, ni désagréable » comme un indicateur « limite d'appréciation minimum du produit ». Le produit en dessous de 5 a été considéré comme « non aimé » et au-dessus de 5 est considéré comme « aimé ». Ainsi, pour les trois groupes, les consommateurs ont été classés : « aiment plus le chakpalo pasteurisé » (56,67 % de consommateurs), « aiment bien le chakpalo » (30 % de consommateurs) et « n'aiment pas le chakpalo non pasteurisé » (13,33 % de consommateurs).

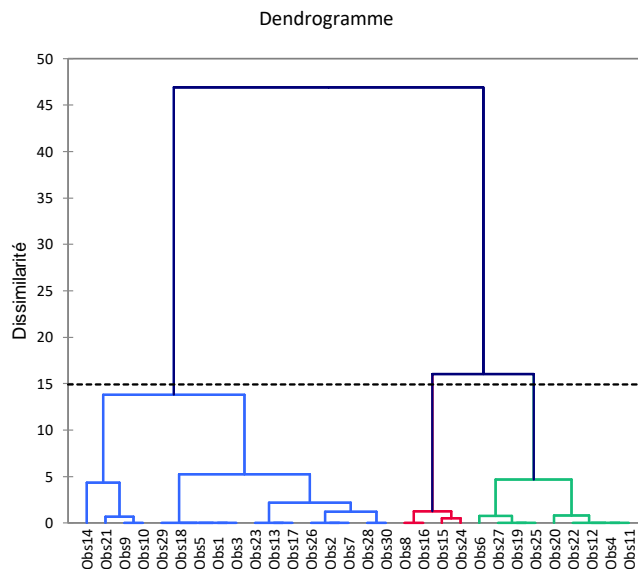


Figure 6 : Classification ascendante hiérarchique de dendrogramme des consommateurs en différents groupes suivant leur perception d'acceptabilité du chakpalo (Le trait en pointillé présente le niveau de similarité de chaque groupe de consommateurs)

Figure 6. Hierarchical clusters analysis dendrogram for segmenting consumers into group of similar acceptability perception of chakaplo (The dashed line denotes the level of dissimilarity along which each consumer group was selected)

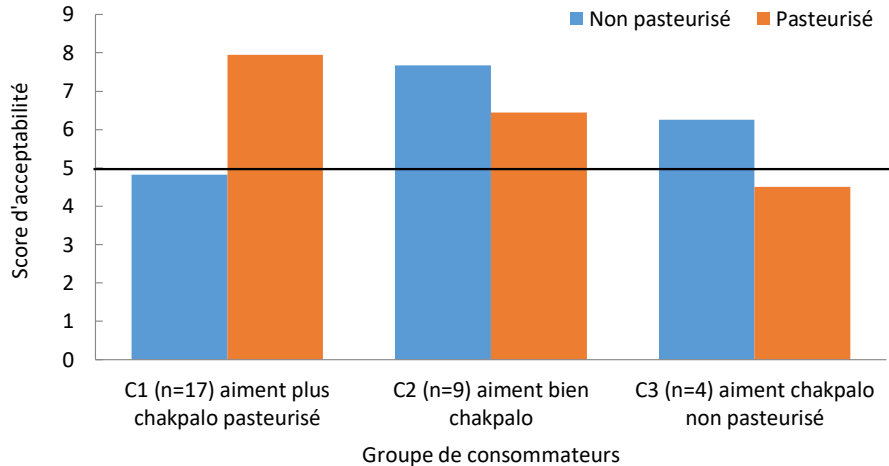


Figure 7 : Appréciation des groupes de consommateurs de chakpalo. La ligne horizontale passant par l'ordonnée 5 et correspondant à « ni agréable, ni désagréable » est un indicateur « limite d'appréciation minimum du produit »

Figure 7. Appreciation of chakpalo consumers' groups. The horizontal line passing through ordinate 5 and corresponding to "neither pleasant nor unpleasant" is an indicator "limit of minimum appreciation of the product"

#### 4. Conclusion

L'étude a permis de décrire la technologie de production du chakpalo telle que pratiquée dans sa région d'origine. La technologie de production de chakpalo comprend trois grandes opérations prépondérantes que sont le maltage, le brassage et la fermentation. Le chakpalo est produit par un nombre important de femmes engagées dans sa production et sa commercialisation. Le chakpalo obtenu a un produit acide (pH= 4,11) et une teneur en alcool variant de 3.36 à 3.88% riche en levures et bactéries lactiques exempt de bactéries pathogènes. Le test de consommation a montré que la pasteurisation du chakpalo a une influence sur ses attributs sensoriels qui sont bien distincts selon les différents groupes de consommateurs obtenus. Il serait donc important d'identifier les levures et les bactéries lactiques impliquées dans la production afin de sélectionner celles qui produiront du chakpalo désirable suivant l'exigence des consommateurs.

#### CONFLIT D'INTERET

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

#### REFERENCES

- AACC. 1984. Approved methods of the American Association of Cereals Chemists. 8<sup>th</sup> ed. St Paul. MN. USA.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington: AOAC.
- Abdalla, A. A., Eltinay, A. H, Mahamed, B. E. and Adalla, A. H.. 1998. Effect of traditional processes on phytate and mineral content of pearl millet. *Food Chemistry*, 63:79 – 87
- Aka, S., Djeni, N. D. T., N'Guessan, K. F., Yao, K. C., & Dje, K. M. 2008. Variabilité des propriétés physico-chimiques et dénombrement de la flore fermentaire du tchapalo, une bière traditionnelle de sorgho en Côte d'Ivoire. *Afrique Science*. 4(2): 274 - 286.
- Akinrele, I. A. 1970. Fermentation studies on maize during preparation of a traditional African Starch cake food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 21: 619- 625.

- Akissoe H.N, Sacca C, Declémy A-L, Bechoff A, Anihouvi V, Dalode G, Pallet D, Flidel G, Mestres C, Hounhouigan D.J, Tomlins K.I. 2014. Cross-Cultural Acceptance Of A Traditional Yoghurt-Like Product Made From Fermented Cereal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(9):1876–84.
- Ballogou, V. Y., Dossou, J. C. A. de Souza, 2011. Controlled Drying Effect on the Quality of Sorghum Malts Used for the Chakpalo Production in Benin. *Food. Nutri. Sci.* 2: 156-161.
- Chamunorwa, A.T., Feresu, S.B., Mutukumira, A.N. 2002. Identification of lactic acid bacteria isolated from opaque beer (Chibuku) for potential use as a starter culture. *The Journal of Food Technology in Africa*. 7, 93-97.
- Chevassus-Agnes, S., Favier, J.C., Joseph, A. 1979. Traditional technology and nutritive value of Cameroon sorghum beers. *Cah. Onarest.* ; 83- 112.
- Desobgo, Z.S.C., Naponni, F. Y., Nso, J. E. 2013. Caractérisation des moûts et bières du sorgho Safrari houblonnés avec *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 2 : 83-91.
- Djè M.K, N'Guessan K.F, Djeni T.N.D, Dadié T.A. 2008. Biochemical Changes during Alcoholic Fermentation in the Production of “Tchapalo”, a Traditional Sorghum Beer. *International Journal of Food Engineering*. 4(7):1-15.
- Dossou J, Ballogou V.Y, Amoussou Fagla B, Akissoé N, Daïnou O, de Souza C. 2014. Improving of traditional sorghum (*Sorghum bicolor*) malting process for chakpalo production in Benin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*. 76:30-40.
- Dossou J, Ballogou VY, Dabadé DS, Dakpo M. 2015. Analyse économique de la production artisanale du chakpalo au Bénin : aspects sociaux et facteurs déterminants de la rentabilité financière de l'activité. *Journal of Applied Biosciences*. 87:8065- 75.
- Dossou, J., V. Ballogou, C. de Souza. 2011. Étude comparative de la dynamique microbienne et de la qualité du chakpalo fermenté à levure commerciale (*Saccharomyces cerevisiae*) et au ferment traditionnel et stabilisé par pasteurisation; *J. Rech. Sci. Univ. Lomé, Série A*, 13(1): 39-51.
- Glover RLK, Abaidoo RC, Jakobsen M, Jespersen L. 2005. Biodiversity of *Saccharomyces cerevisiae* isolated from a survey of pito production sites in various parts of Ghana. *Systematic and Applied Microbiology*; 28:755-61.
- Hongbété F, Kindossi JM. 2017. Diversity and Traditional Consumption of Edible Insects in North Benin. *Journal of Scientific Research and Reports*, 14(1):1- 11.
- Hongbété F, Kindossi JM, Hounhouigan JD, Nago MC. 2018. Production et qualité nutritionnelle des épis de maïs frais bouillis consommés au Bénin. *Int J Biol Chem Sci*. 11(5):2378.
- Hongbété F, Tidjani A-K, Kindossi JM. 2017. Traditional Production Technology, Consumption And Quality Attributes Of Toubani: A Ready-To-Eat Legume Food From West Africa. *African Journal of Biotechnology*, 16(19): 1123-1130.
- Hounhouigan, D. J., Nout, M. J. R., Nago, C. M., Houben, J. H., and Rombouts F. M. 1993. characterization and frequency distribution of species of lactic bacteria involved in the processing of mawè, a fermented maize dough from Benin. *International Journal of Food Microbiology*.; 18: 279 – 287
- INRAB/MAEP. 2010. Répertoire des variétés de maïs vulgarisées au Bénin, document technique d'information et de vulgarisation, 3 décembre 2010, Bénin;11 p
- ISO-4833. 2003. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the enumeration of microorganisms – Colony count technique at 30°C (ISO 4833). In: *ISO-Microbiology*, editor. 3<sup>rd</sup> ed.; p1-9.
- ISO-7954. 1988. General guidance for enumeration of yeast and moulds- colony count technique at 25°C (ISO 7954). In: *ISO Microbiology*, editor.; pp. 1-4.

- ISO-15214. 1998. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the enumeration of mesophilic lactic acid bacteria– Colony-count technique at 30 °C In: ISO-Microbiology, editor. first ed.; pp1-7.
- ISO-21528. 2004. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal methods for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae – Part 2: Colony-count method (ISO 21528-2). In: ISO-Microbiology, editor. 1st ed.; pp. 1-10.
- Iwuoha C. I. and O. S. Eke, 1996. Nigerian indigenous fermented foods, their traditional process operation, inherent problems, improvements and current status. Food Research International. 29(5-6): 527-540
- Kayodé APP, Hounhouigan DJ, Nout MJR, Niehof A., 2007. Household production of sorghum beer in Benin: Technological and socio-economical aspects. International Journal of Consumer Studies. 31: 258-264.
- Kutyauripo, J., Parawira, W., Tinofa, S., Kudita, I., Ndengu, C.. 2009. Investigation of shelf-life extension of sorghum beer (Chibuku) by removing the second conversion of malt. International Journal of Food Microbiology.; 129, 271-276.
- Louembe, D., Brauman, A., Tchicaya, F. et Kobawiba, S. C. 1996. Etude microbiologique et biochimique de la bouillie de maïs, "Poto-Poto". Microbiologie. Aliments – Nutrition. 14 : 245 - 253.
- Lyumugabe, F., Bajyana, S.E, Wathel, J. P., Thonar, P.. 2013. Volatile compounds of the traditional sorghum beers “ikigage” brewed with *Vernonia amygdalina* “umubirizi” *Cerevisia*.; 37: 89-96.
- Maoura, N., Mbaiguinam, M., Nguyen, H.V., Gaillardin, C., Pourquie, J. 2005. Identification and typing of the yeast strains isolated from bili bili, a traditional sorghum beer of Chad. African Journal of Biotechnology. 4: 646-656.
- Mbajiuka, C., Omeh, Y., Ezeja, M. 2010. Fermentation of sorghum using yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as a starter culture for burukutu production. Continental Journal Biological Sciences 3: 63-74.
- Mounir M., Belgrire M., Lahnaoui S., Hamouda A., Thonart P., Delvigne, F. Ismaili Alaoui M. (2016). Maîtrise de la fermentation alcoolique sous stress éthanolique, thermique et osmotique de la souche *Saccharomyces cerevisiae YSDN1* en vue de la préparation du vinaigre de fruits. Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 4 (2):86-95
- N’Guessan F.K, Coulibaly H.W, Alloue-Boraud M.W.A, Cot M, Djè K.M. 2016. Production of freeze-dried yeast culture for the brewing of traditional sorghum beer, tchapalo. Food Science & Nutrition.; 4 (1):34-41.
- N’guessan, K. F., Brou, K., Jacques, N. m., Casaregola, S., & Dje, K. M. 2011. Identification of yeasts during alcoholic fermentation of tchapalo, a traditional sorghum beer from Côte d’Ivoire. Antonie van Leeuwenhoek.; 99 : 855-864.
- Nago C.M. 1989. Technologies traditionnelles et alimentation au Bénin : aspects techniques, biochimiques et nutritionnelle. Cotonou, Bénin, Université Nationale du Bénin, 222 p.
- Nanadoum Maoura, Mbaiguinam, M., Gaillardin, C. & Pourquie, J. 2006. Suivi technologique, analytique et microbiologique de la “bili bili”, bière traditionnelle tchadienne. Afrique Science.; 2 : 69-82.
- Nout, M.J.R. 1980. Microbiological aspects of the traditional busaa, a Kenyan opaque beer. Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.; 6:137–142.
- Orji, M.U., Mbata, T.I., Aniche, G.N., Ahonkhai, I. 2003. The use of starter cultures to produce ‘Pito’, a Nigerian fermented alcoholic beverage. World Journal Microbiology and Biotechnology.; 19: 733-736.
- Osseyi, T.E., Karou, S., Ketevi, A., Lamboni, R. 2011. Stabilization of the Traditional Sorghum Beer, “Tchoukoutou” using Rustic Wine-Making Method. Advance Journal of Food Science and Technology. 3: 254-258.
- Sawadogo-Lingani H., Lei V., Diawara B., Nielsen D.S., Møller P.L., Traoré A.S., Jakobsen M. 2007. The biodiversity of predominant lactic acid bacteria in dolo and pito wort for the production of sorghum beer. J. Appl. Microbiol. 103: 765-777.

- Steinkraus KH.. 2002 Fermentations in World Food Processing. Comprehensive reviews in food science and food safety. 1(1):23-32.
- Traore, T., Mouquet, C., Icard-Verniere, C., Traore, A.S., Treche, S. 2004. Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and  $\alpha$ -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). Food Chemistry. 88:105–114.
- Viéira-Dalodé A. G., 2008. Etude de la fermentation de la farine de sorgho pour la production du gowé au Bénin : Aspect physicochimiques et microbiologiques. Doctorat de l'université d'Abomey-Calavi. ; 70 p
- Yao A.A, Egounlety M, Kouame L.P, Thonart P., 2009. Les bactéries lactiques dans les aliments ou boissons amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest : leur utilisation actuelle. Ann. Méd. Vét.; 153:54-65.





## Toxicité aigüe et subaigüe de l'insecticide Acer 35 EC et de la lambda-cyhalothrine chez les œufs fécondés et les géniteurs du poisson-chat africain (*Clarias gariepinus*)

Mahugnon A. B. HOUNDJI<sup>1,4\*</sup>, Ibrahim IMOROU TOKO<sup>1</sup>, Léa GUEDEGBA<sup>1,4</sup>, Prudencio T. AGBOHESSI<sup>1</sup>, Edith YACOUTO<sup>1</sup>, Bruno SCHIFFERS<sup>2</sup>, Marie-Louise SCIPPO<sup>3</sup>, Patrick KESTEMONT<sup>4</sup>

1 Université de Parakou, Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique (LaRAEAQ), 03BP 61, Parakou-Université, Bénin, laraeaq.up@yahoo.com

2 Université de Liège- Gembloux Agro-Bio Tech, Laboratoire de Phytopharmacie, Passage des Déportés, 2. BE-5030 Gembloux, Belgique

3 Université de Liège, Faculté de Médecine vétérinaire, Laboratoire d'Analyse des Denrées Alimentaires (LADA), bât. B43bis, 10 Avenue de Cureghem, Sart-Tilman, B-4000 Liège, Belgique

4 Université de Namur, Unité de Recherche en Biologie Environnementale et Evolutive (URBE), Rue de Bruxelles 61, 5000 Namur, Belgique

Reçu le 22 Mai 2018 - Accepté le 15 Décembre 2019

### Acute and subacute toxicity of Acer 35EC insecticide and lambda-cyhalothrin on fertilized eggs and broodstock of African catfish (*Clarias gariepinus*)

**Abstract:** Acer 35EC is the trade name of one of the insecticides (binary acaricide composed of 20 g/l of lambda-cyhalothrin and 15 g of acetamiprid) used in the plant protection program of cotton in northern Benin. The present study was initiated in order to contribute to the ecotoxicological evaluation programs of the impacts of agricultural pesticides in the aquatic ecosystems of Benin cotton basin. It aims to determine, under laboratory conditions, the acute and subacute toxicity of Acer 35EC, lambda-cyhalothrin (the most toxic of its active ingredients) and a locally made Cocktail (whose composition is similar to commercial Acer: 20 g of lambda-cyhalothrin + 15 g of acetamiprid dissolved in 1 L of acetone) on eggs and broodstock of *Clarias gariepinus*, an excellent local biological model species with regard to its high representativity in the aquatic ecosystems. Thus, exposure tests for these biocides were conducted in aquariums with fertilized eggs and female broodstock of *C. gariepinus*, in accordance with OECD guidelines 203 and 212. These investigations indicate that, with both eggs and broodstock, the survival rates are, whatever the pesticide used, inversely proportional to the nominal concentrations tested ( $p < 0.05$ ). In eggs, lambda-cyhalothrin is more toxic ( $LC_{50-48h} = 0.150$  ppm) than the Cocktail ( $LC_{50-96h} = 13.26$  ppm) and the Acer 35 EC ( $LC_{50-96h} = 73.54$  ppm). However, Acer 35EC was at least 420 times more toxic to the broodstock ( $LC_{50-96h} = 0.175$  ppm) than on the eggs. In addition, behavioral abnormalities as well as cutaneous lesions were also observed in the brood stock exposed to Acer 35EC, indicating a probable alteration of some vital functions, in particular nervous and immune.

**Keywords:** *Clarias gariepinus*, Acute toxicity, Acer 35EC, Lambda-cyhalothrin, eggs, broodstock.

**Résumé :** L'Acer 35EC est le nom commercial d'un des insecticides (acaricide binaire composé de 20 g/l de lambda-cyhalothrine et 15 g d'acétamipride) utilisés dans le programme phytosanitaire du cotonnier au nord Bénin. Dans le but de contribuer aux programmes d'évaluation des impacts écotoxicologiques des pesticides agricoles dans les écosystèmes aquatiques récepteurs du bassin cotonnier béninois, la présente étude a été initiée. Elle vise à déterminer en condition de laboratoire la toxicité aigüe et subaigüe de l'Acer 35EC, de la lambda-cyhalothrine (la plus toxique de ses matières actives) et d'un cocktail

(de composition semblable à l'Acer commercial : 20 g de lambda-cyhalothrine + 15 g d'acétamipride dissous dans 1 l d'acétone) chez les œufs et les adultes matures (généiteurs) de *Clarias gariepinus*, excellent modèle biologique de nos eaux au regard de sa forte représentativité dans les milieux récepteurs. Ainsi, des tests d'exposition à ces biocides ont été effectués en aquariums sur les œufs fécondés et les généiteurs femelles de *C. gariepinus*, conformément aux lignes directrices 203 et 212 de l'OCDE. Il ressort de ces investigations que, aussi bien avec les œufs que les généiteurs, les taux de survie sont, quel que soit le pesticide utilisé, inversement proportionnels aux concentrations nominales testées ( $p < 0,05$ ). Chez les œufs, la lambda-cyhalothrine est plus toxique (CL50-48h = 0,150 ppm) comparativement au Cocktail (CL50-96h = 13,26 ppm) et à l'Acer 35 EC (CL50-96h = 73,54 ppm). Chez les généiteurs, l'Acer 35EC (CL50-96h = 0,175 ppm) s'est révélé au moins 420 fois plus toxique que chez les œufs. Par ailleurs, des troubles comportementaux de même que des lésions cutanées ont été également observés chez les généiteurs exposés à l'Acer 35EC, indiquant une altération probable de certaines fonctions vitales, notamment nerveuses et immunitaires.

**Mots clés:** *Clarias gariepinus*, Toxicité aiguë, Acer 35EC, Lambda-cyhalothrine, œufs, généiteurs.

## 1. Introduction

L'espace UEMOA (Union Economique et Monétaire Ouest Africaine) constitue le principal bassin cotonnier africain grâce à la production du Burkina Faso, du Mali, du Bénin et de la Côte d'Ivoire, soit 2.123.012,6 tonnes à l'issue de la campagne 2016-2017 (ICAC, 2017). Dans cette zone, la culture du coton représente à elle seule près de 90% du marché des insecticides (Degla, 2012). Le Bénin à lui seul a floré la barre des 500.000 tonnes durant cette même campagne grâce à une forte expansion de la production dans le nord du pays (d'après les statistiques du Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche MAEP, 2017). La culture du coton étant essentiellement de type conventionnel au Bénin (Degla, 2012), cette belle performance s'accompagne inévitablement d'une utilisation accrue de pesticides. Les principales molécules phytosanitaires utilisées depuis la campagne 2013-2014 appartiennent à la famille des pyréthrinoides, des néonicotinoïdes et/ou des organophosphorés (Gouda, 2018b ; Zoumenou, 2015, 2018) Tous ces biocides utilisés dans les bassins culturels ont des impacts sur les écosystèmes aquatiques leurs réceptacles finaux grâce au ruissellement (Carlier et al., 1996), au dérive (Bylemans, 2001 ; Gouda et al., 2018) ou encore à l'infiltration (Gillium, 2007 ; Chao et al., 2009). Dans le cadre des monitorings effectués de 2015 à 2017 par le Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique (LaRAEAQ) de l'Université de Parakou (UP) à travers le projet AquaTox-Bénin (<http://www.aquatox-benin.be>), des résidus de pesticides, notamment l'endosulfan (0,22 à 101,35 µg/l (ppb)), l'alpha-Hexachlorocyclohexane (0,23 à 2,08 µg/l), le chlorpyrifos (0,95 à 1,50 µg/l), le DDT (0,92 à 1,69 µg/l), le DDE (0,18 à 2,81 µg/l), la

cyperméthrine (0,16 à 0,30 µg/l), la perméthrine (0,77 à 13,75 µg/l), la beta-Cyfluthrine (0,18 à 0,27 µg/l), l'acétamipride (0,20 à 7,70 µg/l) et la lambda-cyhalothrine (0,23 à 8,80 µg/l), ont été retrouvés dans les retenues d'eau de Ba-tran (Commune de Banikoara) et de Gambanè (commune de Kandi) et Sori (commune de Gogounou). Or, il a été démontré que ces biocides peuvent dangereusement impacter la biodiversité aquatique (Köprücü et Aydin, 2004 ; Agbohessi, 2014 ; Agbohessi et al., 2015a et 2015b ; Bonansea et al. 2016 ; Bonifacio et al. 2017). Et plusieurs études font déjà état de la régression des captures dans les plans et cours d'eau béninois (Lalèyè et al., 2004 ; Chikou et al. 2008).

Selon Imorou Toko et al. (2011) les retenues d'eau fournissent plus de 60% (environ 800 tonnes) des poissons frais consommés dans la région nord du Bénin. Et au vu de l'importance de ces écosystèmes aquatiques, cette pollution de plus en plus accrue dont ils sont sujets, soulève des interrogations sur la vulnérabilité des précieuses ressources halieutiques dont ils regorgent. Parmi les espèces de poissons rencontrées dans ces milieux, le poisson-chat, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), occupe une place de choix. En effet, c'est un poisson très prisé par la population locale et représentatif des poissons vivants dans les biotopes aquatiques béninois (Viveen et al, 1985, Lalèyè et al. 2004, Imorou Toko, 2007 et Chikou et al, 2008). Malheureusement, sa saison de frai (juin à septembre) (Viveen et al. 1985 ; Legendre et Teugels, 1991 ; De Graaf et al. 1996), coïncide chaque année, à l'instar de plusieurs autres espèces aquatiques avec la campagne agricole (période d'utilisation intensive des pesticides). Les généiteurs et leurs progénitures sont donc directement exposés en cette période cruciale à de fortes concentrations de pesticides agricoles.

\* Auteur Correspondant : [djialex2000@yahoo.fr](mailto:djialex2000@yahoo.fr)  
Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin

Afin d'évaluer la sensibilité de ces phases (œufs fécondés et géniteurs) à une toxicité aigüe par molécules les plus utilisées, l'Acer 35EC (fabriqué par Sinochem Agro Co., Ltd) a été utilisé en condition de laboratoire. Il s'agit d'un acaricide binaire utilisé durant le 3<sup>ème</sup> et le 4<sup>ème</sup> traitement du calendrier phytosanitaire du cotonnier, qui se présente sous forme de concentré émulsionnable importé et commercialisé officiellement au Bénin par les Importateurs et Distributeurs d'Intrants agricoles (IDI). Il est composé de 15 g d'acétamipride (Néonicotinoides) et 20 g de lambda-cyhalothrine (Pyréthrinoides) et a été introduit dans l'itinéraire technique du cotonnier depuis la campagne agricole 2014 – 2015. La présente étude constitue donc une étape préalable à une évaluation plus approfondie en conditions contrôlées des effets écotoxicologiques des pesticides chimiques utilisées en zone cotonnière à travers des expositions chroniques

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Cadre et conditions de l'étude

Dans le cadre de la présente étude plusieurs essais ont été réalisés aussi bien sur la phase embryonnaire (œufs fécondés) que sur les géniteurs de *C. gariepinus*. Tous ces essais ont été réalisés en conditions contrôlées dans les installations expérimentales d'élevage aquacole du Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique (LaRAEAQ) de la Faculté d'Agronomie (FA) de l'Université de Parakou (UP, Bénin). Chaque essai a été réalisé en deux étapes successives. Un pré-test a été premièrement effectué sur la base des concentrations létales 50 (CL50) de la lambda-cyhalothrine (matière active la plus toxique de l'Acer car lipophile) chez différentes espèces de poissons dans la littérature (CL50-96h est de 0,24 µg/l chez *Oncorhynchus mykiss*, 0,5 µg/l chez *Cyprinus carpio* et 0,81 µg/l chez *Cyprinodon variegatus*, selon Hill, 1985a, b, c et 5 µg/l chez *Clarias batrachus* selon Kumar, 2008). Ce pré-test a permis de déterminer la plus faible concentration qui engendre 100% de mortalité afin de cerner la gamme potentielle de concentrations qui pourraient être létales. Après le pré-test le test proprement dit visant à déterminer la toxicité aigüe de la molécule (ou du produit) a été effectué après définition d'une gamme de concentrations dont les valeurs sont inférieures/égales à la concentration minimale qui engendre les 100% de mortalité.

### 2.2. Matériel chimique

Le matériel chimique était composé principalement de l'insecticide Acer 35EC, de la lambda-cyhalothrine et d'un Cocktail de formulation identique à l'Acer 35EC (mélange homogène de 20 mg de lambda-cyhalothrine + 15 mg d'acétamipride dissous dans 1ml d'acétone). Ce Cocktail a été produit au LaRAEAQ à

partir des matières actives pures de l'Acer 35EC et dans les mêmes proportions afin d'apprécier les effets synergiques/antagoniques éventuels liés à la présence de l'acétamipride beaucoup moins toxique (Tableau 1) d'une part, et du solvant, adjuvants et autres additifs dans l'Acer 35EC commercial, d'autre part. Ces 3 produits chimiques ont été testés durant la phase embryonnaire (œuf), tandis que seule la toxicité aigüe de l'Acer 35EC a été évaluée chez les géniteurs. En effet, l'insecticide Acer 35EC est un concentré émulsionnable conditionné dans des bouteilles en plastique de 0,5 l qui se présente sous forme d'un liquide visqueux jaunâtre. C'est un binaire acaricide ayant l'acétamipride (15 g/l) et la lambda-cyhalothrine (20 g/l) comme matières actives et a été acquis auprès des services officiels de mise en place des intrants agricoles du Ministère en charge de l'agriculture. La lambda-cyhalothrine et l'acétamipride utilisées se présentent respectivement sous forme de poudres beige et jaunâtre. Elles ont été conditionnées dans des flacons de 15 g avec des taux de pureté respectif de 97,1% et 97,4%. Elles ont été acquises auprès de la firme OMNICHEM-AJINOMOTO en Belgique et conservées à une température de +4°C. Les principales caractéristiques physicochimiques de ses deux molécules actives sont présentées dans le Tableau 1. En plus des pesticides testés, l'acétone (pureté ≥ 99,5%) a été utilisé. C'est un solvant aprotique polaire transparent et inflammable souvent utilisé dans les laboratoires pour une dissolution efficacement (99,99%) des composés lipophiles dont la lambda-cyhalothrine. Sa température de fusion est de - 94°C et celle d'ébullition de 56°C. Elle a une densité de 0,791 g/ml à 25°C et une pression de vapeur de 184 mmHg à 20°C. C'est un composé très soluble dans l'eau (une molécule polaire à chaîne carbonée courte), ce qui justifie son choix dans le cadre de la présente étude. Il a été acquis auprès de la Firme SIGMA-ALDRICH, GmbH – Germany.

### 2.3. Matériel biologique

Les ovules fécondés utilisés dans le cadre des présentes expérimentations ont été obtenus par reproduction artificielle de *C. gariepinus* au LaRAEAQ selon la procédure décrite par de De Graaf et Janssen (1996). L'OVAPRIM® (Hormone synthétique composée de GnRH analogue et d'un inhibiteur de la dopamine) a été utilisé pour induire la maturation finale des ovocytes chez les géniteurs femelles sélectionnés. Les géniteurs mâles (980 ± 0,18 g) et femelles (738 ± 15,42 g) utilisés ont été acquis à la ferme agroécologique Songhaï de Attagara (9°26'22'' N et 2°41'28'' E) située à environ 10 km de Parakou, et acclimatés pendant 14 jours dans des conditions optimales (température : 28,2 ± 1,05°C ; pH : 6,00 ± 0,05 et Oxygène dissous : 6,51 ± 0,10 mg/l) avant les manipulations, conformément aux directives 203 de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique). Ils ont été nourris deux

fois par jour à 2% de leur biomasse (Ho- gendoorn, 1983) avec un aliment commercial pour re- producteurs de poissons-chats (6 mm, 46% de protéine, Guessant). Pour chaque Essai, trois (03) mâles et six (06) femelles tous mûres ont été utilisés.

L'essai sur les géniteurs a concerné uniquement les femelles de cette espèce. Ainsi, un lot de 90 femelles matures (poids individuel =  $480,7 \pm 13,9$  g et longueur totale individuelle =  $33,0 \pm 0,2$  cm) a été également ac-

quis à la ferme agroécologique Songhai de Attagara et transporté dans deux viviers en plastique de 200 litres chacun jusqu'au LaRAEAq. Une fois au Laboratoire les poissons ont été répartis en 3 lots de 30 poissons dans 3 tanks de 1 m<sup>3</sup> et acclimatés dans les mêmes conditions que les géniteurs utilisés pour les essais de toxicité sur les œufs.

Tableau 1: Caractéristiques physicochimiques des matières actives de l'Acer 35EC

Table 1: Physicochemical characteristics of Acer 35EC active ingredients

Substances actives	Log Kow 20°C	*FP (%)	Pression de va- peur (Pa à 25°C)	Solubilité dans l'eau (mg/L)	DT <sub>50</sub> (eau) en jours	Références
Acétamipride (C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> ClN <sub>4</sub> )	0,8	12,8	<1e-6	2950 (pH 7)	Stable (pH 4 – 7)	Agritox (2002)
Lambda-cyhalothrine (C <sub>23</sub> H <sub>19</sub> ClF <sub>3</sub> NO <sub>3</sub> )	7	81,7	0,2 µPa à 20°C	5,10 <sup>-3</sup> (pH 6,5)	≥7 (pH 9) Sta- ble (pH 5,2 – 6,9)	Agritox (2002); Li-Ming He et al. (2008)

\*FP (facteur de perméabilité du chorion) =  $11,1 \times \log Kow + 3,97$  (Helmstetter et Alden ,1995) ; Log Kow est le coefficient de partage octanol/eau ;DT est le temps de dégradation de 50% dans l'eau.

## 2.4. Dispositifs expérimentaux

Au total huit (08) aquariums en verre d'un volume de 25 l chacun ont été utilisés lors des essais sur les œufs. Ces aquariums ont été disposés sur des étagères et contenaient chacun 10 l de solution expérimentale à chaque fois. Dans chaque aquarium trois auges de fabrication locale (paniers en plastique de 0,5 l recouvert de filet moustiquaire de 100 µm environ de maille) ont été disposées pour l'incubation des œufs, constituant ainsi les 3 reliquats d'un même traitement. Chaque aquarium a été muni d'un diffuseur d'air qui a fonctionné 24 h/24 pour améliorer l'oxygénation de l'eau.

Pour la détermination de la toxicité aiguë de l'Acer 35EC chez les géniteurs de *C. gariepinus* 14 aquariums en verre de 130 l chacun ont été utilisés. Chaque aquarium contenait 100 l de la solution d'essai correspondant à une concentration donnée, et pour chaque traitement des duplicats ont été réalisés.

## 2.5. Concentrations expérimentales

### 2.5.1. Essais sur les œufs fécondés

Lors des pré-tests effectués pour chaque produit testé, les concentrations suivantes ont été utilisées:

- Lambda-cyhalothrine (ppm): 0; 0 + acétone; 0,1; 0,2 et 0,3 ;
- Acer 35EC (ppm): 0; 50; 100 et 150;
- Cocktail (ppm): 0; 0 + acétone; 10; 20; 40 et 50.

Pour les essais de toxicité aiguë proprement dit, les concentrations nominales testées sont:

- 0 ; 0 + acétone ; 0,05 ; 0,1 ; 0,15 ; 0,25 et 0,3 ppm pour la lambda-cyhalothrine ;
- 0; 30; 60; 90 et 120 ppm pour l'Acer 35 EC; et

- 0; 0 + acétone; 5; 10; 15; 20 et 25 ppm pour le Cocktail.

Des témoins acétone ont été testés lors des essais impliquant la lambda-cyhalothrine afin de déterminer la part de mortalité que pourrait engendrer ce solvant de dissolution indépendamment des molécules testées. Ces témoins contenaient 0,3 et 25 ppm d'acétone, respectivement pour la lambda-cyhalothrine et le Cocktail.

### 2.5.2. Essai sur les géniteurs

Les concentrations d'Acer 35EC testées chez les géniteurs étaient de 0 ; 0,1 ; 1 et 5 ppm pour le pré-test ; et 0 ; 0,05 ; 0,10 ; 0,15 ; 0,20 ; 0,25 et 0,30 ppm pour le test proprement dit.

## 2.6. Conduite expérimentale et données collectées

Les solutions expérimentales utilisées lors des essais avec la lambda-cyhalothrine et le Cocktail ont été obtenues à partir de solutions mères contenant 1 mg/ml d'acétone pour la lambda-cyhalothrine, et 20 mg de lambda-cyhalothrine + 15 mg d'acétamipride dans 20 ml d'acétone pour le Cocktail.

Lors des essais sur les œufs, 200 mg d'ovules fertilisés (environ 100 œufs) par auge ont été à chaque fois incubés durant 48 heures, dans les solutions expérimentales correspondantes respectivement aux concentrations testées. Les œufs ont été bien étalés et les auges disposés de façon qu'ils soient complètement immergés sous environ 5 cm de solution d'exposition. Les paramètres physicochimiques de l'eau (température, pH et oxygène dissous) ont été relevés dans chaque aquarium juste avant le début de l'incubation, et toutes les 12 heures jusqu'à la fin de l'incubation. Vingt (20) minutes après le début de l'incubation, les ovules non fé-

condés (qui blanchissent, contrairement aux œufs fécondés qui gardent une couleur verdâtre avec une tâche rouge à l'intérieur ; Figure 1) ont été enlevés de chaque auge à l'aide d'une pipette pasteur. Le reste des œufs fécondés est alors compté par auge. Durant l'incubation, les auges ont été régulièrement observées (toutes les 4 heures) afin de compter et enlever les œufs morts. Tous ces essais ont été réalisés dans des conditions statiques, sans renouvellement des solutions d'essais durant les 48 heures d'exposition aigüe.

Pour les géniteurs, le lot de poissons utilisé a été validé à la fin de la période d'acclimatation étant donné que les mortalités cumulées enregistrées étaient de 1,1% dans les 3 tanks, donc conforme aux lignes directrices 203 de l'OCDE (mortalité cumulée < 5%). Quatre (4) géniteurs femelles de *C. gariepinus* ont été utilisés par

aquarium. L'essai qui a duré 96 heures a été réalisé en condition semi-statique, avec un renouvellement total de la solution expérimentale toutes les 24 heures pour pallier les variations de concentrations nominales dues éventuellement à la dégradation des molécules ou leur absorption (sur les parois des aquariums ou par les poissons). Les paramètres physicochimiques de l'eau (température de l'eau, pH et oxygène dissous) ont été mesurés deux fois par jour (matin et soir) dans tous les aquariums. Les poissons morts sont enlevés et comptés par intervalle de 4 heures dans chaque aquarium. Les comportements inhabituels des poissons tels que l'agressivité, la perte de coordination/équilibre, l'hyperactivité, les immobilités atypiques/léthargie, la nage rapide et les lésions cutanées ont été recensés dans chaque aquarium pendant l'exposition.

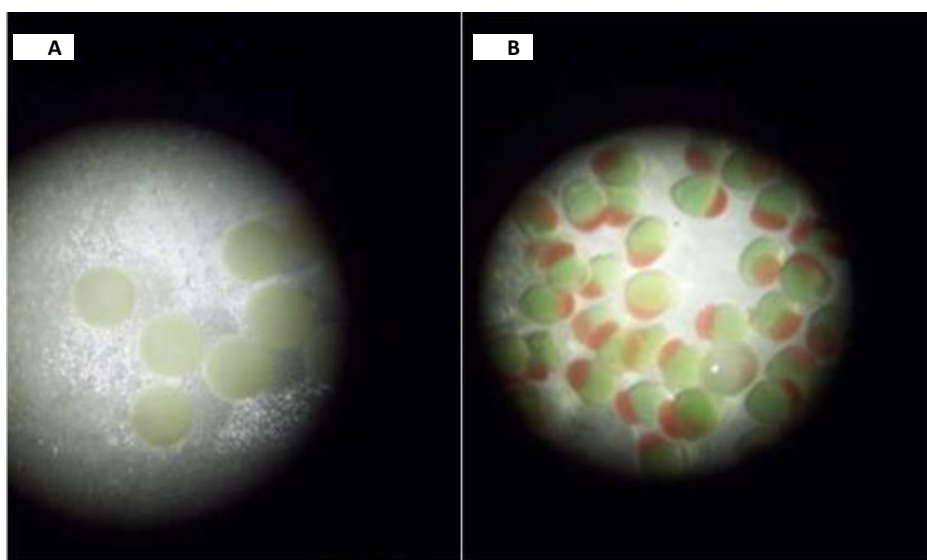


Figure 1: Photos d'ovules de *Clarias gariepinus* observés à la loupe binoculaire; A = ovules non fécondés; B = ovules fécondés.

Graph 1: Eggs pictures of *Clarias gariepinus* observed with a binocular magnifying glass; A = unfertilized eggs; B = fertilized eggs.

## 2.7 Traitement et analyses statistiques des données

Sur la base des mortalités relevés durant les essais avec les œufs fécondés et les géniteurs, les taux de survie (%) de même que les concentrations létales qui tuent 5 à 50% en 48 heures d'incubation (CL5-50-48h) ont été déterminées pour la lambda-cyhalothrine, l'Acer 35EC et le Cocktail chez les œufs; ces mêmes paramètres ont été déterminés chez les géniteurs exposés durant 96 heures (CL5-50-96h) à l'Acer 35EC. Pour chaque produit testé, la concentration sans effets observés (CSEO) et la concentration minimale avec effets

observés (CMEO) ont été également déterminées aussi bien chez les œufs que les géniteurs, par comparaison avec les traitements contrôles grâce au test de Dunnett. Le cas échéant, la normalité des données a été évaluée en utilisant le test de Shapiro-Wilk (Agbohessi et al., 2013). Tous les paramètres utilisés pour évaluer la toxicité aigüe et subaigüe durant cette étude (Taux de survie, CL5-50, CSEO, CMEO) de même que les graphiques ont été obtenus à l'aide du logiciel statistique de traitement des données toxicologiques, CETIS (Comprehensive Environmental Toxicity Information System, CETIS v1.9.2, 2015-McKinleyville, CA 95519, USA).

### 3. Résultats

#### 3.1. Taux de survie des œufs et des géniteurs de *C. gariepinus* exposés à des doses aiguës et subaiguës des pesticides testés

Durant les essais effectués sur les œufs fécondés de *C. gariepinus*, les valeurs moyennes de la température (T°C), de l'oxygène dissous (O<sub>2</sub>) et du pH étaient respectivement de 30,95 ± 0,18°C, 5,45 ± 0,20 mg/l et 6,71 ± 0,20. Avec les géniteurs, ces valeurs ont été de 27,05 ± 0,10°C, 5,05 ± 0,07 mg/l et 6,58 ± 0,05 respectivement. Dans tous les cas on peut noter que la qualité physico-chimique des solutions d'essais n'a pas significativement varié ( $p > 0,05$ ) dans les aquariums.

Les différents essais de toxicité aiguë des insecticides réalisés aussi bien avec les œufs que les géniteurs de *C. gariepinus* ont montré que le taux de survie est inversement proportionnel aux concentrations nominales testées ( $p < 0,05$ ; Figure 2), quel que soit le pesticide utilisé. Chez les œufs (Figure 2, A, B et C), pour tous les produits utilisés, les concentrations testées ont entraîné une diminution significative ( $p < 0,05$ ) du taux de survie comparativement aux contrôles, à l'exception de la lambda-cyhalothrine qui n'a pas engendré de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les taux de survie enregistrés avec le contrôle (0 ppm) et ceux observés avec les concentrations de 0,05 et 0,10 ppm.

Chez les géniteurs, aucune mortalité n'a été observée avec les concentrations de 0,05 et 0,1 ppm à l'instar du contrôle (Figure 2, D).

#### 3.2. Concentrations létales et sublétales des pesticides testés chez les œufs et les géniteurs de *C. gariepinus* exposés à des doses aiguës et subaiguës

Les CL50, les CSEO et les CMEO des différents pesticides testés sur les œufs et les géniteurs de *C. gariepinus* sont présentées dans le Tableau 2. L'analyse de ce tableau montre que chez les œufs, la lambda-cyhalothrine demeure plus toxique comparativement au cyfluthrin et à l'Acer 35 EC qui semble le moins toxique. Cependant chez les géniteurs, l'Acer 35 EC s'est révélé beaucoup plus toxique (*plus de 420 fois*) que chez les œufs.

#### 3.3. Anomalies comportementales observées chez les géniteurs femelles de *C. gariepinus* exposés à l'Acer 35 EC

Les attitudes irrégulières de même que les lésions cutanées observées chez les géniteurs de *C. gariepinus* sont résumées en fonction des concentrations d'exposition dans le Tableau 3. De façon générale, dès le début de l'essai on observe dans les aquariums une agitation (hyperactivité et/ou agressivité) caractérisée par une

nage rapide et/ou une augmentation de l'activité en surface des poissons exposés à l'Acer 35 EC, contrairement aux témoins. Cependant quelques soit la dose d'Acer 35 EC testée, on remarque une immobilisation atypique des poissons avec une perte fréquente de l'équilibre pendant les minutes précédant leur mort. Par ailleurs, tous les poissons exposés à l'Acer 35 EC ont présentés des lésions cutanées. Dans tous les cas l'intensité des comportements de même que l'ampleur des lésions cutanées observées sont généralement dose-dépendante.

### 4. Discussion

La présente étude a montré que les œufs de *Clarias gariepinus* sont sensibles aux pesticides chimiques, et particulièrement à la lambda-cyhalothrine, l'une des matières actives de l'Acer 35 EC. Cette forte toxicité de la lambda-cyhalothrine chez les œufs pourrait s'expliquer par son facteur de pénétration (FP) très élevé (81,67%) dû au fait qu'il est très lipophile. En effet, au début de l'incubation l'œuf absorbe une grande quantité d'eau par osmose ce qui rend le chorion très distendu dans un premier temps, avant de durcir par la suite sous l'action des enzymes (Kamler, 1992; Gatesoupe, 1994). Avant ce processus de durcissement, le chorion de l'œuf devient perméable à l'eau et aux petites molécules. Dans les groupes témoins, les taux de survie des œufs incubés sont comparables, voire meilleures à ceux généralement rapportés dans la littérature pour *C. gariepinus*. En effet, Haylor et Mollard (1995) de même que Rukera Tabaro et al. (2005) rapportent durant l'incubation (24 à 48 h) des taux de survie des œufs fécondés de *C. gariepinus* de 66 et 67%, respectivement. La membrane chorionique étant de nature phospholipidique elle est perméable aux molécules lipophiles, y compris celles toxiques (Helmstetter et Alden, 1995). Généralement les polluants à FP élevé pénètrent donc plus facilement dans le chorion que ceux à faible FP, provoquant une fois dans l'œuf une précipitation des protéines (OCDE, 1992). La plus grande toxicité du pentachlorophénate de sodium (PF = 70%) comparativement au malathion (FP = 30%) chez les œufs de *C. gariepinus* observée par Nguyen et al. (1999) confirme bien cette tendance. Par ailleurs, il est rapporté que survie des œufs et donc leur éclosion peut être également entravée par le blocage, par les xénobiotiques, notamment ceux lipophiles, des processus biochimiques et comportementaux, y compris la digestion du chorion par les enzymes et les mouvements de l'embryon pour ouvrir le chorion (De Gaspar et al., 1999; Hagenaaers et al., 2011). C'est ce qui expliquerait également dans notre cas la plus forte toxicité de la lambda-cyhalothrine chez les œufs exposés (CL50-96h = 0,150 ppm),



comparativement au Cocktail (CL50-96h = 13,26 ppm) et à l'Acer 35EC (CL50-96h = 73,54 ppm). Nguyen et al. (1999) ont aussi rapporté que le pentachlorophénol (NaPCP) à des concentrations >1 ppm retarde le développement embryonnaire de *C. gariepinus*. Köprüçü et Aydin (2004) ont également remarqué que la deltaméthrine, un pesticide de la même famille que la lambda-cyhalothrine (Pyréthrinoïdes) était très toxique pour les œufs de la carpe commune (CL50-96h >0,005 ppb) et altérait significativement leur taux d'éclosion. Hagens et al. (2011) ont également constaté que l'acide perfluorooctanoïque à des concentrations >1 ppm causait une diminution de l'éclosion des œufs du poisson-zèbre (*Danio rerio*). Aussi, la pénétration des molécules et plus particulièrement de la lambda-cyhalothrine à travers la membrane phospholipidique des œufs pourrait-elle également entraîner une diminution de l'énergie à des niveaux insuffisants pour permettre l'évacuation de la coquille (Varo et al., 2006 ; Agbohessi et al., 2013). La présence d'acétamipride (plus hydrophile) dans le Cocktail et l'Acer 35EC aurait probablement limité leur pénétration dans les œufs justifiant ainsi les faibles toxicités observées (effet antagoniste) comparativement à la lambda-cyhalothrine. La nature du solvant, les adjuvants et additifs contenus dans le produit commercial (Acer 35 EC) aurait probablement aussi eu des effets antagonistes, le rendant ainsi moins toxique aux œufs que le Cocktail fait maison (à base d'acétone comme solvant, sans adjuvants et sans additifs).

Cependant, chez les géniteurs de *C. gariepinus*, l'Acer 35EC s'est révélé très toxique (CL50-96 h = 0,175 ppm) comparativement aux œufs (CL50-48h = 73,54 ppm). Cette plus grande sensibilité des adultes à l'Acer 35EC, comparativement aux œufs, indique que la voie majoritaire d'intoxication de ce produit serait probablement branchiale et/ou orale contrairement aux œufs où la pénétration n'est possible que par la coquille. Aussi, la nécessité de mobiliser d'importante quantité d'énergie métabolique pour faire face au stress engendré par ce polluant chez les reproducteurs (réactions de détoxification, réactions oxydatives, etc.), pourrait altérer l'efficacité des autres fonctions vitales, rendant ainsi les adultes plus sensibles comparativement à ses œufs (Agbohessi, 2014). L'expression de la CL50-96h (0,175 ppm) de l'Acer 35 EC en unité de matières actives donne 3,5 µg/l de lambda-cyhalothrine et 2,63 µg/l d'acétamipride. Ces valeurs, sont toutes en deçà des concentrations les plus élevées 8,80 µg/l et 7,70 µg/l respectivement obtenues pour ces matières actives lors des monitorings effectués de 2015 à 2017 par le Laboratoire de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie

Aquatique (LaRAEAq) de l'Université de Parakou (UP) à travers le projet AquaTox-Bénin (<http://www.aquatox-benin.be>) dans les retenues d'eau du nord Bénin. Cet état des choses, soutient l'hypothèse que les pesticides utilisés en cotonculture seraient l'une des principales causes des nombreux poissons morts qu'on retrouve fréquemment à la surface de l'eau pendant la saison des pluies dans cette zone.

Par ailleurs, les réactions comportementales des géniteurs observées durant leur exposition à l'Acer 35EC seraient probablement dues aux altérations survenues dans leur mécanisme de régulation nerveuses. En effet, des comportements et altérations similaires ont déjà été signalés chez plusieurs espèces aquatiques y compris *C. gariepinus* exposé à l'endosulfan (pesticide organochloré) par plusieurs auteurs (Ezemonye et Ikpesu, 2011; Yekeen et Fawole, 2011 ; Bhatia et al. 2004 ; Siang et al., 2007 ; Agbohessi et al., 2013, Gouda, 2018a). En effet, ces pesticides (notamment la lambda-cyhalothrine) ou leurs produits de dégradation dans l'organisme, bloqueraient le fonctionnement des canaux sodium indispensables à la transmission de l'influx nerveux par inhibition de l'acétylcholinestérase (Li-Ming, 2008). Ce dernier auteur rapporte que ces xénobiotiques se lient aux protéines qui régulent le canal sodique voltage dépendant, affectant ainsi les fibres nerveuses qui sont stimulées de façon continue créant ainsi chez l'individu, des tremblements, la perte de contrôle musculaire, la paralysie et probablement la mort. Selon, EFSA (2014), l'acétamipride serait un excellent mimétique se liant aux récepteurs nicotiques de l'acétylcholine (nAChR) imitant ainsi l'action de l'acétylcholine par l'ouverture des canaux ioniques qui permettent l'entrée de Na<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup> dans les cellules. La suractivation de ce récepteur (nAChR) génère généralement un blocage engendrant une paralysie mortelle.

Les lésions cutanées observées dans le cadre de cette étude ont été également rapportées par Agbohessi *et al.* (2015a) chez les juvéniles de *C. gariepinus* exposés à des doses aiguës de Thionex (insecticide coton à base d'endosulfan). Ces ulcérations seraient probablement causées par des réactions inflammatoires au niveau du tégument lors du contact avec l'Acer 35EC (ou ses dérivés), constituant ainsi une porte ouverte aux infections diverses et affaiblissant par conséquent leur défense immunitaire (Ezemonye et Ikpesu, 2011 ; Agbohessi et al. 2013) ce qui pourrait aussi contribuer à la vulnérabilité voire la mortalité des sujets exposés, surtout aux fortes doses.

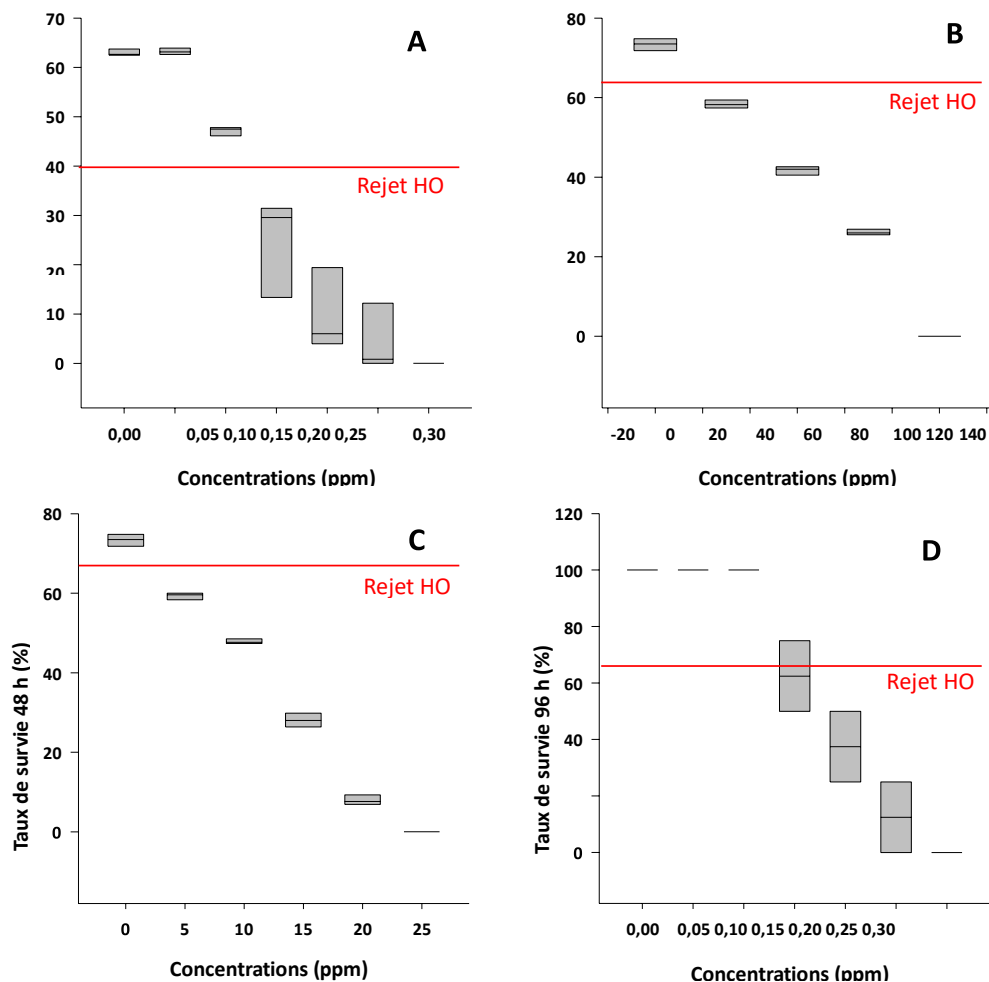


Figure 2 : Taux de survie des œufs (après 48h d'incubation) et géniteurs femelles (après 96 heures) de *Clarias gariepinus* exposés à des doses aiguës et subaiguës de pesticides (pour les œufs, A: Lambda-cyhalothrine ; B: Acer 35EC et C: Cocktail composé de 20 mg/l de lambda-cyhalothrine + 15 mg/l d'acétamipride dissous dans 20 ml d'acétone ; pour les géniteurs, D: Acer 35 EC).

Graph 2: Survival rate of eggs (after 48 hours post incubation) and broodstock (after 96 hours) of *Clarias gariepinus* exposed under lethal and sublethal concentrations of pesticides (for eggs, A: lambda-cyhalothrin ; B: Acer 35EC and C: Mixture of 20 mg/L of lambda-cyhalothrine + 15 mg/L of acetamiprid dissolved in 20 mL of acetone ; for broodstock, D: Acer 35EC).



Tableau 2 : Concentrations létales (CL<sub>5-50</sub>), CSEO et CMEO des pesticides testés sur les œufs et géniteurs femelles de *Clarias gariepinus*Table 2: Lethal concentrations (CL<sub>5-50</sub>), NOEC and LOEC of tested pesticides on eggs and female broodstock of *Clarias gariepinus*

Concentrations létales	Œufs (ppm)			Adultes femelles (ppm)
	<i>Lambda-cyhalothrine</i>	<i>Acer 35EC</i>	<i>Cocktail</i>	<i>Acer 35EC</i>
CL5	0,090 (0,059 - 0,111)	44,56 (26,15 - 56,04)	7,71 (5,97 - 9,07)	0,112 (0,063 - 0,138)
CL10	0,100 (0,069 - 0,121)	49,77 (31,54 - 60,79)	8,69 (6,97 - 10,01)	0,124 (0,076 - 0,149)
CL15	0,108 (0,078 - 0,129)	53,63 (35,77 - 64,27)	9,42 (7,74 - 10,71)	0,132 (0,087 - 0,157)
CL20	0,115 (0,086 - 0,135)	56,91 (39,51 - 67,21)	10,05 (8,39 - 11,30)	0,139 (0,096 - 0,163)
CL25	0,121 (0,092 - 0,140)	59,88 (43,00 - 69,88)	10,62 (9,01 - 11,84)	0,146 (0,105 - 0,170)
CL40	0,138 (0,112 - 0,156)	68,08 (53,03 - 77,38)	12,2 (10,74 - 13,33)	0,164 (0,129 - 0,189)
CL50	0,150 (0,126 - 0,167)	73,54 (59,91 - 82,63)	13,26 (11,91 - 14,35)	0,175 (0,144 - 0,203)
CSEO	0,10	<30	<5	0,1
CMEO	0,15	30	5	0,15

CSEO : Concentration Sans Effets Observés ; CMEO : Concentration Minimale avec Effets Observés ; Les valeurs entre parenthèses représentent les limites de confiances 95%.

Tableau 3 : Anomalies observées chez les géniteurs de *Clarias gariepinus* exposés à des doses aiguës d'Acer 35EC durant 96 heuresTable 3: Anomalies observed in *Clarias gariepinus* broodstock exposed to acute doses of Acer 35EC for 96 hours

Anomalies						
Doses testées (ppm)	Agressivité	Perte d'équilibre	Hyperactivité	Nage rapide	Lésions cutanées	Augmentation de l'activité en surface
0,00	-	-	-	-	-	-
0,05	-	-	+	-	+	-
0,10	-	+	+	+	+	+
0,15	+	+	+	+	+	+
0,20	+	+	+	+	+	+
0,25	+	+	+	+	+	+
0,30	+	+	+	+	+	+

(-) : absence et (+) présence

## 5. Conclusion

L'évaluation de la toxicité aiguë et subaiguë de l'Acer 35 EC (20 g de lambda-cyhalothrine + 15 g d'acétamipride) chez les adultes femelles et les œufs fécondés du poisson – chat africain, *C. gariepinus*, a permis de mettre en exergue, les effets négatifs de ces polluants sur ces stades vulnérables de ce poisson fortement prisé et représentatif des bassins versants récepteurs. Les adultes (géniteurs) se sont montrés particulièrement sensibles comparativement aux œufs fécondés et ce, même à des concentrations en matières actives inférieures à celles des milieux naturels. Des lésions cutanées de même que des troubles importants de comportements ont été également observés chez les sujets exposés à l'Acer 35EC, indiquant des altérations de certaines fonctions vitales, notamment nerveuses et immunitaires de cette espèce. Il est donc impérieux, de prendre des mesures afin de limiter l'impact de l'usage de ces pesticides dans les bassins culturels sur les écosystèmes aquatiques.

## REMERCIEMENTS

La présente étude a été possible grâce au financement de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur de la Commission de Coopération au Développement (ARES-CDD, Belgique) à travers le projet AquaTox-Bénin (PRD 2013-2018), et du Centre d'Études et de Recherches Universitaires de Namur (CERUNA) de l'Université de Namur (Belgique) qui nous a octroyé une allocation universitaire de recherche et de séjour à Namur. Enfin, nous exprimons nos sincères gratitude à tous les étudiants stagiaires du LARAQ qui ont participé d'une manière ou d'une autre aux différentes manipulations.

## CONFLIT D'INTERET

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

## REFERENCES

- Adechian S. A. Baco M. N. Akponikpe I. ImorouToko I. Egah J. & Affoukou K. 2015. Les pratiques paysannes de gestion des pesticides sur le maïs et le coton dans le bassin cotonnier du Bénin. *Vertigo*, 15 : 1-11. <https://journals.openedition.org/vertigo/16534>.
- Agbohessi P. T. Imorou Toko I. Ouédraogo A. Jau-niaux T. Mandiki S. N. M. & Kestemont P. 2015a. Assessment of the health status of wild fish inhabiting a cotton basin heavily impacted by pesticides in Benin (West Africa). *Science of the Total Environment*, 56 : 567–584. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.047>
- Agbohessi P. 2014. Impact des pesticides agricoles sur le développement et la régulation du système reproducteur, le statut hépatique et la croissance des poissons dans le bassin cotonnier béninois. Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat en Sciences biologiques à l' Université de Namur, Belgique, 307p.
- Agbohessi P. T. Toko, I. I. Atchou V. Tonato R. Mandiki S. N. M. & Kestemont P. 2015b. Pesticides used in cotton production affect reproductive development, endocrine regulation, liver status and offspring fitness in African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology*, 167 : 157–172. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2014.10.002>
- Agbohessi T.P. ImorouToko I. Houndji A. Gillardin V. Mandiki S.N.M. & Kestemont P. 2013. Acute toxicity of agricultural pesticides to embryo-larval and juvenile African Catfish *Clarias gariepinus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 64: 692-700.
- Agritox, 2002a. Base de données sur les substances actives phytopharmaceutiques, Acetamipride, <http://www.agritox.anses.fr/php/sa.php?sa=f301> (consulté le [15/02/2018]).
- Agritox, 2002b. Base de données sur les substances actives phytopharmaceutiques Lambda-cyhalothrine <http://www.agritox.anses.fr/php/sa.php?sa=255> (consulté le [15/02/2018]).
- Bhatia N.P. Sanhu G.S. & Johal M.S.2004. Haematological alterations in *Heteropneustes fossilis* upon exposure to endosulfan. *Pollution Research*, 23: 633–636.
- Bonanse R. I. Wunderlin D. A. & Amé M. V. 2016. Behavioral swimming effects and acetylcholinesterase activity changes in *Jenynsia multidentata* exposed to chlorpyrifos and cypermethrin individually and in mixtures. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129 : 311–319. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.043>
- Bonifacio A. F. Ballesteros M. L. Bonanse R. I. Filippi I. Amé M. V. & Hued A. C. 2017. Environmental relevant concentrations of a chlorpyrifos commercial formulation affect two neotropical fish species, *Cheirodon interruptus* and *Cnesterodon decemmaculatus*. *Chemosphere*, 188 : 486–493. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.156>
- Bylemans D. 2001. The importance of application technique and drift reduction for ecotoxicological risk assessment and risk management in fruit growing. *Parasitica*, 57 : 5-11.
- Carluer N. Gouy V. Gril J.J. 1996. Contamination des eaux par les produits phytosanitaires : apport de la modélisation. *Ingénieries EAT*, 6 :19-30.

- CENAGREF (Centre National de Gestion des Réserves de Faune), 2004. Etude de l'impact de l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides par les populations riveraines sur les écosystèmes (eau de surface, végétaux et faunes) des Aires Protégées (Parcs Nationaux et zones cynégétiques) du Bénin. Rapport Final d'expertise; 168p.
- Chao W. Guanghua L. Jing C. & Perfang W. 2009. Sub-lethal effects of pesticide mixtures on selected biomarkers of *Carassius auratus*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 28: 414-419.
- Chikou A. Lalèyè P. Raemakers V. Vandewalle P. & Philippart J.-C. 2008. Etude de l'âge et de la croissance chez *Clarias gariepinus* (Pisces, Clariidae) dans le delta de l'Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 2: 157-167.
- Cuesta M. & Angeles B. 2011. Immunotoxicological Effects of Environmental Contaminants in Teleost Fish Reared for Aquaculture: 241-266. In: M. Stoytcheva (eds), *Pesticides in the Modern World-Risks and Benefits*.
- De Gaspar I. Blanquez M.J. Fraile B. Paniagua R. & Arenas M.I. 1999. The hatching gland cells of trout embryos: characterisation of N- and O-linked oligosaccharides. *Journal of Anatomy*, 194: 109-118
- Degla R. 2012. Rentabilité économique et financière des exploitations cotonnières basées sur la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols et des Ravageurs au Nord-Bénin Résumé Economic and financial profitability of cotton production based on the integrated Pest and Soi. *Bulletin de La Recherche Agronomique Du Bénin*, Numéro spécial : 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2017.03.005>
- De Graaf G. & Janssen H. 1996. Artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *Clarias gariepinus* in Sub-Sahara Africa, a hand book. *FAO Fisheries technical paper*, 71p.
- EFSA (European Food Security Authority) 2014. Reasoned opinion on the modification of the existing MRL for acetamiprid in bananas. *EFSA Journal*, 29p.
- Ezemonye L.I.N. & Ikpesu T.O. 2011. Evaluation of sub-lethal effects of endosulfan on cortisol secretion, glutathione S-transferase and acetylcholinesterase activities in *Clarias gariepinus*. *Food and Chemical Toxicology*, 49: 1898-1903
- Gatesoupe F.J. 1994. Development of fish larvae end rearing conditions in hatcheries: 159-172. In: B. Lehlou and P. Vitielli (eds), *Coastal and Estuarine Studies. Aquaculture fundamental and applied research*. American Geophysical Union. Washington DC.
- Gillium R. J. 2007. Pesticides in U.S. streams and groundwater. *Environmental Science and technology*, 41: 3407-3413.
- Gouda A-I. 2018a. Analyse des risques environnementaux liés aux pratiques phytosanitaires dans les écosystèmes aquatiques du bassin cotonnier (Nord Bénin). Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique à l' Université de Liège, Belgique, 221p. <http://hdl.handle.net/2268/229146>
- Gouda A.I. Mehoba M.H.L. ImorouToko I. Scippo M-L. Kestemont P. & Schiffers B. 2018b. Comparaison de la dérive pour deux types de pulvérisateurs utilisés en production cotonnière au Bénin. *Base : Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 22 : 94-105.
- Hagenaars A. Vergauwen L. De Coen W. & Knapen D. 2011. Structureactivity relationship assessment of four perfluorinated chemicals using a prolonged zebrafish early life stage test. *Chemosphere*, 82: 762-772
- Haylor G.S. & Mollah M.F.A. 1995. Controlled hatchery production of African catfish *Clarias gariepinus*: the influence of temperature on early development. *Aquatic Living Resources*, 8: 431-438
- Helmstetter M.F. & Alden R.W. III. 1995. Passive trans-chorionic transport of toxicants in topically treated Japanese medaka (*Oryzias latipes*) eggs. *Aquatic Toxicology*, 32: 1-13
- Hill R.W. 1985a. Determination of acute toxicity to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) of a 5% EC formulation (Unpublished proprietary report No. BL/B/2783, submitted to WHO by ICI), 321p.
- Hill R.W. 1985b. Determination of acute toxicity to mirror carp (*Cyprinus carpio*) of a 5% EC formulation (Unpublished proprietary report No. BL/B/2784, submitted to WHO by ICI), 321p.
- Hill R.W. 1985c. Determination of acute toxicity to sheepshead minnow (*Cyprino donvariegatus*) (Unpublished proprietary report No. BL/B/2615, submitted to WHO by ICI), 321p.
- Hogendoorn H. 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C&V): III bioenergetics relations of body weight and feeding level. *Aquaculture*, 35: 1-17. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90066-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90066-2)
- ICAC (International Cotton Advisory Committee), 2014. Cotton, this Month. 1629 K Street: Washington USA. <https://www.icac.org/tech/ICAC-Researcher-of-the-Year-Award> (consulté le [04/05/2018]).
- ICAC (International Cotton Advisory Committee), 2017. Cotton in the Era of Globalization and Technological Progress. Statement of the 76th Plenary Meeting. [http://gca.org.pl/wpcontent/uploads/2017/11/e\\_Statement\\_FINAL.pdf](http://gca.org.pl/wpcontent/uploads/2017/11/e_Statement_FINAL.pdf) (consulté le [04/11/2017]).
- Imorou Toko I. 2007. Amélioration de la production halieutique des trous traditionnels à poissons (whedos) du delta de l'Ouémé par la production de l'élevage des poissons-chats *Clarias gariepinus* et

- Heterobranchus longifilis*. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, Presse Universitaire de Namur, ISBN: 978-2-87037-579-2 ; Dépôt légal : D/2007/1881/38 ; 186p.
- Imorou Toko I. Yabi A.J. Assogba M.N. Adam Sanni M. & Elegbe H. 2011. Evaluation des potentialités piscicoles et socioéconomiques des retenues d'eau pastorales dans la commune de Banikoara (Nord-Est du Bénin). *Annales de l'Université de Parakou, série Sciences Naturelles Agronomie*, 2 : 57-84.
- Kamler E. 1992. Early fish history of fish: 55 – 67. In: Chapman N. & Hall L. (eds), *An energetic approach*. Ed. Rock. London.
- Köprücü K. & Aydın R. 2004. The toxic effects of pyrethroid deltamethrin on the common carp (*Cyprinus carpio* L.) embryos and larvae. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 80: 47–53.
- Kumar A. Sharma B. & Pandey R. S. 2011. Assessment of acute toxicity of k-cyhalothrin to a freshwater catfish, *Clarias batrachus*. *Environmental Chemistry Letters*, 9: 43-46
- Lalèyè P. Chikou A. Philippart J.C. Teugels G.G. & VandeWalle P. 2004. Etude de la diversité ichthyologique du bassin du fleuve Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cybiurn*, 28 : 329-339.
- Legendre M. & Teugels G. G. 1991. Développement et tolérance à la température des œufs de *Heterobranchus longifilis*, et comparaison des développements larvaires de *H. longifilis* et de *C. gariepinus* (Teleostei, Clariidae). *Aquatic Living Resources*, 4: 227-240.
- Li-Ming H. John T. Albert W. & Kean G. 2008. Environmental Chemistry, Ecotoxicity, and Fate of Lambda-cyhalothrin. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 100 ; 71-91.
- MAEP (Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche), 2014. Liste des produits phytosanitaires disponibles pour la campagne agricole 2013-2014 dans les départements du Borgou-Alibori au Bénin. 14p
- Micha J.-C. 1973. Etude des populations piscicoles de l'Ubanguï et tentative de sélection et d'adaptation de quelques espèces à l'étang de pisciculture. C.T.F.T., Nogent-sur-Marne ; 100p.
- Nguyen L.T.H. Janssen C.R. & Volckaert F.A.M. 1999. Susceptibility of embryonic and larval African catfish (*Clarias gariepinus*) to toxicants. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 62: 230–237.
- OCDE (Organisation for Economic Cooperation and Development) 1992. Guideline for testing of chemicals: fish acute toxicity test. OECD 203, Paris, France.
- Ogueji E.O. & Auta. J. 2007. Investigation of Biochemical Effects of Acute Concentrations of Lambda-Cyhalotrïn on African Catfish *Clarias gariepinus*-Teugels. *Journal of Fisheries International*, 2 : 86–90.
- Ramade F. 1991. Caractères écotoxicologiques et impact environnemental potentiel des principaux insecticides utilisés dans la lutte anti-acridienne : 179- 191. In : Aupelf-Uref, (eds). *La lutte anti-acridienne*. Ed. John Libbey Eurotext. Montrouge (France).
- Risebrough R.W. Huggett R. J. & Griffin J. J. 1968. Pesticides: transatlantic movements in the north-east trades. In *Science*, 159 : 1233-1236.
- Rukera Tabaro S. Micha J-C. & Ducarme C. 2005. Essais d'adaptation de production massive de juvéniles de *Clarias gariepinus* en conditions rurales. *Tropicultura*, 23: 231–244.
- Siang H.Y. & Yee L.M. & Seng C.T. 2007. Acute toxicity of organochlorine insecticide endosulfan and its effect on behaviour and some haematological parameters of Asian swamp eel (*Monopterus albus*, Züew). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 89: 46–53.
- Varo I. Amat F. Navarro J.C. Barreda M. Pilarch E. & Sarrerro R. 2006. Assessment of the efficacy of *Artemia* sp. (Crustacea) cyst chorion as barrier to chlorpyrifos (organophosphorus pesticide) exposure. Effect on hatching and survival. *Science of the Total Environment*, 366, 148–153.
- Viveen W. Richter C. Van Oordt P. Janssen J. & Huisman E. 1985. *Practical manual for the culture of the African catfish (Clarias gariepinus)*. The Netherlands Ministry for Development Cooperation, Section for Research and Technology, P.O.Box 20061, 2500 EB The Hague, The Netherlands; 128 p.
- Yekeen T.A. & Fawole O.O. 2011. Toxic effects of endosulfan on haematological and biochemical indices of *Clarias gariepinus*. *African Journal of Biotechnology*, 10 : 14090–14096. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Zoumenou B. Aïna M. P. Agbohessi P. Imorou I. & Schippo M.-L. 2015. Effets toxicologiques et méthodes d'analyse de la lambda-cyhalothrine et de l'acétamipride utilisés dans la protection phytosanitaire du cotonnier au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 : 2184–2199.
- Zoumenou B. G. Y. M. Aïna M. P. Imorou Toko I. Igout A. Douny C. Brose F. Scippo M. L. 2018. Occurrence of Acetamiprid Residues in Water Reservoirs in the Cotton Basin of Northern Benin. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102 : 7–12. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2476-4>.

## 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 URLs);
- 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](https://images.webofknowledge.com/images/help/WOS/A_abrvjt.html)
- [http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/office/abk\\_EN](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](http://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](http://www.mendeley.com)) et Zotero ([www.zotero.org](http://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](mailto: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](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.