

# TROPICULTURA

2018 Vol. 36 N°1

Trimestriel (janvier-février-mars)  
Driemaandelijks (januari-februari-maart)  
Trimestral (enero-febrero-marzo)  
Quarterly (January-February-March)



Fièvre aphteuse du bovin

Crédit: Souley Kouato Bachir, Niamey, Niger, 2014

Editeur responsable / Verantwoordelijke uitgever: J. Bogaert  
Avenue Louise 231  
1050 Bruxelles/Brussel  
Belgique/België

Avec les soutiens  
de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer (ARSOM), [www.kaowarsom.be](http://www.kaowarsom.be);  
d'École régionale post-universitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires  
tropicaux (ERAIFT), [www.eraift-rdc.cd](http://www.eraift-rdc.cd); et de la Région de Bruxelles Capitale

Met de steunen van  
de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen (KAOW), [www.kaowarsom.be](http://www.kaowarsom.be), van  
École régionale post-universitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires  
tropicaux (ERAIFT), [www.eraift-rdc.cd](http://www.eraift-rdc.cd); en van het Brusselse Gewest



## EDITORIAL/EDITORIAAL/EDITORIAL

Tropicultura will integrate *PoPuPS* in 2018  
 Tropicultura intégrera *PoPuPS* en 2018  
 Tropicultura zal *PoPuPS* in 2018 integreren  
 Tropicultura integrará *PoPuPS* en 2018

**J. Bogaert & B. Pochet**

1

## ARTICLES ORIGINAUX/OORSPRONKELIJKE ARTIKELS/ARTICULOS ORIGINALES

Inventaire préliminaire de la faune lombricienne dans la Réserve et Domaine Chasse de Bombo-Lumene, plateaux Batéké (République Démocratique du Congo)

Voorlopige inventaris van de aardworm fauna in de "Réserve et Domaine de chasse" van Bombo-Lumene, Batéké Plateau (Democratische Republiek Congo)

Inventario preliminar de la fauna de lombriz en la Reserva y Área de caza de Bombo-Lumene, meseta de Batéké (República Democrática del Congo)

**F. Milau, A. Lemtiri, M. Mungyeko, J. Aloni & F. Francis**

3

AFLP analysis of Genetic Diversity Among Different *Jatropha curcas* L. Genotypes from Africa and Ecuador  
 Analyse par les marqueurs AFLP de la diversité génétique de différents génotypes de *Jatropha curcas* L. provenant d'Afrique et d'Equateur

Analyse door AFLP-markers van de genetische diversiteit van verschillende genotypen van *Jatropha curcas* L. uit Afrika en Ecuador

Análisis por marcadores AFLP de la diversidad genética de diferentes genotipos de *Jatropha curcas* L. de África y de Ecuador

**N'.O. Konan, L.N. Nacoulima & F.H. Diouf**

11

Analyse de la chaîne de légalité des filières de sciage artisanal et du bois énergie à Kisangani (R.D.C)

Ketenanalyse van de rechtmatigheid van ambachtelijke gezaagd hout en van brandstof hout in Kisangani (R.D.C)

Análisis en cadena de la legalidad de la madera aserrada artesanal y de la leña en Kisangani (R.D.C)

**P.T. Ongona, G. Lescuyer, J. Schure & D. Lokombe**

23

Evaluation de la diversité floristique en palmeraies (*Phoenix dactylifera*) de la région d'Ouargla (Sahara septentrional algérien) suivant les différents niveaux d'entretien

Evaluatie van de floristische diversiteit in palmbossen (*Phoenix dactylifera*) van de Ouargla regio (Noord-Algerijnse Sahara) volgens de verschillende onderhoudsniveaus

Evaluación de la diversidad florística en palmerales (*Phoenix dactylifera*) de la región de Ouargla (Sáhara septentrional argelino) según los diferentes niveles de mantenimiento

**T. Medjber-Teguig, L. Kadik & B. Boumarar**

33

Caractérisation de la race ovine algérienne Tazegzawth

Tazegzawth: Characterization of an Algerian Sheep Breed

Karakterisering van het Algerijnse schapenras Tazegzawth

Characterización de la raza ovina argelina Tazegzawth)

**N. Moula**

43

Logit Model of Analysing the Factors Affecting the Adoption of Goat Raising Activity by Farmers in the Non-pastoral Centre Region of Cameroon

Modèle logit d'analyse des facteurs influençant l'adoption de l'activité d'élevage des chèvres par les agriculteurs de la région non-pastorale du Centre Cameroun

Logit model voor het analyseren van de factoren die van invloed zijn op de adoptie van geitenteelt door boeren in het niet-pastorale gebied van Centraal-Kameroen

Logit Modelo para analizar los factores que influyen en la adopción de la cría de cabras por los agricultores en la región no pastoral del centro de Camerún

**A.J.Z. Folefack, P.P. Tsafack & F. Kamajou**

54

Fixation de l'azote chez l'arachide et le niébé en conditions de sécheresse pour l'amélioration de la productivité au Sahel

Stikstoffixatie in aardnoten en cowpea onder droogtecondities om de productiviteit te verbeteren in de Sahel

Fijación de nitrógeno en el cacahuete y en el caupí en condiciones de sequía para mejorar la productividad en el Sahel

**F. Hamidou, A. Harou, B.F. Achirou, O. Halilou & Y. Bakasso**

63

Comportement alimentaire de la gazelle dama mhor (Nanger dama mhor, Pallas, 1766) en semi-liberté dans la Réserve de Faune du Ferlo Nord de Ranérou, Sénégal Voedingsgedrag van de dama mhor gazelle (Nanger dama mhor, Pallas, 1766) in semi-vrijheid in het wildreservaat van de noordelijke Ferlo van Ranérou, Senegal Comportamiento de alimentación de la gacela dama mhor (Nanger dama mhor, Pallas, 1766) en semilibertad en la Reserva de Vida Silvestre Ferlo septentrional de Ranérou, Senegal <b>S.M. Sarr, E. Faye, A. Diatta &amp; C.A.T. Djigo</b>	<b>80</b>
Etude rétrospective des paramètres de reproduction du taurin Kouri à la station de Sayam au Niger Retrospectieve studie van de voortplantingsparameters van het Kouri bultloos ras op het Sayam-station in Niger Estudio retrospectivo de los parámetros de reproducción de la raza taurina Kouri en la estación de Sayam en Níger <b>K.I. Adamou, H. Mouloul, M. Issa, A.A. Boubacar &amp; H. Marichatou</b>	<b>87</b>
Caractérisation de la croissance spatiale urbaine de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo) entre 1989 et 2014 Karakterisering van stedelijke ruimtelijke groei in de stad Lubumbashi (Haut-Katanga, DR Congo) tussen 1989 en 2014 Caracterización del crecimiento espacial urbano en la ciudad de Lubumbashi (Haut-Katanga, RD Congo) entre 1989 y 2014 <b>Y.U. Sikuzani, S. Cabala Kaleba, J.-M. Halleux, J. Bogaert &amp; F. Munyemba Kankumbi</b>	<b>99</b>
Contribution to the Identification of a Local and Available Food Source for Sustainable Production of Nile Tilapia ( <i>Oreochromis niloticus</i> , Linnaeus, 1758) in the Democratic Republic of Congo Contribution à l'identification d'un aliment local et disponible pour une production durable du tilapia du Nil ( <i>Oreochromis niloticus</i> , Linnaeus, 1758) en République Démocratique du Congo Bijdrage tot de identificatie van een lokale en beschikbare voedselbron voor duurzame productie van Nijl Tilapia ( <i>Oreochromis niloticus</i> , Linnaeus, 1758) in de Democratische Republiek Congo Contribución a la identificación de un alimento localmente disponible para la producción sostenible de Tilapia del Nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> , Linnaeus, 1758) en la República Democrática del Congo <b>A.Tshinyama, É. Proulx, M.-H.Deschamps, F.Okitayela, D. Khasa &amp; G.W. Vandenberg</b>	<b>109</b>
Régime alimentaire de <i>Ctenopoma petherici</i> (Perciformes, Anabantidae) dans la rivière Agnéby et dans le lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 2 (Côte d'Ivoire) Dieet van <i>Ctenopoma petherici</i> (Perciformes, Anabantidae) in de Agnéby-rivier en in het hydro-elektrische stuwmeer van Ayamé 2 (Ivoorkust) Dieta de <i>Ctenopoma petherici</i> (Perciformes, Anabantidae) en el río Agnéby y en el lago de la represa hidroeléctrica de Ayamé 2 (Costa de Marfil) <b>G.B. Kass , M.G. Zeré, S.Y. Stanislas &amp; V. N'Douba</b>	<b>123</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE/BOEKBESPREKING/BIBLIOGRAFIA</b>	
Agriculture § Enjeux de société <b>Pussemier Luc, Goeyens Léo</b>	<b>133</b>
Le manioc, entre culture alimentaire et filière agro-industrielle <b>Vernier Philippe, N'Zué Boni, Zakhia-Rozis Nadine</b>	<b>134</b>
Guide technique: Plantation agroforestière d'Acacia auriculiformis dans le haut Katanga <b>Boldrini Sylvie, Bracke Charles, Daïnou Kasso, Vermeulen Cédric, Fétiveau Judicaël, Ngoy Shutcha Mylor, Doucet Jean-Louis</b>	<b>135</b>
<b>ANNONCES/ AANKONDIGINGEN/ ANUNCIOS</b>	
<b>RAOS: International Conference Climates and Cultures: Perspectives for the Future</b>	<b>136</b>

The opinions expressed, and the form adopted are the sole responsibility of the author(s) concerned

Les opinions émises et la forme utilisée sont sous la seule responsabilité des auteurs

De geformuleerde stellingen en de gebruikte vorm zijn op verantwoordelijkheid van de betrokken auteur(s)

Las opiniones emitidas y la forma utilizada son de la exclusiva responsabilidad de sus autores

### Tropicultura will integrate *PoPuPS* in 2018

In 2018, Tropicultura will join the family of scientific journals published by the *PoPuPS* portal, an acronym for the Portal of Publication of Scientific Periodicals. This project was set up in 2005 by the libraries of the University of Liège. Its ambition is (i) to offer to publishers a simple and economical solution for distributing their journals, without any loss of autonomy, (ii) to offer to the readers a free and unrestricted access to the results of scientific research, (iii) to propose a modern digital platform with functionalities corresponding to up-to-date technological evolutions (referencing, citations, etc.), and (iv) to give to the papers a maximum visibility and accessibility. While it initially only published journals from the University of Liège, the *PoPuPS* portal hosted in 2015 two titles of the University of Saint Louis and, recently, the Royal Academy of Belgium joined the portal with a new title.

The portal is currently focusing on: (i) maximizing the transparency of publication processes for journals, (ii) demonstrating the ethical aspects of research and publication as well as the rights of authors, (iii) increasing the visibility and referencing of published articles, (iv) providing assistance and support to publishers, and (v) ensuring the quality of the information provided to readers, authors and publishers. The main objectives are (i) to mark the difference with pseudo-journals, (ii) to improve the adherence of authors and readers, and (iii) to improve the international recognition of the journals. The criteria for the selection and recognition that serve as a guide to achieve these goals are based upon (i) the Directory of Open Access Journals (*DOAJ*), (ii) the Scopus bibliographic database, (iii) the Open Access Scholarly Publishers Association (*OASPA*), (iv) the *COPE* (Committee on Publication Ethics), and (v) the Science Citation Index (the database that contains titles with an impact factor)

Currently, the system consists of 21 journals, including two of which the activity has ended; two titles having an impact factor, three titles appearing in the list of Top 100 H5 indexes (Google Scholar), four titles being present in the *DOAJ*, five titles recording more than 10,000 visualizations per month and seven titles present in the *Scopus* database (four of which have a *CiteScore* - equivalent to the impact factor). *PoPuPS* currently offers, in open access, almost 6,000 articles, all journals combined.

It is therefore clear that a new era is coming up for our journal. We invite readers to visit the *PoPuPS* website at <http://popups.uliege.be> to see the potential of this constantly evolving project.

J. Bogaert

President of Agri-Overseas

B. Pochet

Director of the Agricultural Library - ULiège



## Tropicultura intégrera PoPuPS en 2018

En 2018, Tropicultura se joindra à la famille des revues scientifiques diffusées par le portail *PoPuPS*, acronyme de Portail de Publication de Périodiques Scientifiques. Ce projet a été mis en place en 2005 par les bibliothèques de l'Université de Liège. Il a l'ambition (i) d'offrir aux éditeurs une solution simple et économique pour diffuser leurs revues, et ceci sans perte d'autonomie, (ii) d'offrir aux lecteurs un accès libre et gratuit aux résultats de la recherche, (iii) de proposer une plateforme numérique moderne avec des fonctionnalités qui suivent les évolutions technologiques (référencement, citations, etc.), et (iv) de donner aux publications un maximum de visibilité et accessibilité. Alors qu'il ne diffusait que des revues de l'Université de Liège, le portail *PoPuPS* a accueilli en 2015 l'Université Saint Louis avec deux titres et, dernièrement, l'Académie royale de Belgique a rejoint le portail avec un nouveau titre.

Les responsables du portail s'attachent actuellement: (i) à maximaliser la transparence des processus de publication des revues, (ii) à démontrer les aspects éthiques de la recherche et de la publication ainsi que des droits des auteurs, (iii) à accroître la visibilité et le référencement des articles publiés, (iv) à fournir des aides et à accompagner les éditeurs, et (v) à veiller à la qualité de l'information fournie aux lecteurs, auteurs et éditeurs. Les principaux objectifs sont (i) de faire la différence avec les pseudo-revues, (ii) d'améliorer l'adhésion des auteurs et des lecteurs, et (iii) d'améliorer la reconnaissance internationale des revues. Les critères de sélection et de reconnaissance (i) du *DOAJ* (*Directory of Open Access Journals*), (ii) de la base de données bibliographique *Scopus*, (iii) de l'*OASPA* (*Open Access Scholarly Publishers Association*), (iv) de *COPE* (*Committee on Publication Ethics*), et (v) du *Science Citation Index* (la base de données qui contient les titres ayant un facteur d'impact) servent de guide pour atteindre ces objectifs.

Actuellement, le système comprend 21 titres dont deux titres arrêtés; deux titres ayant un facteur d'impact, trois titres figurant dans la liste french Top 100 H5 index (*Google Scholar*), quatre titres présents dans le *DOAJ*, cinq titres enregistrant plus de 10.000 visualisations par mois et sept titres présents dans *Scopus* (dont quatre ont un *CiteScore* - équivalent au facteur d'impact). *PoPuPS* diffuse actuellement, en libre accès, de presque 6.000 articles, toutes revues confondues.

Il est dès lors clair qu'une nouvelle ère s'annonce pour notre revue. Nous invitons les lecteurs à visiter le site web de *PoPuPS* sur <http://popups.uliege.be> afin de se rendre compte des potentialités offertes par ce projet en constante évolution.

J. Bogaert

Président d' Agri-Overseas

B. Pochet

Directeur de la Bibliothèque des Sciences agronomiques - ULiège

**ARTICLES ORIGINAUX  
ORIGINAL ARTICLES**
**OORSPROKELIJKE ARTIKELS  
ARTICULOS ORIGINALES**
**Inventaire préliminaire de la faune lombricienne dans la Réserve et Domaine de Chasse de Bombo-Lumene, Plateaux Batéké (République Démocratique du Congo)**

F. Milau<sup>1\*</sup>, A. Lemtiri<sup>2</sup>, M. Mungyeko<sup>3</sup>, J. Aloni<sup>3</sup> & F. Francis<sup>2</sup>

**Keywords:** Earthworms- Bombo-Lumene- Bateke Plateau- DR Congo

**Résumé**

*La macrofaune du sol est régulièrement mise en avant pour son rôle sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol, notamment des terres cultivées. De plus, la fréquence du travail du sol et l'intensité de l'exploitation culturale sont des facteurs importants à prendre en compte dans la gestion des sols agricoles. Le présent inventaire vise à étudier l'impact du changement d'usage des sols sur la faune lombricienne. Il présente la diversité et l'abondance des espèces de lombriciens dans des écosystèmes savanicoles et forestiers de la Réserve et Domaine de Chasse de Bombo-Lumene des plateaux Batéké en République Démocratique du Congo. A cet effet, six types d'environnements ont été explorés: les forêts denses semi-décidues, les galeries forestières, les recrûs forestiers, les savanes herbeuses, les savanes arborescentes, et les cultures. Les espèces lombriciennes récoltées sont présentées en fonction du biotope, du régime alimentaire, du type de prostomium et de la distribution géographique.*

**Summary**
**Preliminary Inventory of the Earthworm Fauna in the “Réserve et Domaine de chasse” of Bombo-Lumene Batéké Plateaus, Democratic Republic of the Congo**

*The soil macrofauna is frequently cited for its important role in the physicochemical parameters of cultivated land. Moreover, the tillage frequency and the cropping intensity are key factors to be considered in the management of cropping systems. An inventory related to the changes in land use on the earthworm fauna was carried out. The diversity and the abundance of the harvested species were determined in savannah and in forest ecosystems. The study was conducted in the “Réserve et Domaine de chasse” of Bombo-Lumene located on Batéké Plateaus in the Democratic Republic of the Congo. Six types of environments have been prospected: semi-deciduous dense forests, gallery forests, second-growth forests, grasslands, woodland savannas, and crop land). Collected earthworm species are presented according to their habitat, their feeding habit, the kind of prostomium, and their geographical distribution.*

<sup>1</sup>université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire de Gestion des Ressources Naturelles, Kinshasa, R.D. Congo

<sup>2</sup>Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive, Gembloux, Belgique

<sup>3</sup>université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Laboratoire de Géomorphologie et pédologie, Kinshasa, R.D. Congo

\*Auteur correspondant: Email: filsmilau@gmail.com

## Introduction

Les communautés lombriciennes sont présentes dans la plupart des écosystèmes terrestres et représentent une composante majeure de la macrofaune du sol (10). Elles jouent un rôle important dans la dynamique et le fonctionnement des sols (11). Le nombre d'espèces de lombriciens, qui définit la richesse spécifique suit un gradient marqué à l'échelle du globe (11). Cette diversité taxonomique reflète l'action d'une multitude de facteurs environnementaux et anthropiques, notamment dans le cadre de la gestion et du travail du sol (18). Les lombriciens consomment les débris végétaux de la litière, la matière organique humifiée, ils participent ainsi à leur décomposition et à leur enfouissement dans les sols. Ces organismes excrètent des biostructures (turricules) qui impactent la fertilité et la survie des autres groupes fonctionnels du sol (8). Ils ont été récemment considérés comme bio-indicateurs et acteurs biologiques indispensables à la fertilité des sols (13).

Dans les régions tropicales humides et subhumides, la macrofaune du sol est dominée en densité par les termites et les fourmis mais en biomasse par les vers de terre (22). En Afrique, les biomasses importantes relevées sont dues au fait que les espèces épigées, endogées et anéciques sont de taille plus importante que dans les régions tempérées (23). Omodéo et Martinucci (33) ont inventorié 16 espèces dans la région méditerranéenne à partir des recherches couvrant 83 localités réparties sur la Tunisie, l'Algérie et le Maroc. Les récoltes de Baha (1) effectuées dans la région de la Mitidja, une plaine côtière au sud d'Alger, ont révélé la présence de 11 espèces, dont *Allolobophora chlorotica* nouvellement découverte en Afrique du Nord, trois autres espèces non encore inventoriées en Algérie (*Octodrilus maghrebicus*, *Octodrilus kabylianus* et *Eisenia xylophila*), ainsi qu'une cinquième, *Proselodrilus doumandjii*, décrite comme nouvelle espèce par Baha et Berra (2). En République Démocratique du Congo, peu de résultats ont été obtenus lors des précédentes études concernant les communautés de vers de terre (24). Les travaux relatifs à la biodiversité des lombriciens restent insuffisants, à cause d'une part, de l'identification et de la classification de ces organismes qui demeurent difficiles par absence de clés d'identification des espèces présentes en Afrique, et d'autre part, la difficulté à étudier les vers de terre en raison de plusieurs contraintes liées à la nature des sols et à la complexité de ces organismes (12). Il nous a donc paru très intéressant d'étudier la diversité des communautés lombriciennes en intégrant les conditions pédoclimatiques. Le but de cette étude est donc de présenter un inventaire des communautés lombriciennes présentes dans différents biotopes de la RDCBL (Réserve et Domaine de Chasse de Bombo-Lumene) aux plateaux Batéké.

## Matériel et méthodes

### Sites d'étude

L'étude a été réalisée dans la RDCBL, dans une zone comprise entre 4°20' et 5°80' de latitude Sud et 15°50' et 16°20' de longitude Est à 600 m d'altitude aux plateaux Batéké localisés à 125 km du centre-ville de Kinshasa dans la commune de Maluku. Le climat de la région est tropical humide de type Aw<sub>4</sub> selon la classification de Köppen avec une saison sèche de quatre mois (juin à septembre), une saison pluvieuse (novembre à avril); mai et octobre constituant des mois de transition (31).

Les sols sont classifiés comme Rubrique Ferralique Arénosol (Dystrique) selon le système de classification WRB (20), et comme Quartzipsamment Ustoxique Isohyperthermique suivant la taxonomie du sol (38).

En termes de climat, les précipitations annuelles varient entre 1.300 et 1.600 mm et la température moyenne annuelle est de 25,7 °C. La moyenne mensuelle la plus élevée (27,1 °C) se situe durant le mois d'avril; tandis que le mois d'août est le mois le plus frais avec une température moyenne de l'ordre de 23,2 °C (38).

La végétation est dominée par des savanes parsemées de quelques forêts et galeries forestières (21). Six biotopes (Figure 1) ont été étudiés: la forêt dense semi décidue, la galerie forestière, le recru forestier, la savane arborescente, la savane herbeuse et le sol sous culture. Le choix a été basé selon un gradient d'intensification des activités humaines afin de refléter tous les faciès du couvert végétal.

### Méthodes d'échantillonnage

L'extraction des lombriciens a été effectuée selon la méthode décrite par Bouché (6) et adaptée par Cluzeau *et al.* (8) qui associe une méthode chimique et un tri manuel. Les lombriciens sont extraits en utilisant une solution de 25 ml de formaldéhyde à 36% diluée dans 10 l d'eau et épandue sur une surface de 1 m<sup>2</sup>. A la suite de cette extraction, le sol est échantillonné par bêchage sur une profondeur de 20 cm. Cette méthode est bien adaptée aux milieux hétérogènes où la densité des lombriciens est supposée être différente et la taille de la surface de prélèvement suffisante pour intégrer à la fois la variabilité de distribution des lombriciens associée à cette hétérogénéité naturelle du milieu et leur faible densité. Les prélèvements ont été réalisés de janvier 2013 à décembre 2014, à raison d'une fois par trimestre. Quatre répétitions ont été réalisées sur chaque type de biotope étudié. Au total 24 parcelles ont été investiguées.

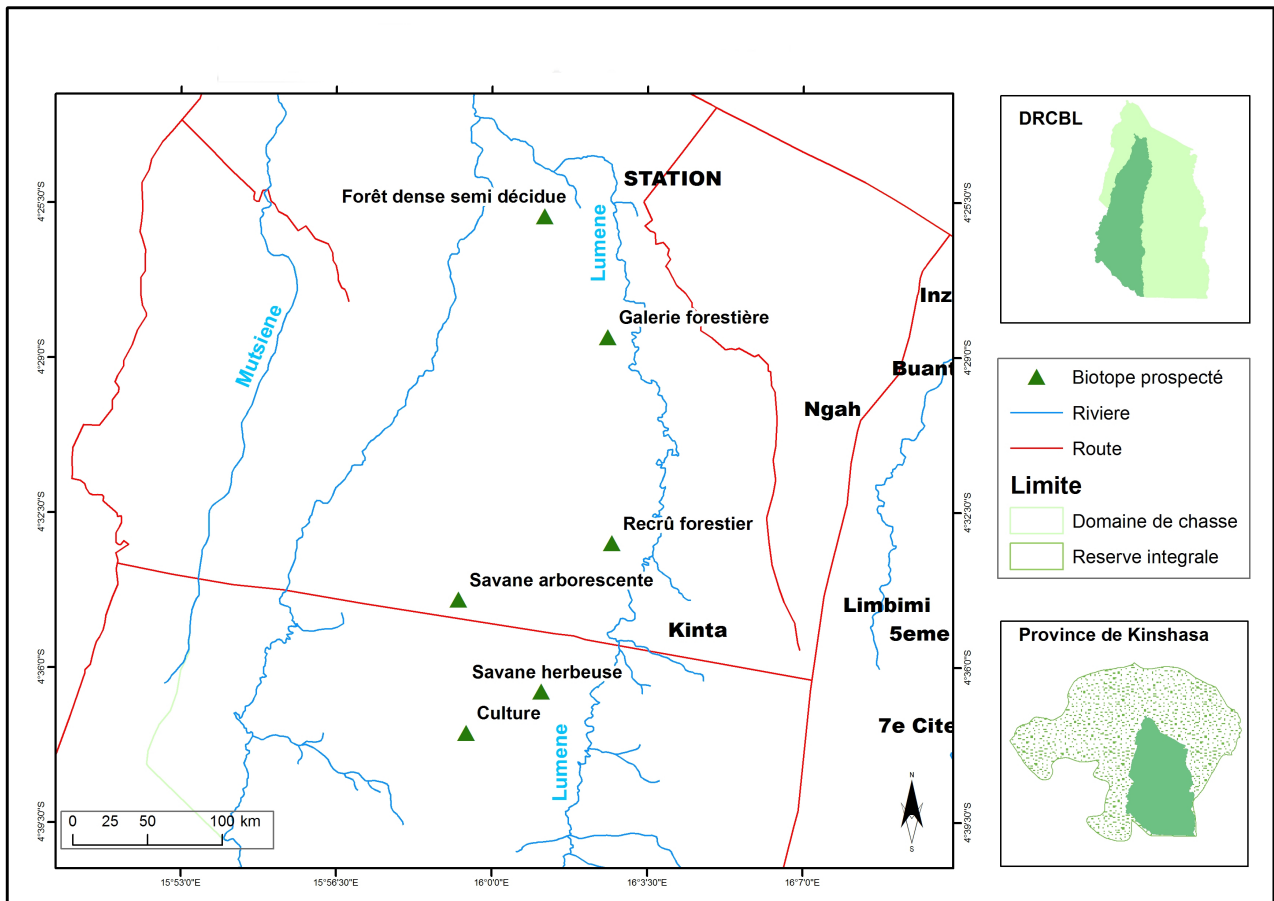


Figure 1: Répartition des biotopes étudiés dans la RDCBL.

## Conservation et identification des lombriciens

Après chaque collecte, les lombriciens sont nettoyés puis mis dans des piluliers de 125 ml préalablement étiquetés contenant de l'alcool à 70° jusqu'à l'identification.

Les lombriciens ont été identifiés suivant les clés préconisées par Csuzdi (9), basées sur des caractéristiques morphologiques et anatomiques (la forme du *prostomium*, la forme du *clitellum*, la taille de l'individu, la couleur du corps, le nombre de pores mâles et femelles, le nombre de pores dorsaux ...). Cette identification a été réalisée à l'Unité d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive de Gembloux AgroBiotech, Université de Liège.

## Evaluation de la diversité

La diversité a été évaluée en calculant les indices de diversité suivants:

- Indice de Shannon (37): L'indice de Shannon ( $H'$ ) renseigne sur la diversité des espèces de chaque biotope pris en considération. Si cette valeur est faible, le milieu est considéré comme pauvre en espèces. En revanche, si cet indice est élevé, il implique que le milieu est très peuplé en espèces ou favorable au développement des espèces. Il s'exprime par la formule I:

$$H' = -\sum ((N_i / N) * \log_2 (N_i / N)) \quad I$$

avec  $N_i$ : nombre d'individus d'une espèce donnée,  $i$  allant de 1 à  $S$  (nombre total d'espèces),  $N$ : nombre total d'individus.

La diversité maximale ( $H'max$ ) se calcule en utilisant la formule II:

$$H'max = \log_2 S \quad II$$

$S$  représente la richesse totale des espèces.

- Indice d'équitabilité: cet indice évalue l'équirépartition du peuplement. L'équirépartition est le rapport de la diversité observée à la diversité maximale. Elle est donnée par la formule III (5):

$$E = H' / H'max \quad III$$

## Similarité

L'analyse de la similarité entre les biotopes est caractérisée par l'indice de Jacard qui permet de comparer deux à deux les peuplements des différents biotopes et d'évaluer la similarité ou la dissimilarité faunistique d'une communauté. Elle est calculée par la formule IV:

$$CJ = j / (a + b - j) \quad IV$$

$a$  = la richesse dans le premier biotope,  $b$  = la richesse dans le deuxième biotope,  $j$  = espèce partagée.



## Résultats et discussion

### Distribution des lombriciens dans les biotopes

Au total, neuf cents quatre-vingt onze individus ont été collectés dans l'ensemble des biotopes en 2013 (Tableau 1). Les individus sont plus nombreux dans la forêt dense semi-décidue (39,4% des individus récoltés) puis dans la forêt galerie (25,7% des individus récoltés). Le sol sous culture présente les plus faibles effectifs de lombriciens (5,2% des individus récoltés). En 2014, mille cent quatre vingt quatorze individus ont été collectés. De même qu'en 2013, les individus sont plus nombreux dans la forêt dense semi-décidue (33,8% des individus récoltés) puis dans la forêt galerie (31,6% des individus récoltés) alors que le plus faible nombre d'individus récoltés a été obtenu dans le sol sous culture (3,5% des individus récoltés). Nous avons observé que les populations de lombriciens varient selon les types de biotopes, mais aussi selon les pratiques agricoles adoptées. Il est évident que l'importante densité lombricienne observée dans la forêt semi-décidue et dans la galerie forestière est due au fait que les écosystèmes forestiers naturels favorisent un meilleur développement des lombriciens que les écosystèmes savanicoles et anthropisés (10). La réduction des communautés lombriciennes sous l'effet de l'anthropisation est observée aussi bien en milieu tempéré qu'en milieu tropical (10, 15). Fragoso *et al.* (16) ont rapporté que la biodiversité des vers de terre est modifiée par la destruction du couvert végétal et les habitats naturels et leurs remplacements par les cultures et les agroécosystèmes; ce qui réduit l'abondance de certains groupes écologiques.

La richesse spécifique est plus importante dans la forêt dense semi décidue et dans la galerie forestière avec respectivement 6 et 7 espèces rencontrées. Le sol sous culture est associé à la plus faible richesse spécifique puisqu'uniquement 2 espèces ont été récoltées. Ce résultat indique que les lombriciens colonisent les biotopes où les conditions écologiques sont les plus favorables à leur survie. Les causes peuvent être multiples, d'une part, du fait que toutes les espèces ne s'adaptent pas de la même manière dans les différentes niches écologiques à cause des facteurs édaphiques comme par exemple la texture et l'humidité du sol; d'autre part à cause des agressions multiples des prédateurs et parasites des lombrics. En effet, dans la galerie forestière et dans la forêt dense semi décidue, les conditions sont très favorables au développement et à la dispersion des lombrics ce qui justifie leur diversité. Ce résultat corrobore également les conclusions de Fragoso *et al.* (17) selon lesquelles la savanisation s'accompagne souvent d'un appauvrissement de la macrofaune du sol, en particulier des vers de terre en réduisant leur richesse spécifique.

Comparant la similarité entre les biotopes (Tableau 2), on remarque que la savane herbeuse, la savane

arborescente et le sol sous culture sont les habitats les plus similaires. Ils présentent un indice de Jaccard égal à 0,67 et sont suivis de la forêt dense semi décidue et de la galerie forestière qui ont un indice de similarité égal à 0,63. Les autres biotopes sont les plus distants, présentant un indice de Jaccard relativement faible. Ces habitats accueilleraient une diversité relativement différente entre eux.

### Diversité et abondance relative des lombriciens collectés

Dix espèces de lombriciens réparties au sein de deux familles (*Acanthodrilidae* et *Eudrilidae*) ont été récoltées en 2013 et 2014 (Tableau 3). L'espèce *Dichogaster congica* est celle qui présente les abondances les plus importantes en 2013 et 2014. Les abondances les plus faibles sont celles des espèces *Hyperiodrilus africanus* et *Dichogaster tenuiseta*, en 2013 et 2014 respectivement.

Les *Acanthodrilidés* (7) sont les plus importants. Cette famille est représentée par neuf espèces appartenant à l'ordre des *Haplotaxida*. Les espèces inventoriées sont les suivantes:

(i) *Benhamia itoliensis* (26) récoltée dans la galerie forestière et dans la savane herbeuse, elle est géophage et présente un *prostomium* prolobique. Elle a été observée dans le parc national de l'Upemba et est répandue dans toutes les provinces de la RDC, en Afrique centrale et en Afrique du Sud;

(ii) *Dichogaster wenkei* (29) récoltée dans la forêt dense semi décidue et dans la galerie forestière, cette espèce phytosaprophage présente un *prostomium* schizolobique. Elle est présente dans le parc national de l'Upemba ainsi que dans toutes les provinces de la RDC;

(iii) *Dichogaster tenuiseta* (30) récoltée dans la forêt dense semi décidue, elle est phytosaprophage avec un *prostomium* épilobique. Son aire de distribution est la même que celle de *D. wenkei*;

(iv) *Dichogaster navana* (30) récoltée dans la galerie forestière et dans le recrû forestier, cette espèce présente un *prostomium* schizolobique et est géophage. Elle a été observée jusqu'à présent uniquement en RDC;

(v) *Dichogaster savanicola* (28), a été trouvée dans le recrû forestier, dans la savane arborescente et herbeuse et dans les sols sous cultures. Cette espèce géophage est caractérisée par un *prostomium* prolobique. Elle est présente dans les savanes du parc national de l'Upemba et dans toutes les savanes de la RDC;

(vi) *Dichogaster silvestris* (27) récoltée dans la forêt dense semi décidue et dans la galerie forestière, cette espèce présentant un *prostomium* épilobique est géophage. Sa présence est attestée dans les provinces du Kivu et dans la province du Kongo Central. Sa distribution couvre toutes les provinces de la RDC;

**Tableau 1**  
Répartition de la richesse spécifique des lombriciens selon les biotopes de collecte.

Biotope	2013				2014			
	Individu	Famille	Espèce	F (%)	Individu	Famille	Espèce	F (%)
FD	390	1	6	39,4	404	1	6	33,8
GF	255	1	7	25,7	377	1	7	31,6
RF	117	2	5	11,8	180	2	5	15,1
SA	99	2	3	10	118	2	3	9,9
SH	78	1	3	7,9	73	1	3	6,1
SSC	52	1	2	5,2	42	1	2	3,5
Totaux	991	-	-	100	1194	-	-	100

GF: galerie forestière, RF: recrû forestier, SA: savane arbustive, SH: savane herbeuse, SSC: sol sous culture

**Tableau 2**  
Matrice de similarité (indice de Jaccard) appliquée aux taxons non rares entre les biotopes.

	FD	GF	RF	SA	SH	SSC
FD	1					
GF	0,63	1				
RF	0,25	0,38	1			
SA	0,13	0,11	0,17	1		
SH	0,13	0,25	0,17	0,5	1	
SSC	0,14	0,14	0,2	0,67	0,67	1

(FD: forêt dense semi décidue, GF: galerie forestière,

RF: recrû forestier, SA: savane arbustive, SH: savane herbeuse, SSC: sol sous culture).

**Tableau 3**  
Diversité et abondance relative des lombriciens récoltés en 2013 et 2014.

Ordre	Famille	Espèce	2013	2014	Total	F (%)
Haplotaxida	Acanthodrilidae	<i>Benhamia itoliensis</i>	50	61	111	5
Haplotaxida	Acanthodrilidae	<i>Dichogaster wenkei</i>	120	131	251	11,4
Haplotaxida	Acanthodrilidae	<i>D. tenuiseta</i>	44	48	92	4,2
Haplotaxida	Acanthodrilidae	<i>D. navana</i>	61	111	172	8
Haplotaxida	Acanthodrilidae	<i>D. savanicola</i>	126	121	247	11,3
Haplotaxida	Acanthodrilidae	<i>D. silvestris</i>	137	147	284	13
Haplotaxida	Acanthodrilidae	<i>D. stuhlmanni</i>	93	141	234	10,7
Haplotaxida	Acanthodrilidae	<i>D. austeni</i>	126	140	266	12,2
Haplotaxida	Acanthodrilidae	<i>D. congica</i>	197	240	437	20
Haplotaxida	Eudrilidae	<i>Hyperiodrilus africanus</i>	37	54	91	4,2
Totaux	2	10	991	1194	2185	100

(vii) *Dichogaster stuhlmanni* (25) récoltée dans la forêt dense semi décidue, dans la galerie forestière et dans le recrû forestier. Cette espèce à *prostomium* épilobique est géophage. Elle est présente dans les forêts du parc national de l'Upemba et est rencontrée dans la plupart des provinces de la RDC;

(viii) *Dichogaster austeni* (4) récoltée dans la forêt dense semi décidue, dans la galerie forestière et dans le recrû forestier, cette espèce présentant un *prostomium* épilobique est phytosaprophage. Elle est présente dans la province du Sud Kivu en RDC. Elle est aussi rencontrée dans toutes les autres provinces de la RDC;

(ix) *Dichogaster congica* (19) récoltée dans la forêt dense semi décidue, dans la galerie forestière, dans la savane arborescente et herbeuse ainsi que dans le sol sous cultures. Cette espèce présentant un *prostomium* prololobique est géophage. Elle est largement répandue dans les sols de toutes les provinces de la RDC.

Les Eudrilidés sont représentés par une seule espèce *Hyperiodrilus africanus* (3) récoltée dans le recrû forestier et dans la savane arborescente, cette espèce à *prostomium* prololobique est géophage. Décrite en Côte d'Ivoire et rencontrée en RDC, elle serait spécifique de l'Afrique tropicale (32). Des résultats similaires ont été notés dans le Constantinois algérien par Ouahrani (34) et au sud de la ville d'Alger par Baha (1) qui ont tous les deux répertoriés onze espèces lombriciennes.

En revanche, la richesse spécifique et la diversité de ces lombriciens sont faibles et différentes de celles trouvées par Razafindrakoto (35) à Madagascar qui a inventorié trente-trois espèces dont treize endémiques et vingt exotiques. Cette différence pourrait s'expliquer par la qualité des biotopes et les

différents types de sols. En effet, nous avons travaillé dans des biotopes naturels et anthropisés sur des sols sableux pouvant influencer fortement la diversité et la densité lombricienne.

Par contre, les études citées ci-dessus ont été réalisées uniquement dans des biotopes naturels non anthropisés et sur des sols argileux qui constituent un microclimat favorable au développement de plusieurs espèces lombriciennes.

A cela s'ajoutent les conditions climatiques pouvant varier d'une région à une autre.

### Indices de diversité

L'indice de diversité de Shannon-Weaver est égal 2,18 pour les espèces collectées en 2013 contre 2,22 pour celles collectées en 2014 (Figure 2). Ce faible indice de diversité serait dû au déséquilibre de la structure taxonomique de la communauté causé par les perturbations anthropiques.

La diversité taxonomique est plus importante en 2014 qu'en 2013. Un tel résultat suggère que l'arrêt des perturbations anthropiques permet une recolonisation des biotopes par des espèces très sensibles à ces pressions comme l'ont souligné les travaux de Schwert (36), d'Edwards et Bohlen (14), et de Milau *et al.* (31) car les lombriciens répondent très rapidement à cet arrêt de pressions anthropiques.

Les équivalences sont similaires lors des deux années d'étude. Elles s'expliquent notamment par la présence majoritaire des mêmes espèces, les unes sont inféodées aux biotopes forestiers et les autres aux biotopes savaniques et anthropisés. Ce qui suggère une faible sensibilité aux contraintes environnementales.

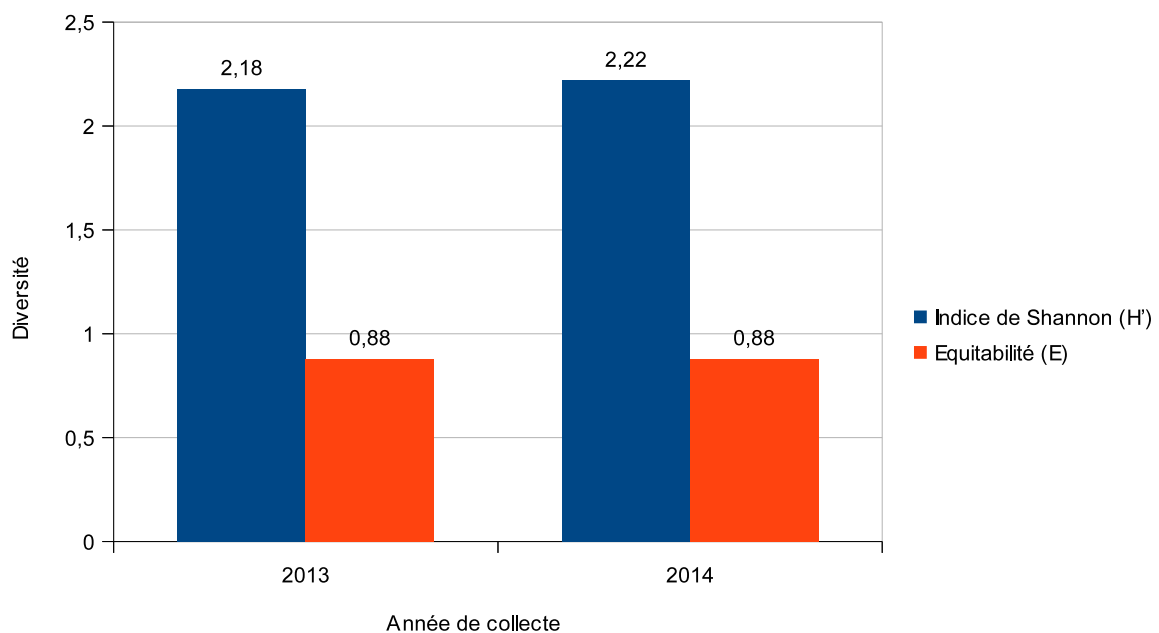


Figure 2: Indices de diversité.

## Conclusions

Cette étude préliminaire a permis de dénombrer 2.185 lombrics dont 991 en 2013 et 1.194 en 2014. Les individus ont été récoltés en nombre plus important dans la forêt dense semi décidue (794 individus soit 36,3% de la totalité des individus récoltés) puis dans la galerie forestière (632 individus soit 29% de la totalité des individus récoltés). Le nombre d'individus récoltés dans les autres biotopes échantillonnés demeure faible. La famille des Acanthodrilidés est la mieux représentée avec 9 espèces soit 90% du total des taxons échantillonnés.

Au sein des Acanthodrilidés, c'est l'espèce *Dichogaster congica* qui a été récoltée en plus grand nombre (437 individus soit 20% de la totalité des individus récoltés). Cette étude a permis d'établir la première liste de la biodiversité lombricienne présente dans la RDCBL. Cet inventaire de base pourra ainsi servir de référence aux études complémentaires qui seront effectuées par la suite afin d'étudier l'évolution de la biodiversité des lombrics de toute la région avec l'utilisation d'autres méthodes et techniques d'échantillonnages.

## Références bibliographiques

- Baha M., 1997, The earthworm fauna of Mitidja, Algeria, *Tropical Zool.* **10**, 247-254.
- Baha M. & Berra S., 2001, *Proselodrilus doumandjii* n.sp., a new lumbricid from Algeria, *Tropical Zool.* **14**, 87-93.
- Beddard F.E., 1891, The classification and distribution of earthworms, *Proc. R. Phys. Soc.*, **10**, 235-290.
- Beddard F.E., 1901, On some species of earthworms of the genus *Benhamia* from tropical Africa, *Proc. Zool. Soc. London*, **2**, 190-206.
- Blondel J. & Bourlière F., 1979, *Biogéographie et écologie: synthèse sur la structure, la dynamique et l'évolution des peuplements de vertébrés terrestres*. Masson, Paris, 173 p.
- Bouché M.B., 1972, Lombriciens de France. Ecologie et Systématique. I.N.R.A. *Annales de Zoologie Ecologie Animale*, Paris, 671p.
- Claus C.F.E., 1880, *Grundzüge der Zoologie 4th edn. Marburg*, El wert Press. 821 pp.
- Cluzeau D., Cannavacciuolo M. & Péres G., 1999, *Indicateurs microbiologiques des sols: les lombriciens – Méthode d'échantillonnage dans les agrosystèmes en zone tempérée*. In Euroviti 99, 12<sup>ème</sup> Colloque Viticole et Œnologique Nov 99, Montpellier (Eds. ITV France, Paris, pp. 25-38.
- Csuzdi C., 2010, *A monograph of the Paleotropical Benhamiinae Earthworms* (Annelida: Oligochaeta, Acanthodrilidae). *Pedozoologica Hungarica*, 348p.
- Decaëns T., 1999, *Rôle fonctionnel et réponses aux pratiques agricoles des vers de terre et autres ingénieurs écologiques dans les savanes colombiennes*. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 412p.
- Decaëns T., Mariani L. & Lavelle P., 1999, Soil surface macrofaunal communities associated with earthworm casts in grasslands of the Eastern Plains of Colombia, *Appl. Soil Ecol.*, **13**, 87-100.
- Decaëns T., 2010, Macroecological patterns in soil communities, *Global Ecol. Biogeogr.*, **19**, 3, 287-302.
- Didden W.A.M., 2003, *Oligochaeta*. In: B.A. Markert, A.M. Breure, H.G. Zechmeister, *Bioindicators and Biomonitors: Principles, concepts and applications*. Elsevier, pp. 555-576.
- Edwards C.A. & Bohlen P.J., 1996, *Biology and Ecology of earthworms* (3rd edition). Chapman & Hall, Inc., London, 426p.
- Edwards C.A. & Lofty J.R., 1977, *Biology of earthworms*. (2e edition). Chapman & Hall, Inc., London, 333p.
- Fragoso C., Brown G.G., Patron J.C., Blanchart E., Lavelle P., Pashanasi B., Senapati B. & Kumar T., 1997, Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms, *Appl. Soil Ecol.*, **6**, 3-16.
- Fragoso C., Lavelle P., Blanchart E., Senapati B., Jiménez J. J., De Los Angeles M., Decaëns T. & Tondoh J., 1999, *Earthworm Communities of Tropical Agroecosystems: Origin, Structure and Influence of Management Practices*. Wallingford: CABI, p.27-55
- Guénola P., 2003, *Identification et quantification in situ des interactions entre la diversité lombricienne et la macrobioporosité dans le contexte polyculture breton. Influence sur le fonctionnement hydrique du sol*, *Ecologie, Environnement*. Université Rennes, 1. 266p.
- Horst R., 1894, On an earthworm from the Upper-Congo *Benhamia congica* n.sp. - *Tijdschrift der Nederlandsche Dierkundige Vereeniging*. **4**, 68-70.
- IUSS Working Group WRB., 2006, *World reference base for soil resources 2006*. 2nd edn. World Soil Resources Report No. 103. FAO, Rome. 217pp.
- Ladmirant H., 1964, *Carte géologique à l'échelle du 1/200 000. Notice explicative de la feuille Léopoldville*. Service Géologique du Congo Léopoldville. 40p.
- Lavelle P., 1983, *The structure of earthworm communities*. In Satchell, J. E.,(eds). *Earthworm Ecology: from Darwin to Vermiculture*. Chapman & Hall, Inc., London, p. 449-466.
- Lavelle P., Bignell D., Lepage M., Wolters V., Roger P., Ineson P., Heal O.W. & Dhillion S., 1997, Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers, *Eur. J. Soil Biol.*, **33**, 4, 159-193.
- Lessedjina K., 1970, *Facteurs limitant la densité et l'activité d'Hyperodrilus africanus, Beddard 1891 (Oligochète, Opisthopore. Eudrilidae) sous pelouse de paspalum*. Mémoire, Université Nationale du Zaïre. 149p.
- Michaelsen W., 1890, Beschreibung der von Herrn Dr F. Stuhlmann im Müdungsgebiet des Sambesi gesammelten Terricolen, *Mitteilungen aus Museum Hamburg*, **7**, 1- 30.
- Michaelsen W., 1892, Beschreibung der von Herrn Dr F. Stuhlmann am Victoria Nyanzagesammelten Terricolen, *Mitteilungen aus Museum Hamburg*, **92**, 3-14.



27. Michaelsen W., 1896, Die Regenwürmer Ost- Afrikas. *Die Tierwelt der Deutsch.-Ost-Afrika Berlin*, **4**, 1-48.
28. Michaelsen W., 1915, Zentralafrikanische Oligochäten, *Erg. Zweiten Deutschen Zentral-Afrika, Exp.*, 1910-1911, **1**, 185-317.
29. Michaelsen W., 1931, Ausländische pithopore Oligochäten. *Zoologische Jahrbucher, Abteilung fur Systematik, Okologie Geogr. der Tiere*, **61**, 523-578.
30. Michaelsen W., 1936, Oligochäten von Belgisch- Kongo II. *Rev. Zool. Bot. Afr.*, **28**, 213-226.
31. Milau E.F., Kachaka S., Aloni K., Mvumbi M. & Francis F., 2015, Incidence de la déforestation sur les catégories écologiques des vers de terre dans le domaine et Reserve de Chasse de Bombo-Lumene (Kinshasa), *Tropicultura*, **33**, 3, 209-217.
32. Omodeo P., 1954, Eudrilinae e octochaetinae della Costa d'ovorio (Oligochaeta) *Mem. Mus. Civ. St. Nat. Verona*, **5**, 213-229.
33. Omodeo P. & Martinucci G.B., 1987. *Earthworms of Maghreb. On earthworms*. In: A.M. Bonvicini Paglia I. & P. Omodeo (eds), *Selected Symposia and Monographs U.Z.I.*, **2**, Mucchi, Modena, 235-250.
34. Ouahrani G., 2003, *Lombrotechniques appliquées aux évaluations et aux solutions environnementales*. Thèse de doctorat d'État. Université Mentouri, 230 p.
35. Razafindrakoto M., 2012, *Etude des Annélides Oligochètes de Madagascar: Taxonomie, Distribution et Ecologie*. Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, Madagascar, 174 p.
36. Schwert D.P., 1990, *Oligochaeta: Lumbricidae*. In: *Dindal, D.L (Ed.) Soil Biology Guide*. John Wiley & Sons, New York, p. 341-356.
37. Shannon C.E., 1948, «A Mathematical Theory of Communication». In: *The Bell Syst. Tech. J.*, **27**, 4, 623-656.
38. Soil Survey Staff., 2006, *Keys to soil Taxonomy*, 10th edition. Soil Conservation Service, USDA. Washington D.C. 331p.

F. Milau, Congolais (RDC), PhD, Professeur, 'université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire de Gestion des Ressources Naturelles, Kinshasa, R.D. Congo .

A. Lemtiri, Français, PhD, Assistant de recherche, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive, Gembloux, Belgique.

M. Mungyeko, Congolais (RDC), Doctorant, Chef des travaux, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Laboratoire de Géomorphologie et pédologie, Kinshasa, R.D. Congo.

J. Aloni, Congolais (RDC), PhD, Professeur, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Laboratoire de Géomorphologie et pédologie, Kinshasa, R.D. Congo.

F. Francis, Belge, PhD, Professeur, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive, Gembloux, Belgique.

# AFLP Analysis of Genetic Diversity Among Different *Jatropha curcas* L. Genotypes from Africa and Ecuador

N.O. Konan<sup>1\*</sup>, L.N. Nacoulima<sup>2</sup> & F.H. Diouf<sup>2</sup>

**Keywords:** *Jatropha curcas*- Genetic diversity- AFLP- Molecular markers- Polymorphism- Biodiesel- Ivory Coast

## Summary

Six populations amounting to a total number of seventy genotypes of *Jatropha curcas* L. originating from Africa (Senegal, Mali, Burkina Faso and Madagascar) and Ecuador were investigated for genetic diversity using two AFLP primer combinations. The results revealed a high genetic diversity in the populations studied. The population with greatest genetic diversity was Madagascar ( $H_e = 0.2638$  and  $I = 0.4066$ ) and the least diverse was Senegal-Tamba ( $H_e = 0.1962$  and  $I = 0.3079$ ). AMOVA (analysis of molecular variance) detected the highest proportion of variation within populations (81% of the total molecular variation). This may be attributed to the high level of allogamy observed in this species. The Nei's standard unbiased genetic distance ( $D$ ) between the populations ranged from 0.010 (Senegal-Tamba and Burkina Faso) to 0.131 (Mali and Ecuador); the average was 0.063. Analysis of the genetic relationships among the 6 populations using both neighbor-joining cluster analysis and principal component analysis (PCoA) showed five clusters with globally, groupings of i) most of Burkina Faso and Senegal-Tamba genotypes, ii) most of Mali and Senegal-Diobass genotypes, iii) most of Madagascar and Ecuador genotypes, and iv) some mixings of genotypes with different origins. Considering the distance existing between the different origins there are prospects to develop F1 hybrids. The greatest heterosis might be expected from crossing involving genotypes of cluster I and cluster V which group the more distant genotypes. Such crossing schemes might produce greater success in the production of genetic variability and might maximize the exploitation of heterosis and segregation.

## Résumé

### Analyse par les marqueurs AFLP de la diversité génétique de différents génotypes de *Jatropha curcas* provenant d'Afrique et d'Equateur

Soixante-dix génotypes de *Jatropha curcas* L. originaire d'Afrique (Sénégal, Mali, Burkina Faso et Madagascar) et d'Equateur ont été analysés pour leur diversité génétique en utilisant deux combinaisons de marqueurs AFLP. Les résultats ont révélé une importante diversité génétique dans les populations étudiées. La population avec la plus grande diversité génétique était celle de Madagascar ( $H_e = 0.2638$  and  $I = 0.4066$ ) et la moins diverse celle du Senegal-Tamba ( $H_e = 0.1962$  and  $I = 0.3079$ ). L'AMOVA (analysis of molecular variance) a détecté la plus grande variation (81% de la variation moléculaire totale) dans les populations contre 19% entre populations. Cela pourrait être dû au haut niveau d'allogamie observé chez cette espèce. La distance génétique standard non biaisée de Nei allait de 0.010 (Senegal-Tamba et Burkina Faso) à 0.131 (Mali et Ecuador); la moyenne était de 0,063. L'analyse des relations génétiques entre les 6 populations en utilisant la méthode du neighbor-joining cluster analysis et l'analyse des composantes principales (PCoA) a montré 5 clusters avec globalement les regroupements de i) la plupart des génotypes Burkina Faso et du Sénégal-Tamba, ii) la plupart des génotypes du Sénégal-Diobass et du Mali, iii) la plupart des génotypes d'Equateur et de Madagascar, et iv) quelques mélanges par endroit. En considérant les distances génétiques existant entre les différentes origines, il y a des perspectives de développement d'hybrides F1. Le croisement des génotypes des clusters I et V qui sont les plus éloignés pourrait permettre l'obtention d'hybrides exhibant les meilleurs effets d'hétérosis.

<sup>1</sup>Jean Lorougnon Guédé University, Daloa, Côte d'Ivoire.

<sup>2</sup>Liege University Gembloux Agro-Biotech., Gembloux, Belgium.

\*Corresponding author: Email: [nguessanolivier@yahoo.fr](mailto:nguessanolivier@yahoo.fr)

## Introduction

*Jatropha curcas* L. (tropical physic nut) is a perennial small tree of 5 to 8 m height belonging to the Euphorbiaceae family (12, 21, 27). The species is native to tropical America, from where it has been distributed widely in tropical and subtropical regions of the world (9, 14, 27). The genus *Jatropha* is morphologically diverse with more than 200 species composed mainly of diploids ( $2n=2x=22$ ), although triploid and tetraploid chromosome numbers have rarely been reported (7, 14). *J. curcas* is drought resistant and grows well under a wide range of climatic and soil conditions (2, 11, 14, 33). It is a monoic plant with unisexual flowers, producing male and female flowers in the same inflorescence (5, 17). It usually starts flowering and fruiting 1 year after planting, and continues to produce seeds for a period of 50 years (14). *J. curcas* reproduction is essentially via amphimixis, mainly by outcrossing (entomophilous pollination), even if the species is self-compatible and hence selfing is also possible (1). Only a small proportion of seeds are set through apomixis. The plant can also be propagated clonally by anthropic management via cuttings of stem or branch. *J. curcas* is commonly cultivated because the plant has medicinal values and it fits easily into agricultural system in the form of hedges, windbreak, and erosion barrier or as a source of firewood (6, 17). In the recent years, the species has gained tremendous significance for its potential as a feedstock in the lipid, biopharmaceutical, cosmetic and biopesticide industries, and especially for the use of its seed oil as a commercially viable alternative source of fuel (6, 31). Actually, *J. curcas* is a source of oil-rich seeds (46 to 58% of oil on kernel weight and 30 to 40% on seed weight) not edible as it contains toxic compounds and antinutritional factors. *Jatropha* oil is considered as an environment friendly renewable source of energy (1, 7). Therefore, genetic improvement of such an economic important plant is of prime importance in order to alter its current wild or semi-domesticated status to a cultivated crop with varieties having desirable characters like a high seed yield and oil content, resistance to pests and adaptability to different agro-climatic conditions (18). Understanding the genetic diversity of the species is an initial step towards selection and breeding of superior genotypes (14). Among the different breeding strategies that can be followed, hybrid breeding is one of the most promising (19). For optimal exploitation of heterosis, it is important to identify genetically distant germplasm pools (28). In the present study, we investigated genetic diversity of *J. curcas* genotypes coming from Africa and Ecuador, using AFLP markers in order to identify possible parents to be included in a hybrid breeding program.

## Materials and methods

### Plant material

Dried leaves of six populations of *J. curcas* genotypes originated from Senegal (Tamba: 5 genotypes; Diobass: 12 genotypes), Mali (11 genotypes), Burkina Faso (12 genotypes), Madagascar (14 genotypes) and Ecuador (16 genotypes) were used in this study (Table 1).

### DNA isolation

Total genomic DNA was isolated from 20 mg of dried leaves following a slightly modified mixed alkyltrimethylammonium bromide (MATAB) method as described by Lacape *et al.* (13). Briefly, leaves were ground in 2 ml safe-lock microtubes (Eppendorf, Belgium) with stainless steel beads using a Qiagen TissueLyser mixer-mill (Qiagen, Belgium) and dissolved in 800  $\mu$ L of MATAB buffer (0.1 M Tris HCl, pH 8.0, 1.5 M NaCl, 20 mM EDTA, 2% MATAB, 1% polyethylene glycol 6000, 0.5% sodium sulphite) at 72 °C. The samples were incubated for 1 hour at 72 °C and cooled for 5 minutes at room temperature. Then, 960  $\mu$ L of chloroform-isoamyl alcohol (24:1) was added to each sample. All samples were homogenized by inversion for 5 minutes, before centrifugation at 6200 g for 20 minutes at room temperature. The supernatant (800  $\mu$ L) was collected and the DNA was precipitated with 640  $\mu$ L of isopropanol by gentle shaking. After a centrifugation at 6200 g for 20 minutes, the pellet was washed with 600  $\mu$ L of 70% ethanol through a centrifugation at 6200 g for 10 minutes, dried at 60 °C for 10 minutes and dissolved in 500  $\mu$ L of TE buffer (10 mM Tris HCl, pH 8; 0.1 mM EDTA). RNA was removed by RNase treatment at 37 °C for 1 h. DNA quality and concentration were evaluated by electrophoresis in SYBR Safe (Invitrogen, Belgium) stained 1% agarose gels through comparison with low DNA mass ladder.

### AFLP Analysis

Two AFLP primer combinations (E-ACT/M-CAT and E-AAC/M-CTT) selected on the basis of their good profile in a preliminary study (not presented here) were used. AFLP was carried out using the "AFLP Analysis System I/AFLP starter primer kit" (Invitrogen, Belgium) following the protocol proposed by Invitrogen. Briefly, genomic DNA (250 ng) was double digested with EcoR I and Mse I restriction endonucleases. The digested DNA fragments were ligated to EcoR I and Mse I adaptors with T4 DNA ligase to generate template DNA for amplification by PCR. Two consecutive PCR were performed: a pre-selective and selective PCR. In the pre-selective reaction, DNA was amplified using an AFLP pre-amp primer pair complementary to the adaptors and each having one selective nucleotide. Pre-selective PCR amplification was used as template for the selective amplification using AFLP primers, each containing three selective nucleotides.

**Table 1**  
Genotypes, country and region of origin of the 75  
*Jatropha curcas* used in the study.

N°	Collection Id.	Country	Region
1	T A3 (9/18)	Senegal (Tamba)	West Africa
2	T A4 (13/24)	Senegal (Tamba)	West Africa
3	T A4 (3/8)	Senegal (Tamba)	West Africa
4	T A4 (13/35)	Senegal (Tamba)	West Africa
5	T A4 (4/37)	Senegal (Tamba)	West Africa
6	D A3 (6/32)	Senegal (Diobass)	West Africa
7	D A3 (14/21)	Senegal (Diobass)	West Africa
8	D A4 (12/16)	Senegal (Diobass)	West Africa
9	D A4 (13/15)	Senegal (Diobass)	West Africa
10	D A4 (10/16)	Senegal (Diobass)	West Africa
11	D A4 (10/24)	Senegal (Diobass)	West Africa
12	D A4 (10/23)	Senegal (Diobass)	West Africa
13	D A4 (9/16)	Senegal (Diobass)	West Africa
14	D A4 (13/12)	Senegal (Diobass)	West Africa
15	D A5 (3/18)	Senegal (Diobass)	West Africa
16	D A5 (10/12)	Senegal (Diobass)	West Africa
17	D A5 (7/14)	Senegal (Diobass)	West Africa
18	B A5 (1/21)	Burkina Faso	West Africa
19	B A5 (5/7)	Burkina Faso	West Africa
20	B A5 (4/13)	Burkina Faso	West Africa
21	B A5 (9/36)	Burkina Faso	West Africa
22	B A5 (1/26)	Burkina Faso	West Africa
23	B A6 (1/26)	Burkina Faso	West Africa
24	B A6 (1/7)	Burkina Faso	West Africa
25	B A6 (1/9)	Burkina Faso	West Africa
26	B A6 (7/22)	Burkina Faso	West Africa
27	B B3 (6/30)	Burkina Faso	West Africa
28	B B3 (7/29)	Burkina Faso	West Africa
29	B B3 (7/31)	Burkina Faso	West Africa
30	M A3 (13/43)	Mali	West Africa
31	M A4 (12/24)	Mali	West Africa
32	M A5 (2/28)	Mali	West Africa
33	M A5 (6/32)	Mali	West Africa
34	M A5 (2/29)	Mali	West Africa
35	M B3 (5/6)	Mali	West Africa



36	M B3 (8/15)	Mali	West Africa
37	M B3 (10/56)	Mali	West Africa
38	M B3 (8/12)	Mali	West Africa
39	M B3 (9/13)	Mali	West Africa
40	M B4 (6/18)	Mali	West Africa
41	MAD 1	Madagascar	Madagascar
42	MAD 2	Madagascar	Madagascar
43	MAD 3	Madagascar	Madagascar
44	MAD 4	Madagascar	Madagascar
45	MAD 5	Madagascar	Madagascar
46	MAD 6	Madagascar	Madagascar
47	MAD 8	Madagascar	Madagascar
48	MAD 9	Madagascar	Madagascar
49	MAD 10	Madagascar	Madagascar
50	MAD 11	Madagascar	Madagascar
51	MAD 13	Madagascar	Madagascar
52	MAD 14	Madagascar	Madagascar
53	MAD 15	Madagascar	Madagascar
54	MAD 16	Madagascar	Madagascar
55	EQ 1	Ecuador	America
56	EQ 2	Ecuador	America
57	EQ 3	Ecuador	America
58	EQ 4	Ecuador	America
59	EQ 5	Ecuador	America
60	EQ 6	Ecuador	America
61	EQ 7	Ecuador	America
62	EQ 8	Ecuador	America
63	EQ 9	Ecuador	America
64	EQ 10	Ecuador	America
65	EQ 11	Ecuador	America
66	EQ 12	Ecuador	America
67	EQ 13	Ecuador	America
68	EQ 14	Ecuador	America
69	EQ 15	Ecuador	America
70	EQ 16	Ecuador	America

Amplification products were separated on 6.0% denaturing polyacrylamide gel and visualized by silver stain according to the following protocol: fixing the gel for 3 minutes in a fixing solution (10% ethanol, 0.5% acetic acid, in water), staining for 5 minutes in a staining solution (0.2% silver nitrate, in water), rinsing in de-ionized water for 3 seconds, developing in a cold (4–10 °C) developer solution (0.15% sodium hydroxide, 0.2% formaldehyde, in water) until the DNA bands became visible. The gel was rinsed for 1 min in the fixing solution, air-dried and DNA bands were analyzed and photo-documented using a Nikon digital camera (Nikon, Belgium).

#### Data collection and statistical analysis

The scoring of bands was done as present [1] or absent [0] for AFLP marker loci and data were entered in a binary data matrix as discrete variables. Only unambiguous polymorphic bands were scored. POPGENE software (version 1.32) was used to calculate observed number of alleles ( $na$ ), effective number of alleles ( $ne$ ), Nei's genetic diversity ( $h$ ) and Shannon's information index ( $I$ ).

Within species diversity ( $H_s$ ), total genetic diversity ( $H_t$ ), mean coefficient of gene differentiation ( $G_{st}$ ) and estimate of gene flow ( $Nm$ ) were also calculated by POPGENE software. Dissimilarity coefficients between the genotypes, in a pairwise comparison, were computed using Jaccard's coefficient of dissimilarity to estimate relationships between the genotypes studied. The resulting dissimilarity matrix was subjected to cluster analysis by the neighbor-joining method and a dendrogram, showing the distance-based interrelationship among the genotypes, was generated using FreeTree software (23). Robustness of the clustering pattern was evaluated by bootstrapping analysis using 1000 repetitions, with FreeTree software. TreeView drawing program:

(<http://taxonomy.zoology.gla.ac.uk/rod/treeview.html>) was then used to draw the dendrogram. Analysis of Molecular Variance (AMOVA) was carried out with GenALEX 6.5 software (24) to examine total genetic variation among and within accessions; in addition, Principal Component Analysis (PCoA) was performed in order to more effectively view the patterns of genetic distance. GenALEX software was also used to calculate Nei's unbiased genetic distance among the different populations. Nei's unbiased genetic distance is an accurate estimate of the number of gene differences per locus when populations are small (20).

## Results

The primer combinations produced a total of 54 polymorphic bands, with 29 bands for E-ACT/M-CAT combination and 25 bands for E-AAC/M-CTT combination. The percentage of polymorphic bands in the populations varied from 66.67% (Senegal-Tamba) to 90.74% (Ecuador and Madagascar), with an average of 82.10% (Table 2).

Analysis of genetic variability across the populations gave data consigned in table 2. For all the six populations analyzed, the effective number of alleles ( $N_e$ ) was between 1.3082 and 1.4376 with an average of 1.372 (0.019); the Nei's genetic diversity ( $H_e$ ) ranged from 0.1962 to 0.2638 with an average of 0.229 (0.010); the Shannon's diversity index ( $H'$ ) ranged from 0.3079 to 0.4066, the average was 0.358 (0.013). These results indicate a significant genetic diversity in the populations studied. The population with greatest genetic diversity was Madagascar. The least diverse was Senegal-Tamba, suggesting a few introduced plants and their vegetative propagation activity in this region.

$H_t$  value was 0.2771 while  $H_s$  value was 0.2293 (+/- 0.0217). Mean coefficient of gene differentiation ( $G_{st}$ ) was 0.1723 (0.0131), indicating that 82.77% of the genetic diversity resided within the population. Estimate of gene flow in the population was found as 2.4013.

Analysis of Molecular Variance (AMOVA) partitioned the overall AFLP variations into variance among populations and within population. The highest proportion of variation was found within populations with 81% of the total molecular variation (Figure 1). The Nei's standard unbiased genetic distance ( $D$ ) between the populations was between 0.010 and 0.131 with the pairwise population matrix (Table 3); the average was 0.063. The shortest genetic distance was observed between Senegal-Tamba and Burkina Faso, while the most distant populations were Mali and Ecuador (Table 3). The dendrogram plotted basing on Nei's genetic distance between the six populations grouped them in 3 groups: Senegal-Tamba and Burkina Faso, Madagascar and Ecuador, and Senegal-Diobass and Mali (Figure 2).

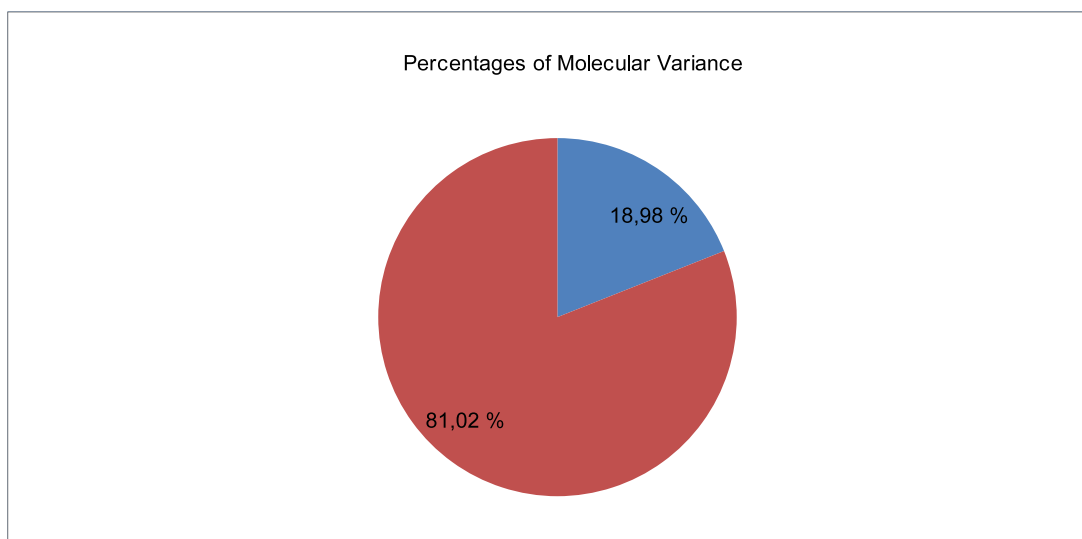
A neighbor-joining method based dendrogram (Figure 3) was obtained from the binary data deduced from the DNA profiles of the samples analyzed. The Jaccard's dissimilarity coefficients used, ranged from 0.1 (low genomic dissimilarity) to 1 (full genomic dissimilarity) with a mean of 0.723. The lowest genetic dissimilarity coefficient [0.1] was observed between 6-Senegal-*Di* and 7-Senegal-*Di*, while the highest value [1] was measured between several plants but mainly between 27-Bur Faso and several plants of Madagascar and Ecuador.

The dendrogram divided the 70 *Jatropha* genotypes into 5 major clusters (I, II, III, IV and V, Figure 3). Cluster I contained 21 genotypes from Burkina Faso (9 genotypes), Ecuador (1 genotype), Madagascar (3 genotypes), Senegal-Diobass (4 genotypes) and almost all the Senegal-Tamba genotypes (4 genotypes). Cluster II had 21 genotypes coming essentially from Mali (10 genotypes) and Senegal-Diobass (8 genotypes). Cluster III contained 5 genotypes (2 from Madagascar, 2 from Ecuador and 1 from Senegal-Tamba). Cluster IV involved 21 genotypes originated essentially from Madagascar (7 genotypes) and Ecuador (13 genotypes). Cluster V had 2 genotypes, coming from Madagascar. In this study, globally, genotypes coming from the same region tended to cluster together indicating a relation between eco-geographical distribution of genotypes and genetic diversity. The PCoA plots (Figure 4) obtained, showed clustering similar to that of the dendrogram. The first three axes explained 45.46% (19%, 13.68% and 12.78%) of the total variation.

**Table 2**  
Genetic variability across the six populations of *J. curcas* investigated, using AFLP primers.

	Pop size	Observed no. of alleles (Na)	Effective no. of alleles (Ne)	Nei's gene diversity (He)	Shannon's Information index (I)	% of polymorphism
Pop1 (Senegal-Tamba )	5	1.6667 (0.4758)	1.3082 (0.3132)	0.1962 (0.1709)	0.3079 (0.2477)	66,67
Pop1 (Senegal-Diobass)	12	1.8889 (0.3172)	1.4314 (0.3544)	0.2599 (0.1734)	0.4014 (0.2298)	88,89
Pop2( Burkina)	12	1.7778 (0.4196)	1.3268 (0.3338)	0.2030 (0.1775)	0.3196 (0.2461)	77,78
Pop3 (Mali)	11	1.7778 (0.4196)	1.4024 (0.3746)	0.2372 (0.1920)	0.3616 (0.2632)	0,7778
Pop5 (Madagascar)	14	1.9074 (0.2926)	1.4376 (0.3484)	0.2638 (0.1732)	0.4066 (0.2296)	90,74
Pop6 (Ecuador)	16	1.9074 (0.2926)	1.3269 (0.2864)	0.2157 (0.1476)	0.3505 (0.1989)	90,74
Mean		1.654 (0.042)	1.372 ( 0.019)	0.229 (0.010)	0.358 (0.013)	82.10% (3.96%)

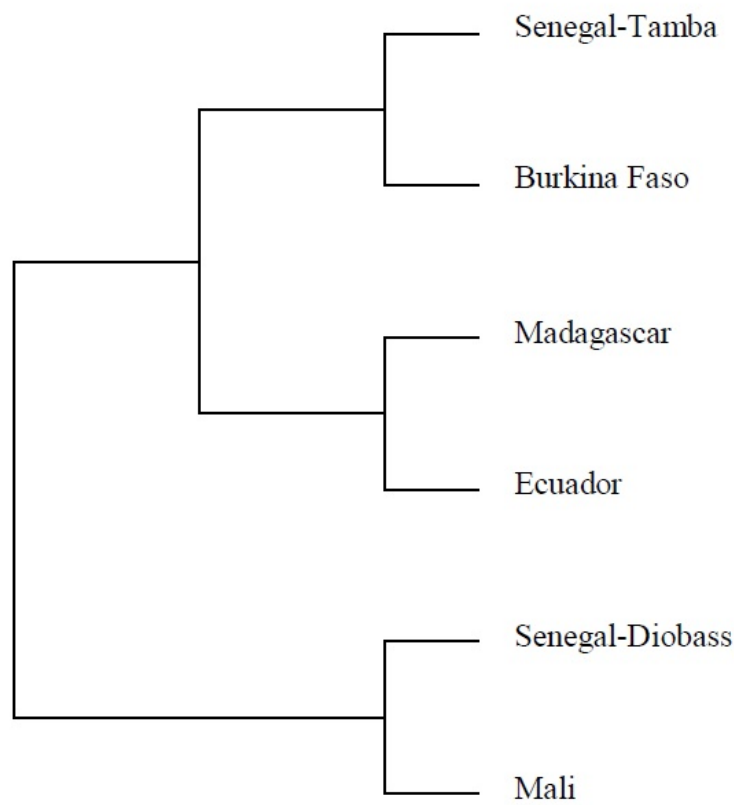
The values in the brackets are standard deviation.



**Figure 1:** Result of analysis of molecular variance (AMOVA) showing the percentage of variation among and within populations for the six populations of *J. curcas*.

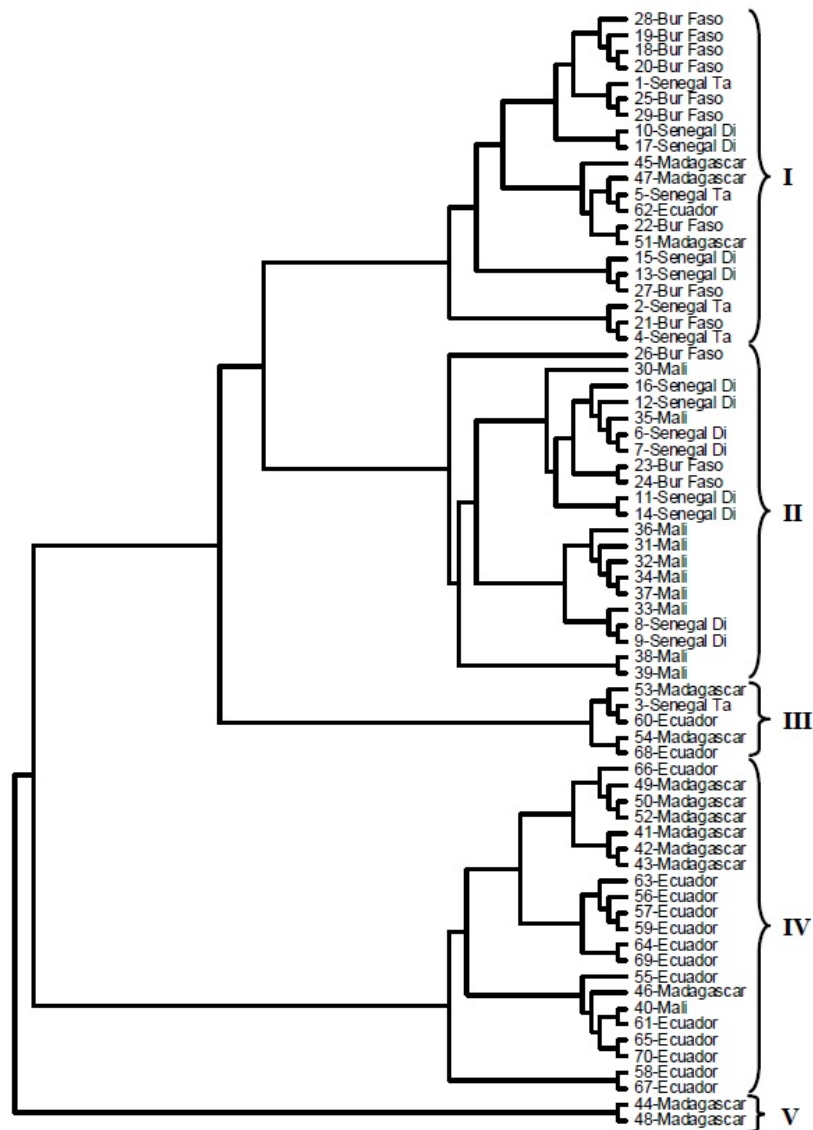
**Table 3**  
Pairwise population matrix of Nei unbiased genetic distance calculated with AFLP data obtained in the six populations of *J. curcas* studied.

	Senegal-Ta	Senegal-Di	Burkina Faso	Mali	Madagascar	Ecuador
Senegal Ta	0					
Senegal Di	0,057	0				
Burkina Faso	0,01	0,046	0			
Mali	0,125	0,041	0,096	0		
Madagascar	0,031	0,069	0,041	0,112	0	
Ecuador	0,029	0,086	0,052	0,131	0,013	0

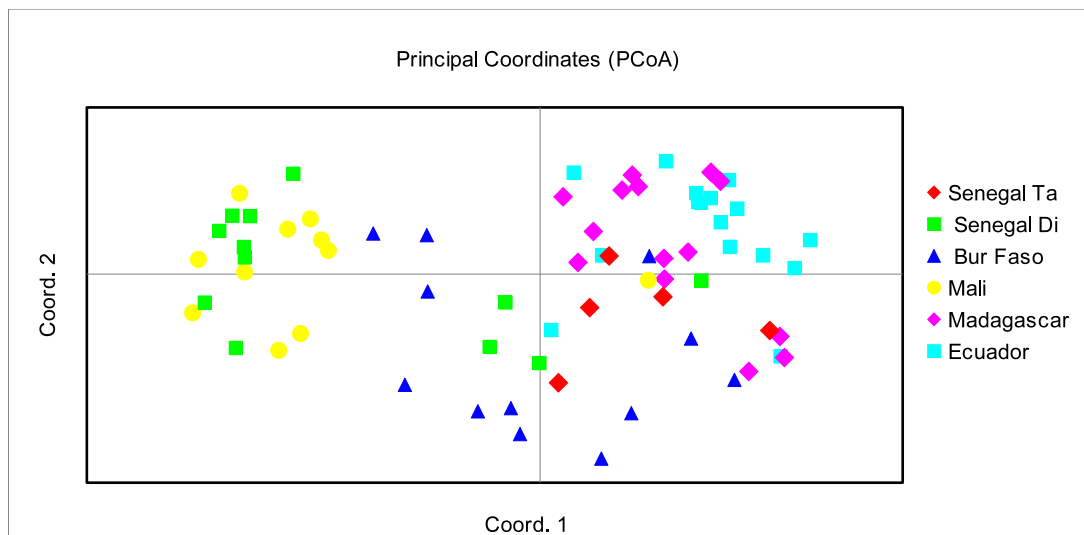


**Figure 2:** Dendrogram based Nei's genetic distance between the six *Jatropha* populations studied.





**Figure 3:** Dendrogram generated using AFLP data and neighbor-joining method, showing relationships between *J. curcas* genotypes investigated.



**Figure 4:** Two-dimensional plot of principal component analysis (PCoA) of the seventy *Jatropha* genotypes investigated using AFLP analysis.

## Discussion

In the present study, the percentages of polymorphic loci found in the populations were important (66.67% to 90.74% with an average of 82.10) suggesting high level of genetic variation among the genotypes studied. Such levels of polymorphisms have already been reported by several authors working on *J. curcas* accessions. In Asia, Gupta *et al.* (8), working on 13 accessions from India, detected 84.26% and 76.54% polymorphism with RAPD and ISSR markers, respectively. Likewise, Ram *et al.* (26) and Ikbal *et al.* (10) reported, respectively, 80.2% and 93.90% polymorphism across accessions from India, using RAPD markers. With ISSR markers across 224 accessions from China, Cai *et al.* (4) found a polymorphism of 75%. Using the same marker technique, Mavuso *et al.* (16) obtained 85,19% polymorphism in 78 accession in Taiwan.

In America, Medina *et al.* (17), with AFLP markers, reported 71.7% to 92.1% polymorphism in 5 populations of 134 *J. curcas* genotypes from Mexico. Avendaño *et al.* (2) detected 80.24% polymorphism across 28 genotypes from Costa Rica using AFLP markers. For his part, Pioto *et al.* (25) found, with AFLP markers, polymorphisms ranged from 70.65 to 89.76% across 5 populations of *J. curcas* from Brazil. Concerning *J. curcas* from Africa, Ouattara *et al.* (22), using 33 SSR markers, across populations of Senegal, Mali and Burkina Faso, obtained almost no polymorphism. But, Maghuly *et al.* (15) with three AFLP combinations and five ISSRs across 907 *J. curcas* accessions from Africa (Cape Verde, Guinea Bissau, Burkina Faso, Ethiopia, Kenya, Mali, Tanzania) America and Asia found nearly the same polymorphism for the 3 continents with 31.4% for America, 31.2% for Asia and 33.1% for Africa suggesting that levels of polymorphisms found in Asia and America are about the same among *J. curcas* from Africa.

The results of the study of Machua *et al.* (14) are in line with this hypothesis; using RAPD markers in eight *J. curcas* populations from Kenya, they detected polymorphisms ranging from 25% to 73.31% with an overall mean of 55.33%.

The conflicting results obtained regarding the genetic diversity of *J. curcas* in Africa may be related to sampling size or to the use of limited number of markers. Both factors could result in overestimating or underestimating the diversity indices (32). SSR-based studies have generally detected less diversity in *Jatropha* compared with those found with dominant markers like AFLP, RAPD or ISSR (6, 32). This is probably because AFLP, RAPD, ISSR makers make possible the detection of variations across the entire genome, whereas SSR markers are confined to the repeat regions of the DNA (32). AFLP is a rich information marker system due to its ability to generate a large number of polymorphic/informative loci simultaneously in a single lane with a single-primer combination, and this marker system does not require any prior DNA sequence information before utilization contrary to SSR (2).

Parameters of genetic diversity (polymorphism rates, effective number of alleles ( $N_e$ ), Shannon diversity index ( $H$ ), genetic diversity of Nei ( $H_e$ ) obtained in the present study revealed a high genetic variance in the populations studied. AMOVA detected that the highest proportion of variation was found within populations (81% of the total molecular variation). This result is in accordance with several works reporting that the genetic variation was found mainly within *J. curcas* populations (2, 8, 10, 15, 17, 30). The high level of within population variation is frequently observed in allogamous species (9, 14, 29). The allogamous status of *Jatropha* and the dominance and efficiency of cross-fertilization in this species as reported by Santos *et al.* (14, 29), support our finding.

The Nei's standard unbiased genetic distance ( $D$ ) between the populations was low (0.063 on average), confirming the low genetic variation between them. The dendrogram plotted basing on the pairwise population matrix of Nei unbiased genetic distance grouped the six populations in 3 groups: Senegal-Tamba and Burkina Faso, Madagascar and Ecuador and Senegal-Diobass and Mali. The existence of 3 groups rather than one group means that there is a certain differentiation among the 6 populations. A measure of this differentiation gave a  $G_{st}$  value of 0.1723. Since  $G_{st}$  values between 0.00 and 0.05, 0.05 and 0.15, 0.15 and 0.25, and  $>0.25$  are known to reveal respectively low, moderate, high and very high differentiation among populations (3), the  $G_{st}$  value found in the present work indicates a rather high population differentiation.

For a better comprehension of this differentiation, the genetic relationships among the 6 populations were examined through both neighbor-joining cluster analysis and principal component analysis (PCA). Results from both analysis showed similar structuring. In both cases the analysis grouped together i) most of Ecuador and Madagascar genotypes, ii) most of Senegal-Diobass and Mali genotypes, and iii) Most of Burkina Faso and Senegal-Tamba genotypes with a part of Madagascar, Senegal-Diobass and Ecuador genotypes. These results show that, the genotypes of *J. curcas* used in this study were globally correlated with their geographic origins, although some mixings occurred. Madagascar and Ecuador genotypes, despite the great geographic distance between them, clustered together revealing that the phylogenetic characteristics of *J. curcas* from South America, close to the Central America region where *J. curcas* originated, and from Madagascar, where the species was spread after the discovery of America, were very similar. The existence of Senegal, Burkina Faso, Madagascar and Ecuador genotypes in a same group suggests that all these populations had a common background. This finding supports the hypothesis of a common ancestor and confirms the observation of Heller (9), who showed the distribution and spread of *J. curcas*. The study of the genetic relationships among the 6 populations showed also that most of the genotypes of Senegal-Tamba and Burkina Faso grouped together, while most of the Senegal-Diobass and Mali genotypes formed a cluster.

This observation indicates a differentiation between population from Diobass and Tamba which are two regions of the same country, Senegal. Moreover, the separate clustering of *J. curcas* populations from the same West African region, on one the hand, and the separation of these West African genotypes from some of Madagascar and Ecuador, on the other hand, suggests the existence of a differentiation between some germplasm from these regions.

This result supports the great variations in important phenotypic, physiological and biological traits such as plant height, seed size, water use efficiency and seed oil content previously reported in *J. curcas* germplasm (30, 32). But, our result is opposite to previous works that reported no or minor differentiation in African *J. curcas* populations (22, 32). The level of genetic diversity and differentiation of *J. curcas* is partly attributed to the mode of its introduction in many countries, prior to anthropogenic management, selective environmental pressure, or possible cross hybridization (30). Its interpretation requires an understanding of the history of *J. curcas* introduction in the different parts of the tropical regions of the world as an exotic species. According to Heller (9), *J. curcas* is native to Central and South America, from where it spread to other tropical countries. It has been transported via the Cape Verde and Guinea Bissau to Africa by Portuguese traders before 1810 approximately (9, 14, 30). If this is correct, the time in which it was introduced into Africa represents a very short time to evolve new alleles. This time was not long enough to give rise to a genetic variation; so the level of genetic variation present in Africa is determined largely by the material originally exported from America, and possibly also from reciprocal trade movements between these continents (14, 27).

Consequently, the relatively high population differentiation found in the present work might be explained by the introduction in different parts of Africa and Madagascar of germplasm with particular genetic backgrounds corresponding probably to different geographic origins.

Among the different breeding strategies (clone breeding, line breeding, hybrid breeding, and population breeding) available in plant breeding, hybrid breeding of *Jatropha* constitutes one of the most promising (19). It can allow an optimum exploitation of heterosis, if genetically distant germplasm pools are identified and involved in the breeding program (19, 28). Determination of genetic relationships among species is critical for the management of genetic resources and success of hybridization. The success of *J. curcas* genetic improvement program requires germplasm collection that has broad genetic base. The result in this study indicates the existence of a certain diversity that can be used by breeders. There are prospects to develop F1 hybrids considering the distance existing between the different origins. The grouping of germplasm in divergent pools is advantageous to maximize the expected heterosis (28). The choice of the parents can be based on the complementarily characteristics existing in elite genetic stocks that will be selected in the different populations. This work will be followed by assessing the combining ability of these elite materials.

Regarding the dendrogram generated, the greatest heterosis might be expected from crossing schemes involving genotypes of cluster I and the more distant genotypes (genotypes of cluster IV and V). Such crossings might permit to benefit from heterotic

increase due to differences in allele frequencies (19), allowing for greater success in the production of genetic variability and thus might maximize the exploitation of heterosis and segregation.

## Literature

- Ambrosi D.G., Purelli M., Galla G., Fabbri A. & Barcaccia G., 2009, *Genetic diversity and reproductive biology of Jatropha curcas L.*, Poster, In: Proceedings of the 53rd Italian Society of Agricultural Genetics Annual Congress Torino, Italy – 16/19 September, 2009. (Online Poster abstract) [http://www.geneticagraria.it/attachment/SIGA\\_2009/7\\_59.pdf](http://www.geneticagraria.it/attachment/SIGA_2009/7_59.pdf).
- Avendaño R., Díaz E.G., Melara M.V., Solano N.C., Villalobos A.M., Cascante F.A., Benavides B.W. & Ramos L.Y.S., 2015, Genetic Diversity Analysis of *Jatropha* Species from Costa Rica Using AFLP Markers, *Am. J. of Plant Sci.*, **6**, 2426-2438.
- Balloux F. & Moulon N., 2002, The estimation of population differentiation with microsatellite markers, *Mol. Ecol.*, **11**, 155-165.
- Cai Y, Sun D., Wu G. & Peng J., 2010, ISSR-based genetic diversity of *Jatropha curcas* germplasm in China, *Biomass Bioenergy*, **34**, 1739-1750.
- Chang-wei L., Kun L., You C., Yong-yu S. & Wen-Yun Y., 2007, Pollen viability, stigma receptivity and reproductive features of *J. curcas* L. (Euphorbiaceae), *J. Northwest Plant*, **27**, 1994-2001.
- Figuerola M.S., Ramos J. M., Ovando J.A.V., Anaya M.L.A. & Medina I.O., 2015, Genetic diversity and structure of *Jatropha curcas* L. in its centre of origin, *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, **13**, 9-17.
- Ganesh R.S., Parthiban K.T., Senthil K.R., Thiruvengadam V. & Paramathma M., 2008, Genetic diversity among *Jatropha* species as revealed by RAPD markers, *Genet. Resour. Crop. Evol.*, **55**, 803-809.
- Gupta S., Srivastava M., Mishra G.P., Naik P.K., Chauhan R.S., Tiwari S.K., Kumar M. & Singh R., 2008, Analogy of ISSR and RAPD markers for comparative analysis of genetic diversity among different *Jatropha curcas* genotypes, *Afr. J. Biotechnol.*, **7**, 4230-4243.
- Heller J., 1996, *Physic nut-Jatropha curcas L. In: Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. <http://www.ipgri.cgiar.org/publications/pdf/161.pdf>
- Ikbal, Boora K.S. & Dhillon R.S., 2010, Evaluation of genetic diversity in *Jatropha curcas* L, using RAPD markers, *Indian J. Biotechnol.*, **9**, 50-57.
- Katwal R.P.S. & Soni P.L., 2003, Biofuels: an opportunity for socioeconomic development and cleaner environment, *Indian Forester*, **129**, 939-949.
- Kumar A. & Sharma S., 2008, An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review, *Ind. Crop Prod.*, **28**, 1-10.
- Lacape J.-M., Nguyen T.B., Thibivilliers S., Courtois B., Bojinov B.M., Cantrell R.G., Burr B. & Hau B., 2003, A combined RFLP-SSR-AFLP map of tetraploid cotton based on a *Gossypium hirsutum* x *Gossypium barbadense* backcross population, *Genome*, **46**, 612-626.
- Machua J., Muturi G., Omondi S.F. & Gicheru J., 2011, Genetic diversity of *Jatropha curcas* L. populations in Kenya using RAPD molecular markers: Implication to plantation establishment, *Afr. J. Biotechnol.*, **10**, 3062-3069.
- Maghuly F., Cieslak J., Pabinger S., Bradley J., Till B.J. & Laimer M., 2015, Geographic origin is not supported by the genetic variability found in a large living collection of *Jatropha curcas* with accessions from three continents, *Biotechnol. J.*, **10**, 536-551
- Mavuso C., Wu Y.P., Chen F.C., Huang B.H. & Lin S.J., 2016, Genetic diversity analysis of *Jatropha curcas* L. accessions cultivated in Taiwan using inter simple sequence repeats (ISSR) markers, *Agrofor. Syst.*, **90**, 417-431.
- Medina I.O., Gutiérrez A.S., Anaya L.A., Garcia F.E., Farfán J.N. & Figuerola M.S., 2011, Genetic diversity in *Jatropha curcas* populations in the state of Chiapas, Mexico. *Diversity*, **3**, 641-659.
- Minengu J.D., Mobambo P. & Mergeai G., 2014, Influence de l'environnement et des pratiques culturelles sur la productivité de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne (synthèse bibliographique), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **18**, 290-300.
- Montes, J.M., & Melchinger A.E., 2016, Domestication and Breeding of *Jatropha curcas* L., *Trends in Plant Sci.*, **21**, 1045-1057
- Nei M., 1978, Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individual, *Genet.*, **89**, 583-590.
- Openshaw K., 2000, A review of *Jatropha curcas*: an oil plant with unfulfilled promise, *Biomass Bioenergy*, **19**, 1-5.



22. Ouattara B., Ndir K.N., Gueye M.C., Diedhiou I., Barnaud A., Fonceka D.I., Cisse N., Akpo E.L. & Diouf D., 2014, Genetic diversity of *Jatropha curcas* L. in Senegal compared with exotic accessions based on microsatellite markers, *Genet. Resour. Crop. Evol.*, **61**, 1039–1045.
23. Pavlicek A., Hrdá S. & Flegr J., 1999, FreeTree – freeware program for construction of phylogenetic trees on the basis of distance data and bootstrap/jackknife analysis of the tree robustness. Application in the RAPD analysis of genus *Frenkelia*. *Folia Biol. (Praha)*, **45**, 97–99.
24. Peakall R. & Smouse P.E., 2001, GenAIExV5: *Genetic Analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research*. Australian National University, Canberra, Australia. (Online) Available with updates at <http://www.anu.edu.au/BoZo/GenAIEx/>
25. Pioto F., Costa R.S., França S.C., Gavioli E.A., Bertoni B.W. & Zingaretti S.M., 2016, Genetic diversity by AFLP analysis within *Jatropha curcas* L. populations in the State of São Paulo, Brazil, *Biomass and Bioenergy*, **80**, 316–320.
26. Ram S.G., Parthiban K.T., Kumar R.S., Thiruvengadam V. & Paramathma M., 2008, Genetic diversity among *Jatropha* species as revealed by RAPD markers, *Genet. Resour. Crop. Evol.*, **55**, 803–809.
27. Reddy M.P., Sudheer P.D.V.N., Mastan S.G., Rahman H., Carels N. & Bahadur B., 2013, *Karyology and genomics of Jatropha: Current status and future prospects*. In: *Jatropha, challenges for a new energy crop. Volume 2: Genetic improvement and biotechnology*. Eds. Bahadur B., Sujatha M., Carels N., Springer Verlag, pp 301–320.
28. Reif J.C., Hallauer A.R. & Melchinger A.E., 2005, Heterosis and heterotic patterns in maize, *Maydica*, **50**, 215–223.
29. Santos D.N., Ferreira J.L., Pasqual M., Generoso A.L., Setotaw T.A., Cançado G.M.A. & Vendrame W.A., 2016, Population structure of *Jatropha* and its implication for the breeding program, *Genet. Mol. Res.*, **15**, 1–11.
30. Soonthornyatara S., Sripichitt P., Kaveeta R. & Hongtrakul V., 2015, Assessment of Genetic Diversity of *Jatropha curcas* L. Using AFLP and ISSR Markers, *Chiang Mai J. Sci.*, **42**, 614–625.
31. Umamaheswari D., Paramathma M. & Manivannan N., 2010, Molecular genetic diversity analysis in seed sources of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) using ISSR markers, *Elect. J. Plant Breed.*, **1**, 268–278.
32. Xu W., Mulpuri S. & Liu A., 2012, Genetic diversity in the *Jatropha* genus and its potential application, *CAB Reviews*, **7**, No. 059.
33. Wen M., Wang H., Xia Z., Zou M., Lu C. & Wang W., 2010, Development of EST-SSR and genomic-SSR markers to assess genetic diversity in *Jatropha curcas* L., *BMC Research Notes*, **3**, 42.

N.O. Konan, Ivorian, PhD, Assistant professor, Jean Lorougnon Guédé University, Côte d'Ivoire.

L.N. Nacoulima, Burkinabe, PhD Student, Liege University Gembloux Agro-Biotech, Gembloux, Belgium.

F. H. Diouf, PhD Student, Senegalese, Liege University Gembloux Agro-Biotech, Gembloux, Belgium.

# Analyse de la chaîne de légalité des filières de sciage artisanal et du bois énergie à Kisangani en République Démocratique du Congo

P.O. Tshimpanga<sup>1\*</sup>, G. Lescuyer<sup>2,3</sup>, J. Schure<sup>4</sup> & D. Lokombe<sup>5+</sup>

**Keywords:** Formalization- Timber- Firewood- Value chain- Democratic Republic of the Congo

## Résumé

*Étant donné le rôle joué par les secteurs du sciage artisanal et du bois énergie en République Démocratique du Congo, il s'avère nécessaire de les formaliser pour mieux les intégrer dans l'élaboration et l'application de la politique publique. Cet article vise à identifier les niveaux des filières les plus susceptibles de faciliter la formalisation de ces activités. L'application d'une analyse de la chaîne de légalité des filières a permis d'évaluer la pertinence: soit de développer des mesures de formalisation spécifiques à chaque secteur; soit, au contraire, de privilégier des mesures intersectorielles. D'une manière générale, les deux secteurs sont informels; l'accès à la ressource est réalisé dans des sites dispersés et fait l'objet d'une forte légitimité sociale. Il se dégage une similitude des points de passage pour ces deux types de produit dans la ville de Kisangani. Partant de l'analyse de la chaîne de légalité réalisée, le niveau intermédiaire est plus efficace pour promouvoir la formalisation parce que c'est lors de l'accès à la ville qu'on peut lutter le plus efficacement contre les produits illégaux. Il est profitable de prendre des mesures intersectorielles.*

## Summary

### Chain Analysis of the Legality of Artisanal Sawn Wood and Fuel Wood in Kisangani in the Democratic Republic of the Congo

*Given the role played by the sectors of artisanal sawn wood and fuel wood in the Democratic Republic of the Congo, it is necessary for them to be better integrated in the development and implementation of public policies. This article aims at identifying the most pragmatic levels to facilitate the formalization of these activities. A chain analysis of the legality was used to assess the relevance to develop specific measures to formalize each sector or, conversely, to favor cross-sectoral measures. These two sectors are vastly informal; access to the resource is made in scattered sites and benefits from strong social legitimacy. There emerges a similarity of crossing and sales points for these products in the city of Kisangani. Based on the analysis of the legality of chain completed, the intermediate level is more effective in promoting the formalization because it is in the city that one can fight most effectively against illegal products. It is useful to take inter-sectoral measures.*

<sup>1</sup>Université de Kisangani, Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, Eaux et Forêts, Kisangani, République Démocratique du Congo.

<sup>2</sup>Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier, France.

<sup>3</sup>Center for International Forestry Research, Yaoundé, Cameroon

<sup>4</sup>Forest and Nature Conservation Policy Group, Wageningen; Schure Research, Amsterdam, Pays-Bas.

<sup>5</sup>ISEA-Bengamisa, Eaux et forêts, Kisangani, République Démocratique du Congo.

\* Décédé en 2016

<sup>+</sup>Auteur correspondant: Email: pitchoutshim@gmail.com

## Introduction

En République Démocratique du Congo (RDC), deux évaluations globales récentes ont été faites sur les filières du sciage artisanal et du bois énergie (6, 14), alors que ces secteurs informels font généralement l'objet d'études partielles et fragmentées (2, 8, 16).

Ces deux filières sont importantes sur les plans économique et social mais fonctionnent principalement dans l'illégalité (6, 14).

En effet, Lescuyer *et al.* (6) estiment à plus d'un million de m<sup>3</sup> le volume du sciage artisanal produit en RDC, dont 85% alimentent la demande intérieure. Les marchés domestiques génèrent un chiffre d'affaires dépassant 100 millions \$ par an et dégagent un profit estimé à 25 millions \$, sans compter les profits générés par les activités indirectes. Concernant le bois énergie, Schure *et al.* (14) évaluent les volumes des marchés de Kinshasa et de Kisangani à 4,9 millions de m<sup>3</sup>. Là aussi, la très grande majorité des producteurs de ces secteurs n'a pas de permis d'exploitation.

Malgré leur importance tant sociale qu'économique, l'utilité de ces deux secteurs apparaît peu dans l'élaboration et la conduite de la politique publique en RDC. Les documents de politique forestière en RDC tels que le Programme National Environnement, Forêts, Eaux et Biodiversité (PNEFEB), l'Agenda Prioritaire de Réforme du Secteur Forestier, le Plan National d'Action Environnementale (PNAE), ou le Document de Stratégie de Croissance et de Réduction de la Pauvreté (DSCR I et II) n'abordent que très marginalement ces deux secteurs (9).

Étant donné le rôle important joué par les deux secteurs en RDC, il s'avère nécessaire de les formaliser pour mieux les intégrer dans l'élaboration et l'application de la politique publique. Cependant, il n'existe pas un seul niveau d'illégalité, mais une multiplicité d'opérations informelles qui sortent peu ou prou du cadre légal tout le long de ces filières. L'analyse de la chaîne de valeur (ACV) est préconisée dans le but d'identifier les différentes formes de pratiques illégales dans ces deux secteurs. Elle en permet une analyse holistique du fonctionnement et de diagnostiquer les niveaux imbriqués d'illégalité. Dans la mesure où aucun niveau à lui seul ne peut permettre d'amorcer la formalisation, l'analyse de la chaîne de légalité vise à identifier les niveaux des filières les plus susceptibles de faciliter la formalisation de l'activité. Ainsi, les trois niveaux d'analyse de la chaîne de légalité portent sur l'accès à la ressource, le transport et la consommation finale. La formalisation de ces secteurs devrait permettre de réduire le risque d'un usage abusif de ces ressources à long terme.

L'analyse comparative des filières du sciage artisanal et du bois énergie est faite afin d'évaluer la pertinence soit de développer des mesures de formalisation spécifiques à chaque secteur, soit de privilégier des mesures intersectorielles, tel que MacQueen le suggère (7).

Les productions informelles sont celles qui échappent à la régulation, à l'enregistrement et à la fiscalité des services de l'Etat. Elles sont généralement issues de l'exploitation forestière à petite échelle, réalisées avec des moyens humains, matériels et financiers limités. Par contre, les activités illégales sont celles commises en infraction aux lois et réglementations en vigueur (1).

La gestion des ressources forestières en RDC est régie par la loi n° 11/2002 du 29 août 2002 portant code forestier. Ce code entrevoit quatre modalités d'accès aux ressources:

- grâce aux droits d'usage (article 36);
- par le biais d'un contrat de concession (article 82); par voie d'adjudication (article 83), par voie d'une demande d'attribution d'une concession forestière au profit d'une communauté locale (article 22);
- par le biais d'une option de l'octroi d'un permis pour le reboisement pour cause d'activité minière, industrielle et agricole (articles 52 et 53);
- par la reconstitution et la régénération forestière (article 80).

Pour compléter le cadre légal applicable aux secteurs du bois énergie et du sciage artisanal, les autorités publiques congolaises ont édicté l'arrêté n°035 du 5 octobre 2006 relatif à l'exploitation artisanale. Cet arrêté prévoit que la coupe du bois destiné à la carbonisation, rentre bel et bien dans les activités couvertes par la réglementation relative à l'exploitation forestière. Les dispositions de l'article 6 dudit arrêté listent entre autres le permis de coupe artisanale et le permis de coupe de bois de feu et de carbonisation. Le permis de coupe artisanale est délivré aux personnes de nationalité congolaise, titulaires d'un agrément, utilisant notamment une scie de long ou une tronçonneuse mécanique dans une forêt de communauté locale ne peut couvrir qu'une superficie de 50 ha (article 8). Le permis de coupe de bois de feu et de carbonisation est délivré aux personnes de nationalité congolaise vivant dans une communauté locale (article 9).

L'arrêté ministériel n° 05 du 17 juin 2009 qui complète celui du 5 octobre 2006. Dans son annexe 3, cet arrêté stipule que l'octroi du permis de coupe exige les informations suivantes: identification de l'exploitant, délimitation de la zone de coupe de bois, taxes et quantités autorisées, références du titre de perception et période de validité du permis.

Plusieurs auteurs ont relevé les difficultés de mise en œuvre du régime juridique de l'exploitation forestière en RDC. Les conflits de compétences subsistent entre les autorités centrales et provinciales suite à l'incomplétude du régime juridique (6, 10). Le secteur du bois énergie se caractérise par l'ignorance des textes légaux (droits et devoirs) de la part des acteurs du secteur et par la multiplicité des taxes (13). Les résultats sont exposés dans la deuxième section de cet article. Les débats sur les niveaux les plus efficaces pour lutter contre l'illégalité dans les filières



et l'approche à privilégier pour formaliser les deux secteurs font l'objet de la discussion de cet article.

### Méthodes et description du site d'étude

L'analyse de la chaîne de valeur (ACV) permet de décrire la gamme des activités requises pour amener un produit ou un service de sa conception, à travers les phases intermédiaires de production, à la livraison au consommateur final (5). Elle a notamment été appliquée pour les secteurs de la foresterie (4), des PFNL (3, 15), ou du bois énergie (11, 14). Pour sa mise en pratique aux filières de sciage artisanal et de bois énergie autour de Kisangani, deux types d'informations ont été exploités: les données primaires pour le sciage artisanal et les données secondaires pour le bois énergie.

Les données de deux secteurs sont collectées à Kisangani, suivant la même approche (chaîne de valeur), ce qui en permet la comparaison. Pour le sciage artisanal, les données proviennent des enquêtes faites en milieu rural et urbain. En milieu rural, deux enquêtes ont été réalisées. La première s'est effectuée sur l'exploitation forestière artisanale dans la province orientale à l'aide des entretiens semi-ouverts. Ces derniers ont eu lieu dans 23 villages environnant la ville de Kisangani, avec 412 personnes impliquées dans la filière entre 2010 et 2012: 321 scieurs (281 hommes et 40 femmes) ayant effectué 439 opérations de sciage (Figure 1), 43 représentants de l'administration, 43 représentants de la société civile et 5 représentants de syndicats de petits exploitants. La seconde enquête a porté sur les avantages et les coûts économiques des dernières opérations d'exploitation artisanale.

Pour mesurer la légalité, les questions portant sur le permis et le cahier des charges ont été posées aux exploitants. Les questions sur le permis se sont concentrées sur la détention ou non de permis; le genre de permis; la localisation de la concession et sa surface; la taxation appliquée sur le bois exploité artisanalement; taxes formelles et informelles payées; le nombre d'exploitants légaux et informels à l'échelle du territoire. Par contre, les questions sur le cahier des charges ont porté sur le contenu du cahier des charges; les biens versés; le bénéficiaire; la rémunération de l'ayant-droit/collectivité.

En milieu urbain, deux autres enquêtes ont été effectuées entre mars 2011 et juin 2012. La première enquête a consisté à suivre le flux du sciage artisanal entrant dans la ville de Kisangani au niveau des voies d'approvisionnement.

Partant d'une étude préliminaire sur des points d'entrée du bois d'œuvre dans la ville de Kisangani réalisée en 2010 et 2011; 12 principaux points d'entrée du bois dans la ville (Figure 2) ont été sélectionnés. Le suivi hebdomadaire des flux de bois entrant en ville a été effectué à l'aide d'une fiche de collecte des données: le relevé des informations a été fait un jour par semaine et par enquêteur. Ces flux

ont été ensuite extrapolés aux autres jours de la semaine, puis à l'échelle annuelle.

En vue d'évaluer la consommation locale des bois, une deuxième enquête a été initiée sur les marchés du bois artisanal. L'objectif était d'identifier l'évolution des stocks dans les différents marchés de bois de sciage artisanal de la ville de Kisangani. Un marché de bois est un lieu public dont l'accès est ouvert à tout le monde, connu de tous, où le bois à vendre est exposé sous plusieurs formes (dosse, poutre, plateau, madrier, planche, planchette, latte). Il est constitué des dépôts. Un dépôt est la place occupée par un vendeur. La ville de Kisangani compte 14 marchés regroupant 158 dépôts. Compte tenu du grand nombre de dépôts, du budget disponible et de la difficulté à recruter des propriétaires de dépôts disposés à être suivis pendant une longue période, un échantillon a été arrêté. Cet échantillon comprenait 5 dépôts pour un marché de moins de 50 dépôts et 10 à 20 dépôts dans les plus grands marchés. Ainsi, 7 marchés ont été sélectionnés.

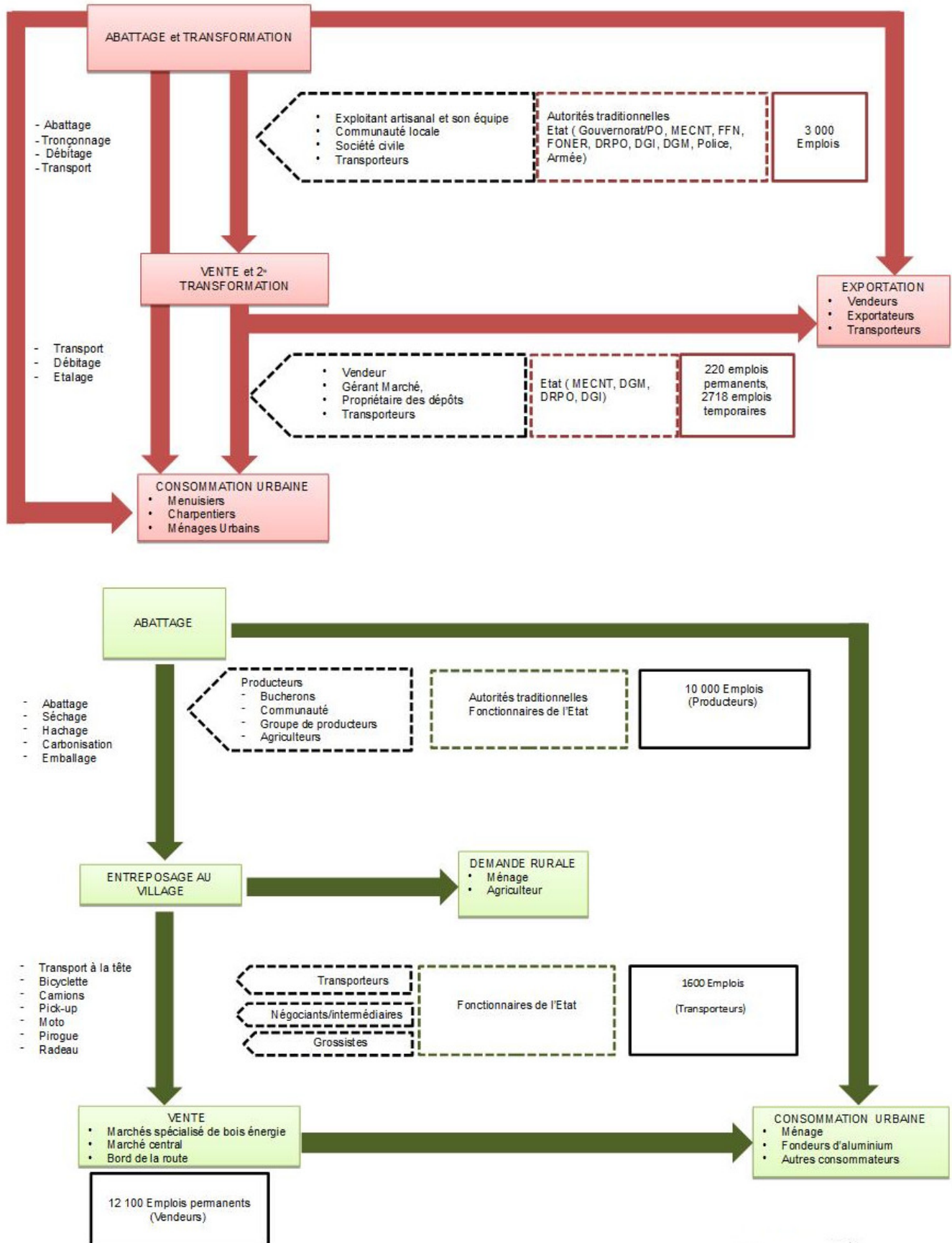
Comme les données disponibles sur la structure des marchés concernés n'étaient généralement pas suffisantes, les premières interviews avec les chefs de marchés ont également servi à préparer un échantillon stratifié de dépôts au sein des marchés. En fonction de leur volume annuel de ventes ou chiffre d'affaires estimé, les dépôts ont été répartis par les chefs de marchés et les propriétaires de dépôts en 3 catégories: «grand», «moyen» et «petit». Une stratification similaire a été utilisée par Gerken *et al.* (2) pour évaluer la consommation de sciages de Goma. Au total, 60 dépôts (soit environ 38% de l'ensemble) ont été suivis de manière permanente pendant 12 mois.

Les ventes annuelles sont estimées en additionnant les ventes hebdomadaires sur une période de douze mois continus. La moyenne des ventes annuelles des dépôts appartenant à la même catégorie («grands», «moyens» ou «petits» dépôts) est ensuite multipliée par le nombre de dépôts de la même catégorie au sein du même marché. La même procédure a été suivie pour établir les coûts, les bénéfices et les paiements à l'intérieur des marchés.

Pour la filière de bois énergie, les données secondaires utilisées proviennent du projet Makala (12, 14). Ce projet s'est déroulé en deux étapes. La première phase a eu lieu entre septembre 2009 et février 2010 et s'est intéressée aux quatre groupes d'acteurs: les producteurs, les transporteurs, les vendeurs (tenanciers de dépôts) et les consommateurs (ménages et commerces) de bois énergie (12). La deuxième phase s'est déroulée d'avril 2010 à mai 2011 avec comme objectif l'analyse des fluctuations de la filière sur une période d'une année.

Elle a permis de vérifier la régularité et la constance des résultats clés obtenus durant la première phase du projet et d'analyser les variations au cours de l'année (liées aux saisons).







Légende: PO: Province orientale; MECNT: Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature et Tourisme; FFN: Fonds Forestier National; FONER: Fonds National d'Entretien Routier; DRPO: Direction Générale des Recettes de la province Orientale; DGI: Direction Générale des Impôts; DGM: Direction Générale de Migration.

**Figure 1:** Cartographie de la chaîne de valeurs du sciage artisanal et du bois énergie.



## Légende

-  Voie d'approvisionnement (bois énergie et bois d'œuvre)
-  Marché (bois énergie et bois d'œuvre)

**Figure 2:** Localisation des points d'entrée et de vente des filières du sciage artisanal et bois énergies sur fond de la carte de la ville de Kisangani.

## Résultats

Les résultats sont présentés en deux étapes. D'abord, la structure des filières est établie en vue de dégager l'image globale des secteurs du sciage artisanal et du bois énergie. Ensuite, une analyse plus fine est faite, portant sur les pratiques légales et les revenus générés pour trois niveaux spécifiques d'analyse: l'accès à la ressource, le transport et les entrées de la ville, la consommation finale.

### Structuration des filières

La cartographie institutionnelle des filières du sciage artisanal et du bois énergie donne une représentation des acteurs identifiés, de leurs relations et des flux de produits.

Le secteur du sciage artisanal comprend quatre maillons (abattage et transformation, vente et deuxième transformation, exportation, consommation urbaine) alors que celui du bois énergie en a cinq (abattage et transformation, entreposage au village, demande rurale, vente, consommation urbaine) (Figure 1). Les produits du sciage artisanal sont essentiellement destinés aux marchés lointains (Kinshasa et Est de la RDC) et à celui de Kisangani tandis que le bois énergie répond aux demandes rurales et urbaines de la région de Kisangani. Les modes de transformation sont également différents. D'un côté, les produits issus du sciage artisanal connaissent leur première transformation sur les sites d'abattage. Une fois arrivés à Kisangani, les sciages passent à la déligneuse (i.e. une scie circulaire permettant d'éliminer les inégalités qui restent après l'équarrissage d'une pièce de bois débitée). Après le délignage, la scie de long est également utilisée pour redimensionner le sciage artisanal. Elle permet la production des planches utilisées pour la fabrication de cercueils ou de clôtures, bois de coffrages, kiosques.

D'un autre côté, pour la production de bois énergie, le bois est sectionné le plus souvent à l'aide d'une hache et transformé sur le site d'abattage. Réalisés exclusivement sur les sites d'abattage, le séchage et la carbonisation de bois sont les seules formes de transformation du bois énergie. Ainsi, le charbon et le bois de chauffe sont les deux produits obtenus dans le secteur du bois énergie.

Les deux filières sont caractérisées par la différence des exploitants et des vendeurs d'une part et, d'autre part, par l'implication de mêmes acteurs, notamment les autorités traditionnelles, l'administration, les populations rurale et urbaine. Ainsi, les autorités traditionnelles négocient le contenu de cahier des charges avec l'exploitant tandis que le gouvernement intervient dans la perception des taxes.

Sauf que les producteurs de bois énergie ne sont pas soumis au paiement de cahier des charges.

Le secteur du bois énergie présente un volume de production plus élevé que celui de la filière de l'exploitation de sciages artisanaux et un nombre

d'emplois sept fois plus élevé que celui du secteur du sciage artisanal (Tableau 1). Pourtant, le chiffre d'affaires du secteur du sciage artisanal est environ cinq fois supérieur à celui du secteur du bois énergie et le niveau de bénéfice de la filière de l'exploitation artisanale est presque deux fois plus élevé que celui de la filière du bois énergie. Ce fait révèle que le degré de transformation et les prix unitaires de vente du sciage artisanal sont plus élevés que ceux du bois énergie.

### Accès à la ressource

Pour le sciage artisanal comme pour le bois énergie, l'accès à la ressource se fait sur un grand nombre de sites dispersés.

D'un point de vue légal, l'accès des scieurs artisanaux aux ressources est conditionné par l'obtention d'un permis. La demande de permis a pour pré-requis l'entente préalable sur la surface à exploiter et l'établissement d'un cahier des charges entre l'opérateur et la communauté. Le cahier des charges récapitule les biens ou la somme d'argent que l'exploitant doit fournir à la communauté pour que la concession lui soit octroyée. Autour de Kisangani, la majorité des exploitants artisanaux de bois d'œuvre n'a ni permis légal ni cahier des charges (Tableau 2). Ils achètent directement et informellement les arbres sur pied auprès des propriétaires coutumiers. L'absence de permis n'empêche pas l'établissement de cahier des charges afin d'entériner un arrangement officieux entre l'opérateur et la communauté. Ceci explique le pourcentage plus élevé de scieurs artisanaux détenant un cahier des charges que d'opérateurs possédant un permis valide. La valeur moyenne des dépenses faites dans le cadre du cahier des charges s'élève à 1250 \$ pour une zone de coupe par exploitant.

La production de bois énergie est également couverte par la réglementation qui s'applique à l'exploitation forestière. Ainsi, la détention de permis valables de coupe de bois de feu et de carbonisation est requise pour accéder à des arbres.

Le secteur du bois énergie se caractérise par l'ignorance des textes légaux. Aucun acteur de ce secteur n'opère dans la légalité. Dans ce cadre, deux moyens d'accès aux arbres sont utilisés par les producteurs (Tableau 3): d'une part, il est possible de s'entendre avec les propriétaires coutumiers pour accéder aux arbres. D'autre part, la location d'une parcelle peut être obtenue auprès des autorités locales/chef/propriétaire pour le défrichage et la mise en culture. La location est accordée pour une somme moyenne de 70 \$ par producteur.

Les deux secteurs se distinguent également par la présence des grossistes et des intermédiaires.

Ces derniers sont actifs dans le secteur du bois énergie alors qu'ils n'ont pas été identifiés dans la filière du sciage artisanal.

**Tableau 1**  
Valeurs socio-économiques des filières du sciage artisanal  
et du bois énergie à l'échelle Kisangani.

Secteur	Sciage artisanal	Bois énergie
Volume (EBR)	184.059	200.000
Chiffre d'affaires (\$/an)	12.147.891	2.500.000
Nombre d'emplois	3.220	23.700
Profit rural (\$/an)	3.441.560	1.945.000

**Tableau 2**  
Détention des documents d'exploitation légale.

Modes d'accès à la ressource	Pourcentage	
Permis	Oui	36 %
	Non	64 %
Cahier de charges	Oui	45 %
	Non	55 %

**Tableau 3**  
Modes d'accès aux ressources du bois  
énergie.

Mode d'accès à la ressource	Pourcentage
Ayant droit	67,50 %
Location d'une parcelle de forêt	32,50 %

**Tableau 4**  
Répartition des revenus annuels (en USD) au niveau de l'accès de la ressource.

Variables	Achat arbre	Salaires ruraux	Matériaux	Consommations intermédiaires	Taxes rurales
Acteurs bénéficiaires	Populations rurales	Populations rurales	Populations rurales	Secteur privé	Administrations
Sciage artisanal	3.110.877	12.698.817	-	13.763.384	4.933.979
Bois énergie	725.000	1.740.000	510.000	-	320.000

**Tableau 5**  
Répartition des revenus au niveau de la  
consommation de la filière du sciage artisanal.

Variables	Acteurs bénéficiaires	Sciage artisanal
Salaires urbains (\$/an)	Populations urbaines	1.148.469
Location dépôts (\$/an)	Populations urbaines	90.813
Taxes urbaines (\$/an)	Administrations	1.350.572
Profit urbain (\$/an)	Secteur privé	16.236.843



Au niveau de la production du sciage artisanal et du bois énergie, les populations rurales sont les premiers bénéficiaires. Le secteur privé s'en suit. L'Etat congolais, à travers ses services, perçoit des taxes avoisinant les 10% des revenus générés au niveau de la production (Tableau 4, Figure 1).

### Transport et entrée de la ville de Kisangani

Il ressort une similitude des points de passage (entrées) et de vente (marchés) pour le bois énergie et le sciage artisanal (Figure 2). Quel que soit le point de passage, les agents de l'Etat sont postés pour vérifier la légalité de tous les produits qui entrent dans la ville de Kisangani et collecter les taxes (légalles et illégales). Cette perception des taxes permet le «blanchiment» des produits : quand bien même leur légalité n'est pas avérée, le paiement des taxes accorde aux vendeurs des sciages et de bois énergie le droit de les exposer au marché de Kisangani.

Par ailleurs, les deux filières se distinguent par les taxes. Les taxes urbaines et rurales sont identifiées dans la filière du sciage artisanal, alors que seules les taxes urbaines sont perçues dans le secteur du bois énergie. En termes de contribution des taxes (légalles ou illégales rurales ou urbaines) dans l'établissement de chiffres d'affaires annuels, les deux secteurs sont identiques. Le secteur du sciage artisanal dépasse celui du bois énergie en ce qui concerne la part de transport (site d'abattage – marché) dans le calcul de chiffres d'affaires annuels de ce niveau de filière (4 769 203 \$/an contre 530 000 \$/an).

### Consommation finale

La moitié de la production de sciages artisanaux est destinée pour les marchés lointains – Kivu et Kinshasa – tandis que le tiers de celle-ci est produit pour Kisangani, le reste approvisionne les demandes locales. Par contre, la quasi-totalité du bois énergie répond aux demandes locales et celle de Kisangani. A l'échelle de la ville de Kisangani, les sciages sont vendus dans 14 marchés.

Par contre, le charbon et le bois de chauffe sont exposés dans tous les marchés publics de la ville et dans les différentes avenues des communes où des milliers de commerçants vendent au détail ces produits. Cette grande dispersion des points de vente du bois énergie s'explique par la très forte dépendance des ménages urbains de Kisangani à l'égard du bois énergie, ce qui n'est pas le cas pour le secteur du bois artisanal.

Globalement, la consommation annuelle par tête d'habitant en bois énergie (1,034 m<sup>3</sup> EBR/ménage) dépasse celle du sciage artisanal (0,062 m<sup>3</sup> EBR/ménage).

Le secteur privé est le premier bénéficiaire des revenus générés par la consommation du sciage artisanal. Il est suivi par l'Etat et les populations urbaines (Tableau 5). Les données sur la consommation urbaine et la vente en bois énergie ne sont pas disponibles.

## Discussion

Comme le montre l'analyse des chaînes de légalité, la formalisation dans les deux filières est envisageable aux niveaux de l'accès à la ressource, des points de passage des produits et aux emplacements de vente dans la ville de Kisangani.

En amont, les sites sont dispersés et l'accès même informel aux ressources fait l'objet d'une forte légitimité sociale. Le coût de légalisation de ces activités en milieu rural serait donc élevé d'un point de vue financier, tout en ne bénéficiant pas d'un soutien de la population.

En ville, la légalisation de ces deux secteurs ferait face à des difficultés spécifiques. D'une part, les sciages exposés dans les 14 marchés urbains de Kisangani ont été «blanchis» à leur entrée en ville par la perception de toutes sortes de taxes surtout officieuses. Ils sont devenus légaux par l'apposition des différents sceaux administratifs, même si ces pratiques visent avant tout à entretenir des pratiques de corruption. D'autre part, alors que les lieux de vente du bois artisanal sont stables et bien connus, il n'en est pas de même des endroits de vente du bois énergie qui sont très nombreux et disséminés dans toute la ville. Aussi serait-il envisageable de se rabattre sur les grossistes, mais il ne sera pas facile de les convaincre à collaborer puisque leur niveau de profit est trop bas pour pouvoir accepter le coût d'une formalisation.

C'est donc lors de l'accès à la ville qu'on peut lutter le plus efficacement contre les produits informels dans la mesure où les deux filières empruntent les mêmes voies d'entrée. Au niveau de l'accès à la ville, les agents de l'Etat sont postés pour vérifier – voire octroyer – la légalité de tous les produits avant de les exposer aux marchés de Kisangani. Il s'agit donc d'une approche intersectorielle.

Envisager le contrôle aux entrées de la ville de Kisangani aurait un effet d'entraînement sur d'autres niveaux des filières.

Au niveau de l'accès à la ressource, le mécanisme de contrôle déclencherait l'augmentation des revenus locaux car les exploitants seraient tenus de respecter le cahier des charges et le contrat de travail. Un autre effet d'entraînement de ce contrôle serait l'élévation des recettes fiscales dans la mesure où les exploitants devraient se doter des permis d'exploitation et payer des taxes. Au niveau des entrées en ville, le mécanisme de contrôle occasionnerait l'élévation des recettes fiscales.

L'enjeu majeur est de formaliser ces secteurs sous deux contraintes : maintenir plus au moins la même quantité des produits et éviter l'augmentation des prix de vente des produits.

Trois options sont envisageables pour atteindre un tel objectif.

La première option est de faire en sorte que les producteurs acceptent de baisser leurs produits. Tout dépend de niveaux actuels de profits pour tout acteur économique. Par exemple, aucun acteur n'accepterait une formalisation réduisant son taux de profit de 15-20%. Si le coût de la légalité est significativement supérieur au bénéfice réalisé par les exploitants, une résistance à la formalisation est à redouter. Aussi est-il peu probable que les producteurs - du bois artisanal et du bois énergie - aujourd'hui informels soient amenés vers la formalisation dans la mesure où leurs revenus subiront une diminution systématique à cause de la légalisation. Dans cette circonstance, le coût que les producteurs sont prêts à supporter pour solliciter une autorisation légale d'exploitation devrait en partie être compensé par une diminution des paiements informels concédés tout au long de la filière, notamment aux points d'entrée en ville. Si cette condition n'est pas observée, les prix finaux seront revus à la hausse ou les quantités offertes de produits connaîtront une baisse suite à l'augmentation des dépenses engagées. Ainsi, les acheteurs finaux auraient à supporter les coûts de la formalisation. Sauf si la baisse du coût de corruption compense les autres augmentations de coûts.

Une approche complémentaire consiste à diminuer le coût de la formalisation. La publication de taxes et leur unification réduiraient sensiblement leur coût pour les vendeurs et producteurs. Il s'agit d'unifier les guichets et/ou rendre accessible le paiement des taxes par téléphone.

Et la dernière possibilité est de diminuer le coût de la corruption par l'exercice d'une activité formelle. Il est question de créer des mesures d'incitation à l'intention des contrôleurs. Les «tracasseries» restent une source importante de revenu individuel pour nombre des fonctionnaires. La diminution ou la disparition de ces frais «administratifs» va générer un manque à gagner pour les contrôleurs.

Pour compenser ce manque à gagner, il importe d'accorder aux contrôleurs une prime conséquente et suffisamment élevée.

## Conclusion

En RDC, l'importance de l'exploitation du sciage artisanal et du bois énergie apparaît peu dans l'élaboration et la conduite de la politique publique. Cet article s'est proposé de réaliser une étude comparative de ces deux secteurs. L'analyse de la chaîne de valeur a été préconisée dans le but d'identifier les différentes formes de pratiques illégales dans ces filières.

D'une manière générale, les deux secteurs sont informels. L'accès à la ressource se déroule dans des sites dispersés et fait l'objet d'une forte légitimité sociale. Il se dégage une similitude des points de passage (entrées) pour le bois énergie et le sciage artisanal dans la ville de Kisangani.

C'est lors de l'accès à la ville que le contrôle peut être le plus efficace contre les produits informels et illégaux.

Pour mieux intégrer les deux secteurs dans l'application de la politique publique, la formalisation doit se faire dans une approche intersectorielle combinée à des mesures sectorielles spécifiques. Par ailleurs, le bois artisanal et le bois énergie ne sont pas les seules activités informelles pratiquées dans les zones forestières de Kisangani.

Tout en rapportant des revenus importants aux populations rurales et urbaines, la commercialisation des produits forestiers non ligneux se réalise également dans l'économie informelle. Il est très probable qu'un effort de légalisation de l'exploitation artisanale (bois d'œuvre et bois énergie) puisse favoriser la formalisation des autres activités rurales, par exemple en assainissant la gouvernance locale ou sur les axes de transport des marchandises.

## Remerciements

Cette recherche a été conduite grâce à l'Union européenne qui l'a financée dans le cadre des projets PRO-Formal (Policy and Regulatory Options to recognise and better integrate the domestic timber sector in tropical countries, EuropeAid/ENV/2010-242904/TPS) et REFORCO (Appui à la recherche forestière au Congo), ainsi que grâce au soutien du programme de recherche Forests, Trees and Agroforestry du CGIAR. Les auteurs remercient également le relecteur anonyme dont les contributions ont permis d'améliorer le contenu de cet article.

## Références bibliographiques

1. Bayol N., Anquetil F., Bile C., Bollen A., Bosquet M., Castadot B., Cerutti P., Kongape J.A., Leblanc M., Lescuyer G., Meunier Q., Melet E., Penelon A., Robiglio V., Tsanga R. & Vautrin C., 2013, *Filière bois d'œuvre et gestion des forêts naturelles: les bois tropicaux et les forêts d'Afrique centrale face aux évolutions des marchés*. In: de Wasseige C., Flynn J., Louppe D., Hiol Hiol F. & Mayaux Ph. (Eds.): *Les forêts du bassin du Congo – Etat des Forêts 2013*. Weyrich. Belgique, 47-66.
2. Gerkens M., Schwettman J. & Kambale M., 1991, *Le secteur de l'exploitation forestière artisanale au Zaïre et son avenir*. Rapport final de l'étude sur les petits exploitants forestiers, Ministère de l'Environnement et de Conservation de la Nature. Kinshasa, DRC, 70.
3. Ingram V., Ndumbe L.N., Ewane M.E., 2012, Small Scale, High Value: Gnetum africanum and buchholzianum Value Chains in Cameroon, *Small-scale For.*, **11**, 539–56.
4. Kaplinsky R., Memedovic O., Morris M. & Readman J., 2003, *The Global Wood Furniture value chain: what prospects for upgrading by developing countries?* Vienna, Austria : UNIDO, 70.
5. Kaplinsky R. & Morris M., 2000, *A HANDBOOK FOR VALUE CHAIN An Important Health Warning or A Guide for Using this Handbook*. IDRC, 113.
6. Lescuyer G., Cerutti P.O., Tshimpanga P., Biloko F., Adebou Abdala B., Tsanga R., Yembe-Yembe R.I. & Essiane-Mendoula E., 2014, *The domestic market for small-scale chainsaw milling in the Democratic Republic of Congo: Present situation, opportunities and challenges*. Occasional Paper 112, Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research. [http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/OccPapers/OP-112.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-112.pdf) (18/12/2015).
7. Macqueen D., 2014, Comparative analysis, lessons and conclusions. In: Macqueen D, (ed.): *Prioritising support for locally controlled forest enterprises: International*. United Kingdom; 207–215.
8. Ngoy I., 2012, *Le marché du bois d'œuvre à Kisangani: Circuits, relations de pouvoir et insertion économique*. In: Benneker C., Assumani D.-M., Maindo A., Bola F., Kimbuani G., Lescuyer G., Esuka J.-C., Kasongo E., Begaa Y., (ed.): *Le bois à l'ordre du jour Exploitation artisanale de bois d'œuvre en RD Congo: Secteur porteur d'espoir pour le développement des petites et moyennes entreprises*, Wageningen, Pays-bas: Tropenbos, 203–214.
9. PNEFEB, 2013, *Programme National environnement, forêts, eaux et Biodiversité*, Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature et Tourisme. Kinshasa, RDC, 103.
10. *Resource Extraction Monitoring, 2012, Dérives de l'exploitation forestière artisanale en RDC*. Note de briefing, Observation indépendante de la mise en application de la loi forestière et de la gouvernance en RDC, Kinshasa, RDC.
11. Ribot J.-C., 1998, Theorizing Access: Forest Profits Along Senegal's Charcoal Commodity Chain, *Dev. Change*, **29**, 2, 307–341.
12. Schure J., Ingram V. & Akalakou M., 2011, *Bois énergie en RDC: Analyse de la filière des villes de Kinshasa et Kisangani*. CIFOR/Projet MAKALA, 81.
13. Schure J., Levang P. & Wiersum K.F., 2014, *Producing Woodfuel for Urban Centers in the Democratic Republic of Congo: A Path Out of Poverty for Rural Households ?* World Development [Internet]. Elsevier Ltd; 2014;xx. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev> (2014.03.13).
14. Schure J., Ingram V., Assembe- Mvondo S., Mvula-Mampasi, Inzamba J. & Levang P., 2013, *La filière bois énergie des villes de Kinshasa et Kisangani (RDC)*. In: Marien J.N., Dubiez E., Louppe D. & Larzillière A., (coord.): *Quand la ville mange la forêt- Les défis du bois-énergie en Afrique centrale*, France: Editions Quae, 27-44.
15. Te Velde D.W., Rushton J., Schreckenberg K., Marshall E., Edouard F., Newton A. & Arancibia E., 2006, Entrepreneurship in value chains of non-timber forest products, *For. Policy Econ.*, **8**, 77, 725-741.
16. Tshimpanga P., 2013, Analyse socioéconomique de la consommation de charbon de bois (Makala) à Kisangani, *Cah. CRIDE*, **2**, 1–21.

P.O. Tshimpanga, Congolais (RDC), PhD, Chercheur et enseignant, Université de Kisangani, Eaux et forêts, Kisangani, RDC.

G. Lescuyer, Français, PhD, Chercheur, CIRAD (UPR B&SEF, Biens et services des écosystèmes forestiers tropicaux, CIFOR, Jakarta, Inde.

J. Schure, Hollandais, PhD, Chercheur, Forest and Nature Conservation Policy Group, Wageningen, Wageningen; Schure Research, Amsterdam, Pays-Bas.

D. Lokombe, Congolais (RDC), PhD, Professeur, Institut Supérieur d'études Agronomiques de Bengamisa, Eaux et forêts, (+) Décédé en 2016.

## Evaluation de la diversité floristique en palmeraies (*Phoenix dactylifera*) de la région d'Ouargla (Sahara septentrional algérien) suivant les différents niveaux d'entretien

T. Medjber-Teguig<sup>1\*</sup>, L. Kadik<sup>2</sup>, B. Boumarar<sup>1</sup> & M. Nouar<sup>1</sup>

**Keywords:** *Phoenix dactylifera*- Palm- Rich flora- Ouargla- Sahara- Algeria

### Résumé

La diversité floristique de la végétation au sol des datteraies au Sud Est de l'Algérie (Ouargla, Sahara septentrional) a été évaluée dans trois palmeraies avec trois niveaux d'entretien: palmeraie entretenue, palmeraie moyennement entretenue et palmeraie délaissée. Les résultats obtenus suite à un échantillonnage systématique de la végétation au sol révèlent une richesse floristique de 27 espèces réparties en 19 familles. Les espèces les plus fréquentes sont *Cynodon dactylon* (32,9%), *Phragmites communis* (10,4%) et *Juncus maritimus* (7,7%). La richesse spécifique indique que les palmeraies entretenues et moyennement entretenues sont les plus riches en espèces. L'indice de similitude de Jaccard montre une très grande différence floristique entre les niveaux d'entretien (6%-15%). L'indice de Simpson indique une très forte diversité entre les niveaux d'entretien (0,2-0,5). Les types biologiques les plus abondants sont les thérophytes (41,7%) et les hémicryptophytes (20,1%). La variation de la composition floristique de la végétation au sol est en fonction de l'entretien de la palmeraie.

### Summary

#### Evaluation of Floristic Diversity in Palm groves (*Phoenix dactylifera*) of Ouargla Region (Northern Algerian Sahara) According to Different Maintenance Levels

The floristic diversity of the ground vegetation of date palm groves of South East of Algeria (Ouargla, Northern Sahara) was evaluated in three palm groves with three maintenance levels: well maintained, moderately maintained and neglected palm groves. The results obtained from systematic sampling of ground vegetation revealed a floristic richness of 27 species belonging to 19 families. The most common species are *Cynodon dactylon* (32.9%), *Phragmites communis* (10.4%) and *Juncus maritimus* (7.7%). Specific richness indicates that the well maintained palm groves and moderately maintained are the richest in species. The Jaccard similarity index shows a great floristic difference between maintenance levels (6%-15%). The Simpson index indicates a very high diversity between maintenance levels (0.2-0.5). The most abundant biological types are therophytes (41.7%) and hemi cryptophytes (20.1%). The variation of the species composition of the ground vegetation depends on the maintenance of the palm groves.

<sup>1</sup>Université d'Ouargla, Laboratoire de Recherche sur la Phoeniculture, Ouargla, Algérie.

<sup>2</sup>Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Bab Ezzouar, Algérie.

\*Auteur correspondant: Email: torkia\_eco@yahoo.fr



## Introduction

Dans les régions sahariennes, l'agriculture a toujours constitué un élément clé dans le développement. D'une part, elle constitue sur le plan économique une activité non négligeable pour les populations oasiennes, d'autre part, sur le plan écologique, la palmeraie représente un maillon important dans l'adoucissement d'un climat austère et remplit des fonctions écologiques et sociales indéniables qu'on devrait expliciter.

Actuellement, dans les oasis algériennes, on assiste à un phénomène de dégradation avancée des palmeraies pour des causes diverses et à des degrés différents. Mais, parler de dégradation paraît subjectif si l'on ne mesure pas objectivement cet état de dégradation. Des termes sont généralement utilisés: palmeraie entretenue, abandonnée non entretenue sur la base d'une simple observation sans pour autant saisir la teneur de ces assertions. Il serait judicieux d'évaluer cette dégradation pour mieux apprécier la situation et la caractériser.

L'interprétation de la dégradation peut être vue de plusieurs angles, la, et paraît complexe si l'on combine les différentes causes qui en sont l'origine. L'aspect floristique (en plus des indices économiques et agricoles) est un élément essentiel pour cerner l'état de dégradation qui reste une conséquence du délaissement de la palmeraie.

L'agro système est un système écologique qui permet d'atténuer les valeurs importantes de certains paramètres climatiques. Ainsi l'agriculteur crée un équilibre entre les différentes strates (palmiers dattiers, cultures arbustives, cultures herbacées) afin d'obtenir une production agricole optimale et de réduire au maximum les effets néfastes du climat saharien.

Les palmeraies sont des biotopes à la fois diversifiés par la richesse de la flore et la faune et fragilisés par les agressions climatiques du milieu extérieur rude (19), elles se différencient par la structure du peuplement, le degré d'entretien du palmier, et sa localisation par rapport au milieu naturel. Elles souffrent de plusieurs problèmes, notamment le délaissement, les maladies, le vieillissement des agriculteurs, le morcellement des exploitations agricoles, la remontée de la nappe phréatique et l'apparition des plantes introduites. Actuellement la phœniciculture est exposée à une multitude de problèmes qui freinent le développement durable de l'agriculture dans les régions sahariennes. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude qui a pour but la caractérisation floristique et écologique de quelques palmeraies de la région d'Ouargla, précisément la zone de Bouameur. Elle vise aussi à cibler les exploitations les plus fragiles où l'intervention des pouvoirs publics doit être plus soutenue pour réhabiliter ce patrimoine en danger. Il y a lieu donc de s'interroger sur les raisons du manque d'efficacité des actions de développement et sur le type de palmeraie à promouvoir pour pouvoir espérer.

## Méthodologie

La région d'Ouargla est située à 800 km au sud-est de l'Algérie à 128 m d'altitude, dans la cuvette de la vallée de l'Oued Mya. Elle est caractérisée par une température maximale de mois le plus chaud égale à 44,1°C (juillet) et minimale pour le mois le plus froid de 4,8°C (janvier) (5). Les précipitations sont très rares et irrégulières avec un cumul annuel de 39 mm. L'évaporation est un facteur très important dans cette région où le cumul annuel est de l'ordre de 3365 mm (18). En outre, la région d'étude est caractérisée par une période sèche qui s'étale sur toute l'année avec un climat hyper aride à caractère xérique. Elle est située dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux (16) (Figure 1).

La présente étude est réalisée dans la même oasis de Bouameur où trois palmeraies différentes sont choisies, entretenue (S1), moyennement entretenue (S2) et délaissée (S3). L'échantillonnage adopté est le systématique en particulier la méthode linéaire, le nombre de répétition est variable.

Les caractéristiques des différentes palmeraies échantillonnées sont les suivantes :

*Palmeraie 1:* C'est une palmeraie entretenue avec une superficie de 7200 m<sup>2</sup> (90 m x 80 m) où plusieurs variétés de palmier dattier sont identifiées ('Dégelât Nour', 'Ghars', 'Mézitt', 'Takermoust' et 'Tamsslit') et quelques cultures maraîchères (tomate, épinards, piment, maïs) et des arbres fruitiers (grenadier, figuier). Le désherbage est manuel et se fait une fois par semaine. L'irrigation hebdomadaire est assurée par forage. La palmeraie est bien protégée par un brise-vent, continu et en bon état.

*Palmeraie 2:* C'est une palmeraie moyennement entretenue, avec une superficie de 6400 m<sup>2</sup> (80 m x 80 m). C'est une palmeraie poly variétale ('Gars', 'Mézitt', 'Takermoust'), les espèces introduites sont abondantes. Le brise vent est discontinu et le désherbage très faible. L'irrigation est assurée une fois par semaine par un forage.

*Palmeraie 3:* C'est une palmeraie délaissée, ayant une superficie de 600 m<sup>2</sup> (20 m x 30 m), avec la présence d'une variété ('Ghars'). L'état des palmiers est dégradé, vu l'absence d'irrigation depuis dix années. Le brise-vent est inerte et le désherbage est totalement absent laissant ainsi l'apparition des espèces spontanées.

Les résultats obtenus dans les trois palmeraies inventoriées sont exploités à l'aide de quelques indices écologiques.

- Fréquences linéaires: c'est le rapport entre le nombre de relevés ( $n$ ) contenant l'espèce ( $i$ ) et le nombre total ( $N$ ) de relevés effectués. On l'exprime le plus souvent en pourcentage (Equation I) (7).

$$F = (n/N) \times 100 \quad (I)$$



**Figure 1:** Situation géographique de la Wilaya d'Ouargla (RE).

- Contribution spécifique: Elle définit la participation d'une espèce ( $i$ ) au niveau du tapis végétal. Elle est égale au quotient de la fréquence spécifique centésimale de ce taxon ( $FSC_i$ ) par la somme des fréquences spécifiques de tous les taxons rencontrés dans le relevé, ou bien égale au rapport du nombre de fois ( $ni$ ) où le taxon ( $i$ ) a été recensé le long de la ligne par le nombre total de points échantillonnés (8).
- L'indice de Simpson: Proposé en 1965 pour mesurer la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce (Equation II).

$$D = \frac{\sum n_i(n-1)}{N(N-1)} \quad (II)$$

( $ni$ ) exprime le nombre d'individus de l'espèce ( $i$ ) et ( $N$ ) le nombre total des individus.

- Le coefficient de similitude floristique de Jaccard ( $Ij$ ): permet de comparer les systèmes écologiques deux à deux, pour avoir le pourcentage d'espèces communes. Cet indice permet de quantifier la similarité entre les habitats, qui augmente avec la valeur de l'indice. Si  $Ij > 50\%$ , les milieux sont similaires et si  $Ij < 50\%$ , il y a dissimilitude entre les milieux. En pratique quand  $Ij > 45\%$ , on admet qu'il y a similitude entre les milieux concernés. Il est calculé par la formule III:

$$Ij = \frac{c}{a+b-c} \times 100 \quad (III)$$

Où:  $a$ = nombre d'espèces de la liste a (relevé A);  
 $b$ = nombre d'espèces de la liste b (relevé B);  
 $c$ = nombre d'espèces communes aux deux relevés (4).

- La distance de Hamming: permet les comparaisons floristiques entre deux relevés. Elle est donnée par la formule IV.

$$H = 1 - IJ \quad (IV)$$

où  $J$  est le coefficient de communauté de Jaccard.

- De plus, en statistique, nous avons utilisé l'écart-type pour la richesse floristique, l'écart -type est une mesure de dispersion des données.

## Résultats

La complexité de l'évaluation de l'état de dégradation d'une palmeraie tient du fait que les causes de dégradation sont d'ordres multiples et s'imbriquent les unes aux autres. A cet effet, nous avons essayé de mesurer les éléments les plus significatifs comme la fréquence des espèces, la similitude, la contribution spécifique et la stratification.

### Fréquence des espèces dans les palmeraies de la zone d'étude

D'une manière globale, les espèces les plus fréquentes dans les palmeraies étudiées sont: *Cynodon dactylon* (38,1%) suivie d'*Anagallis arvensis* (20,5%), *Phragmites communis* (17,8%) et *Juncus maritimus* (7,7%) (Figure 2). Les autres espèces à fréquences faibles sont des plantes cultivées. L'écart-type calculé pour la palmeraie entretenue est 4,72; pour celle moyennement entretenue est 5,64; il est de 1,9 pour la palmeraie délaissée.

L'écart-type entre les deux premiers états de la palmeraie est 0,69 par contre entre la palmeraie entretenue et celle délaissée, il est de 3,05. Ce résultat montre une hétérogénéité des données pour les palmeraies dont l'entretien est différent.

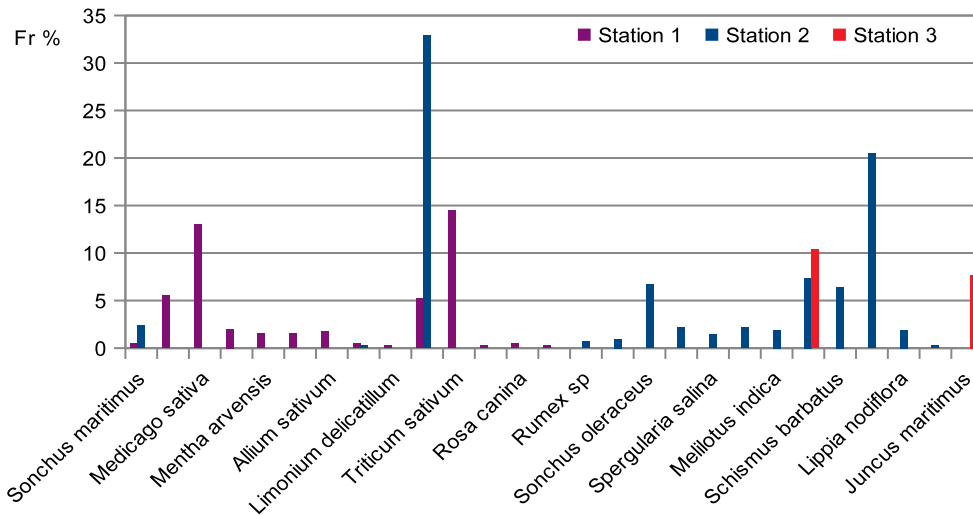


Figure 2: Fréquence des espèces dans les palmeraies de la zone d'étude.

### Structure de la palmeraie de la zone d'étude

La palmeraie est un milieu perturbé ce qui reflète l'irrégularité de la stratification des espèces, l'étude de la végétation montre que la strate herbacée est faiblement représentée dans la palmeraie délaissée (11,5%) par rapport à celle entretenue (41%) et moyennement entretenue (87,4%) (Figure 3).

La strate arbustive est excessivement faible, représentée par les espèces arboricoles, la strate arborée n'est représentée par aucune espèce en dehors du palmier dattier.

### Types biologiques des palmeraies de la zone d'étude

Le présent travail a permis d'inventorier 27 espèces (Figure 4). Dont les thérophytes (37%), les hémicryptophytes (25,9%), les géophytes (18,5%) et les phanérophytes (14,8). Les espèces introduites sont généralement des thérophytes.

### Richesse floristique des différentes palmeraies de la zone de Bouameur

La richesse floristique des différentes palmeraies, selon l'échelle de Daget et Poissonet (2), est représentée dans le tableau 1. Le nombre des espèces et des familles varie nettement d'une palmeraie à une autre. D'une manière globale, les palmeraies de Bouameur présentent une richesse floristique moyenne (Tableau 1).

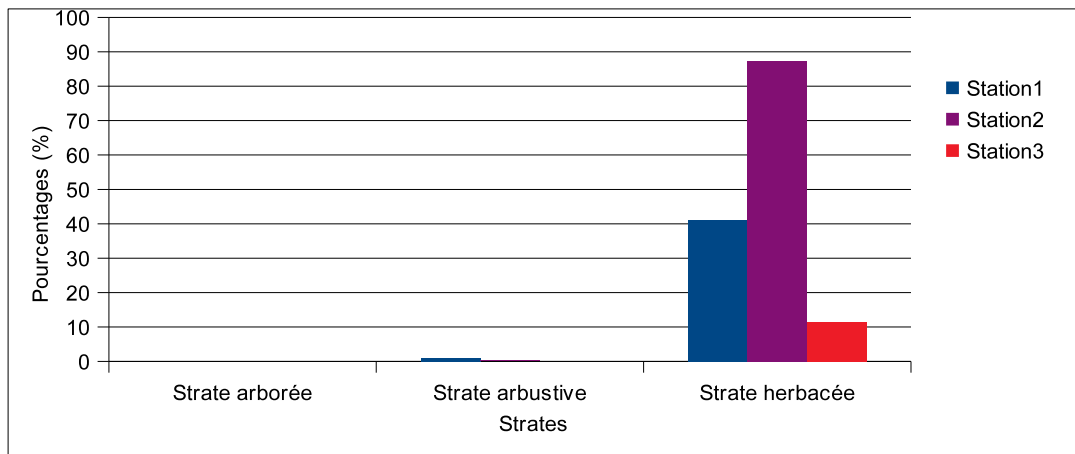
### Indice de Simpson des espèces dans les différentes palmeraies de la zone de Bouameur

Les valeurs de l'indice de Simpson sont données dans le tableau 2. La diversité floristique est variable d'une palmeraie à l'autre. La valeur de l'indice de Simpson pour la palmeraie entretenue est 0,23; celle moyennement entretenue, il vaut 0,35 et il est égal à 0,50 pour la palmeraie délaissée. Il est à rappeler que la diversité des espèces augmente quand l'indice tend vers zéro. Il présente une augmentation allant de la palmeraie entretenue (plus diversifiée) vers celle délaissée (moins diversifiée) (Tableau 2).

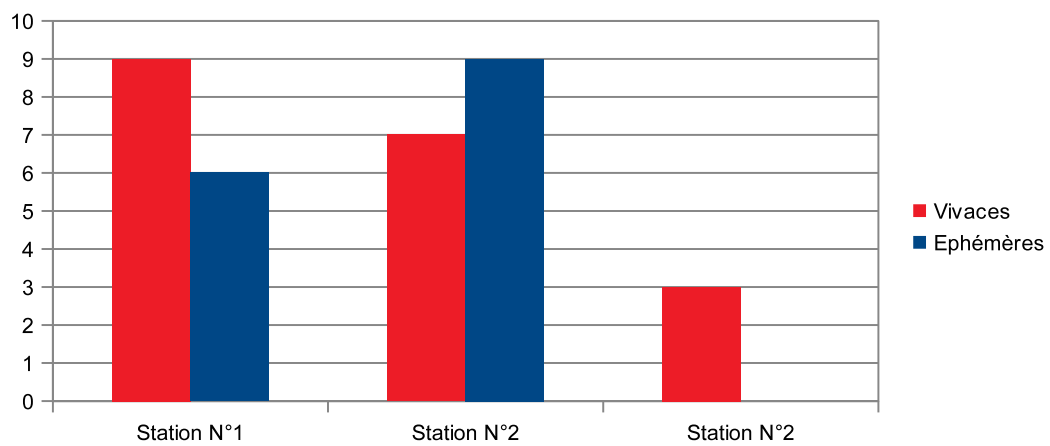
### Contribution spécifique des espèces dans les différentes palmeraies de la zone de Bouameur

Les contributions spécifiques de la flore inventoriée dans les différentes stations sont mentionnées dans le tableau 3.

La contribution spécifique totale est très importante pour toutes les palmeraies, notamment celles délaissée (100%). La contribution de *Phragmites communis* est la plus élevée avec 65,8%; suivit par *Cynodon dactylon* (49,8%) et par *Juncus maritimus* (42,6%). Ces espèces se propagent très rapidement dans les palmeraies dont le désherbage est faible ou nul, par contre dans la palmeraie entretenue ce sont les cultures qui contribuent le plus comme le cas de *Triticum sativum* (30,7%) (Tableau 3).



**Figure 3:** Stratification des espèces dans les palmeraies de la zone d'étude.



**Figure 4:** Spectre des types biologiques des palmeraies de la zone d'étude.



**Tableau 1**  
Richesse floristique des différentes palmeraies de la zone de Bouameur.

	Palmeraie entretenue	Palmeraie moyennement entretenue	Palmeraie délaissée	Nombre total des espèces dans les trois palmeraies de la zone de Bouamer
Richesse spécifique	14	15	2	27
Etat de la flore	Pauvre	Pauvre	Raréfiée	Moyenne

**Tableau 2**  
Indice de Simpson appliqué pour la flore des différentes palmeraies de la zone de Bouameur.

Familles	Espèces	Entretienue	oyennement entretenue	Délaissée	Total
<i>Amaranthaceae</i>	<i>Rumex vesicarius</i>	-	1E-05	-	1E-05
<i>Apiaceae</i>	<i>Daucus carotta</i>	-	8E-05	-	8E-05
<i>Asteraceae</i>	<i>Senecio vulgaris</i>	-	8E-05	-	8E-05
	<i>Sonchus maritimus</i>	3E-05	0,00013	-	0,00016
	<i>Sonchus oleraceus</i>	-	0,00075	-	0,00075
<i>Brassicaceae</i>	<i>Brassica oleracea</i>	0,00783	-	-	0,00783
<i>Caryophyllaceae</i>	<i>Spergularia salina</i>	-	5E-05	-	5E-05
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia guyoniana</i>	-	8E-05	-	8E-05
<i>Fabaceae</i>	<i>Medicago sativa</i>	0,12402	-	-	0,12402
	<i>Mellilotus indica</i>	-	6E-05	-	6E-05
	<i>Vicia faba</i>	0,00079	-	-	0,00079
<i>Juncaceae</i>	<i>Juncusmaritimus</i>	-	-	0,20473	0,20473
<i>Lamiaceae</i>	<i>Mentha arvensis</i>	0,00079	-	-	0,00079
<i>Liliaceae</i>	<i>Allium cepa</i>	0,00043	-	-	0,00043
	<i>Allium sativum</i>	0,00061	-	-	0,00061
<i>Malvaceae</i>	<i>Malva aegyptiaca</i>	3E-05	0,00000	-	3E-05
<i>Plombaginaceae</i>	<i>Limonum delicatulum</i>	0,0067	-	-	0,0067
<i>Poaceae</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	0,01787	0,28485	-	0,30272
	<i>Phragmites communis</i>	-	0,00355	0,29167	0,29522
	<i>Schismus barbatus</i>	-	0,00648	-	0,00648
	<i>Triticum sativum</i>	0,07663	-	-	0,07663
<i>Primulaceae</i>	<i>Anagalis arvensis</i>	-	0,05175	-	0,05175
<i>Punicaceae</i>	<i>Punica granatum</i>	3E-06	-	-	3E-06
<i>Rosaceae</i>	<i>Rosa canina</i>	3E-05	-	-	3E-05
<i>Rutaceae</i>	<i>Citrus limon</i>	1E-06	-	-	1E-05
<i>Tamaricaceae</i>	<i>Tamarix gallica</i>	-	1E-05	-	1E-05
<i>Verbénaceae</i>	<i>Lippia nodiflora</i>	-	5E-05	-	5E-05
19	27	0,2356	0,3478	0,5	

**Tableau 3**  
Contribution spécifique des espèces dans les différentes palmeraies de Bouameur.

Familles	Espèces	Entretenu (S1)	Moyennement entretenu (S2)	Délaissée (S3)	Total
Amaranthaceae	<i>Rumex vesicarius</i>	-	0,81 %	-	0,81 %
Apiaceae	<i>Daucus carotta</i>	-	2,44 %	-	2,44 %
Asteraceae	<i>Senecio vulgaris</i>	-	1,08 %	-	1,08 %
	<i>Sonchus maritimus</i>	1,06 %	2,71 %	-	3,89 %
	<i>Sonchus oleraceus</i>	-	7,59 %	-	7,59 %
Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i>	11,64 %	-	-	11,64 %
Caryophyllaceae	<i>Spergularia salina</i>	-	1,63 %	-	1,63 %
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia guyoniana</i>	-	2,44 %	-	2,44 %
Fabaceae	<i>Medicago sativa</i>	27,51 %	-	-	27,51 %
	<i>Melilotus indica</i>	-	2,16 %	-	2,16 %
	<i>Vicia faba</i>	4,23 %	-	-	4,23 %
Juncaceae	<i>Juncus maritimus</i>	-	-	42,56 %	42,56 %
Lamiaceae	<i>Mentha arvensis</i>	3,17 %	-	-	3,17 %
Liliaceae	<i>Allium cepa</i>	3,17 %	-	-	3,17 %
	<i>Allium sativum</i>	3,70 %	-	-	3,70 %
Malvaceae	<i>Malva aegyptiaca</i>	1,06 %	0,27 %	-	1,33 %
Plombaginaceae	<i>Limonium delicatulum</i>	0,53 %	-	-	0,53 %
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i>	11,11 %	37,40 %	-	49,83 %
	<i>Phragmites communis</i>	-	8,41 %	57,44 %	65,84 %
	<i>Schismus barbatus</i>	-	7,32 %	-	7,32 %
	<i>Triticum sativum</i>	30,69 %	-	-	30,69 %
Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i>	-	23,31 %	-	23,31 %
Punicaceae	<i>Punica granatum</i>	0,53 %	-	-	0,53 %
Rosaceae	<i>Rosa canina</i>	1,07 %	-	-	1,06 %
Rutaceae	<i>Citrus limon</i>	0,53 %	-	-	0,53 %
Tamaricaceae	<i>Tamarix gallica</i>	-	0,27 %	-	0,27 %
Verbénaceae	<i>Lippia nodiflora</i>	-	2,16 %	-	2,16 %
19	27	100,00 %	100,00 %	100,00 %	

### Indice de similitude floristique entre les trois palmeraies de Bouameur

L'indice de Jaccard calculé en pourcentage entre les palmeraies entretenue et moyennement entretenue est 0,15 alors qu'entre la palmeraie délaissée et entretenue, il est égal à 0,06 soit une très faible similitude. Il vaut 0,12 pour les palmeraies moyennement entretenues et celles délaissées. Les trois palmeraies sont très différentes du point de vue richesse floristique.

### Distance de Hamming entre les trois palmeraies de la zone d'étude

Les valeurs portant sur la distance de Hamming sont un peu plus faibles entre les palmeraies entretenues et moyennement entretenues (0,85) par rapport à celles enregistrées entre les palmeraies moyennement entretenues et délaissées (0,88) et les palmeraies entretenues et délaissées (0,94). Ceci montrent la différence floristique forte entre les trois milieux.

### Catégories biologiques des espèces dans les trois palmeraies de Bouameur

Les résultats des catégories biologiques des différentes espèces observées dans les palmeraies montrent que les espèces vivaces sont importantes dans la palmeraie entretenue (10), alors que les espèces éphémères sont majoritaires dans la palmeraie moyennement entretenue (9), dans le milieu abandonné deux espèces vivaces seulement sont présentes.

### Les éléments phytogéographiques dans les palmeraies de la zone de Bouameur

La détermination de l'aire phytogéographique d'origine de chaque espèce montre que les cosmopolites sont élevés dans toutes les palmeraies à l'exception de celles entretenues. La moyenne régionale est 50%, représenté en général par *Cynodon dactylon* dans la station moyennement entretenue, et par *Phragmites communis* et *Juncus maritimus* dans les palmeraies délaissées. L'élément méditerranéen représenté par *Zygophyllum album* avec une moyenne régionale de 27,5%. L'élément saharo-sindien avec (20%) représenté surtout par *Tamarix gallica* et d'autres espèces sahariennes. Les palmeraies de la région d'Ouargla présentent une diversité phytogéographique variable en fonction de l'état d'entretien.

## Discussions

La flore de la palmeraie était depuis longtemps un sujet d'étude de plusieurs travaux du fait qu'elle est constituée non seulement par le palmier dattier, les cultures maraîchères et les arbres fruitiers qui ont une importance économique considérable en agriculture, mais aussi de quelques plantes spontanées qui contribuent à l'atténuation des effets négatifs des facteurs climatiques difficiles du Sahara (8).

La végétation des palmeraies dans le Sahara Septentrional Algérien est très hétérogène, l'échantillonnage réalisé dans le cadre de la présente étude a permis de récolter 27 espèces réparties en 19 familles, dont 3 espèces spontanées, 14 subsponnées et 10 cultivées. Ces résultats confirment ceux obtenus par Medjber (14) dans certaines zones de la région de Ouargla (Aïn El Beïda, Ksar, Mekadma, Bamendil), qui indiquent 28 espèces végétales appartenant à 15 familles botaniques. *Poaceae*, *Asteraceae* et *Chenopodiaceae* sont les plus importantes (10). Dans le même sens, l'inventaire réalisé dans la zone de Hassi Ben Abdellah (Ouargla), en 2007, a fait ressortir 17 espèces réparties en 16 familles avec 2 espèces subsponnées, 10 cultivées et 5 spontanées (17). La richesse spécifique varie d'une palmeraie à une autre en fonction des conditions du milieu modifié par l'effet oasis, le brise-vent et la structure de la palmeraie (17). Medjber (13) affirme que le brise-vent peut jouer un rôle dans la protection des cultures, il réduit la vitesse du vent dans la palmeraie, son efficacité est liée à l'état et la structure de celui-ci. Le test de Student calculé pour les données mensuelles de la vitesse du vent montre une différence hautement significative entre la palmeraie et le milieu naturel (13).

La zone de Bouameur est localisée dans une dépression ce qui est à l'origine de l'excès de l'humidité et de la salinité du sol. La quasi-totalité des palmeraies de la région d'Ouargla souffre de la salinité des eaux et des sols, de la nappe phréatique qui est proche de la surface et qui est alimentée par les eaux d'irrigation (9). La variation quantitative et qualitative de la végétation est liée aussi aux caractéristiques chimiques du sol et à sa texture sableuse (14). L'utilisation des fumiers organiques d'origine extérieure à la région d'Ouargla favorisent la propagation rapide des espèces et intensifient leur abondance (22). L'excès d'irrigation, le désherbage manuel peu efficace augmentent l'apparition des espèces subsponnées dans la station moyennement entretenue. Dans la palmeraie délaissée, il n'existe que des espèces spontanées envahissantes (*Phragmites communis*, *Juncus maritimus*).

Selon Dajoz (3), la présence et l'abondance des espèces subsponnées ou spontanées sahariennes sont liées au facteur essentiel de l'évolution des biocénoses (3).

D'après Gounot (7), les facteurs écologiques regroupent, les facteurs climatiques, les facteurs édaphiques, les facteurs biotiques et les facteurs liés à l'action passée et présente de l'homme (7). Dans la palmeraie délaissée l'activité agricole est quasi nulle et la diversité floristique est aussi faible; seulement deux espèces (*Juncus maritimus* et *Phragmites communis*) sont présentes avec une abondance élevée. D'après Pouget (24), *Juncus maritimus* et *Phragmites communis* sont des espèces phréatophiles. La palmeraie délaissée est ouverte sur le milieu naturel et les palmiers sont de petite taille avec les palmes dégradées, ceci favorise la pénétration des plantes spontanées sahariennes avec une forte abondance. Dans la palmeraie entretenue on trouve peu d'espèces subspontanées et beaucoup de cultures, comme *Triticum sativum*, son abondance est due à l'activité culturale et à l'irrigation (25). D'autres espèces cultivées sont présentes dans cette palmeraie, notamment *Vitis vinifera*, *Punica granatum*, *Prunus armeniaca*, *Ficus carica* et *Citrus limon*.

Concernant la structure de la végétation, la strate herbacée a une valeur très importante (87,4%) dans les palmeraies entretenues car la végétation est constituée de diverses cultures herbacées et quelques espèces subspontanées. La strate arbustive a une très faible valeur (0,24%) représentée par quelques arbres fruitiers comme l'olivier et le grenadier, avec l'absence de la strate arborée à l'exception du palmier dattier.

La famille de *Poaceae* est la plus abondante dans les trois palmeraies en particulier dans la palmeraie moyennement entretenue riche en espèces subspontanées. D'après Lacoste et Salanon, l'intervention humaine représente globalement au cours du temps, le facteur modificateur essentiel de la composition, de l'organisation et de l'évolution des biocénoses (11).

Les types biologiques permettent de faire une appréciation qualitative de la végétation en rapport avec les conditions climatiques, qui expriment par le spectre biologique l'adaptation aux divers milieux (12). Le type biologique élevé dans la palmeraie de Bouameur est celui des thérophytes, suivi par les hémicryptophytes, ceci s'explique par les conditions favorables créées par les palmiers qui permettent la germination facile des espèces subspontanées. Selon Lacoste et Salanon, dans les zones arides et semi-arides méditerranéennes, ce sont les thérophytes qui dominent (11). Notre région d'étude se situe selon le climagramme d'Emberger dans l'étage saharien inférieur (20).

La richesse floristique et la répartition des espèces et des familles varient nettement suivant l'état des différentes palmeraies. Selon Dubost (5), il existe au Sahara Algérien une biodiversité exceptionnelle aussi bien dans les techniques culturales et les variétés cultivées (5). L'indice de Simpson montre que l'espèce la plus diversifiée est *Medicago sativa* (0,12)

dans la palmeraie entretenue. Par contre dans celle moyennement entretenue, *Cynodon dactylon* (0,28). Cependant, dans la station délaissée, *Phragmites communis* est fortement diversifiée (0,29). La diversité intra spécifique augmente quand le nombre d'individus est élevé.

L'espèce qui a une forte contribution spécifique est le *Triticum sativum* (30,7%) dans la station entretenue. Le *Cynodon dactylon* a une contribution élevée dans le milieu moyennement entretenue (37,4%). Pour la station délaissée, *Phragmites communis* (57,4%) est l'espèce qui contribue le plus. La compétition et l'adaptation sont des facteurs qui influent aussi sur la végétation des palmeraies surtout pour l'occupation de l'espace (22). La contribution des espèces varie selon l'état de chaque palmeraie.

L'indice de Jaccard calculé entre la palmeraie entretenue et celle moyennement entretenue indique une faible similitude (0,15). Il est plus faible entre les milieux entretenus et délaissés (0,06).

La diversité phytogéographique est différente au niveau des palmeraies, l'élément cosmopolite est le plus dominant dans la palmeraie délaissée représenté par *Phragmites communis* et *Juncus maritimus*. Ces plantes se développent sur des sols souvent humides à cause de la remontée de la nappe phréatique. En Outre, l'élément méditerranéen représenté par *Zygophyllum album* occupe la deuxième position dans la palmeraie moyennement entretenue.

Des enquêtes réalisées sur le terrain, appuyées par des données de différentes structures agricoles ont révélé des contraintes menaçant le développement durable de la palmeraie dans la région d'Ouargla. Les palmeraies délaissées sont généralement les plus anciennes, selon Idder (8), le vieillissement des palmeraies a un effet négatif sur la diversité phœnicicole dans la région d'Ouargla (8).

## Conclusion

La végétation des palmeraies de la région de Ouargla est diversifiée, sa composition est variable selon le degré d'anthropisation, elle est représentée par les espèces spontanées dans les palmeraies abandonnées sur plusieurs années, par les espèces subspontanées et les cultures dans celles moyennement entretenues et entretenues. Les palmeraies de la région d'Ouargla sont exposées à des contraintes anthropiques qui accélèrent leur dégradation, aggravée par la sécheresse climatique longue.

La palmeraie délaissée envahie par les espèces spontanées évoluera vers un écosystème nouveau différent de l'agro système, à ce stade la palmeraie présente une déstructuration totale de la végétation, la réhabilitation sera alors difficile ou même impossible. La préservation et la protection du patrimoine phœnicicole indispensable au maintien de la spécificité du milieu saharien devient une nécessité majeure avant le déséquilibre total.



## Références bibliographiques

1. Bouammar B., 2010, *Le développement agricole dans les régions sahariennes, étude de cas de la région d'Ouargla et de la région de Biskra*. Thèse de Doctorat en Sciences économiques Université Kasdi Merbah- Ouargla. pp 23-24.
2. Daget P. & Poissonet J., 1971, *Prairies et pâturages: Méthode d'étude*. Ed. Institut, De Botanique, Montpellier, 354 p.
3. Dajoz R., 1982, *Précis d'écologie*. Ed. Gauthier-Villars. Paris. 472 p.
4. Diego J., Gibigaye M. Tente B. & Sin sin B., 2012, Analyses écologique et structurale de la forêt communautaire de Kaoudji au Bénin, *Int. J. Bio. Chem. Sci.*, 6, 2, 705-713.
5. Dubost D., 1991, *Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes*. Thèse de doctorat. UNV. Tours. 196 p.
6. Faurie C., Ferra C., Medori P., Devaux G. & Ethemptinne J., 2003, *Ecologie: Approche scientifique et pratiques*. 5<sup>ème</sup> ed. Tec et Doc. Paris, 407 p.
7. Gounot M., 1969, *Méthode d'étude quantitative de la végétation*. 7<sup>ème</sup> ed. Masson, Paris, 314 p.
8. Idder M.A., 2011, *Lutte biologique en palmeraie algérienne: cas de la cochenille blanche, de la pyrale des dattes et du boufaroua*. Doctorat en Sci. Agro. E.N.S.A. El Harrach. Alger. 155 p.
9. Khadraoui A., 2007, *Sol et hydraulique agricole dans les oasis algériennes. Caractérisation-contraintes et proportions d'aménagement*. Ed. ISBN, Alger, 310 p.
10. Lacoste O., 1999, *La géopolitique de la santé en France. "Une politique émergente", dans Santé publique et Géopolitique*, (sous la direction d'Y. Lacoste), dans revue "Hérodote", n° 92, La Découverte. Paris: pp 19-49.
11. Lacoste A. & Salanon R., 2001, *Elément de biogéographie et d'écologie*. Ed. Nathan, Paris, 318 p.
12. Lebrun J., 1966, *Les formes biologiques dans les végétations tropicales*. Bull. Soc. France: pp 164-175.
13. Medjber T., 2002, *Etude du comportement de quelques variétés et populations de luzerne dans deux milieux différents de la région d'Ouargla*, Thèse de Magister en Sciences agronomique, Institut National Agronomique. El Harrach. 143p.
14. Medjber T., 2009, *Caractérisation phytoécologique de quelques palmeraies de la région d'Ouargla*. Séminaire international sur la Protection et la Préservation des Ecosystèmes Sahariens, les 13, 14 et 15 décembre, Université d'Ouargla, 5p.
15. Medjber T., 2010, *Etude de la variabilité microclimatique des Palmeraies*. Colloque International sur la géologie du Sahara Algérien: Ressources minérales en hydrocarbures et en eau, de 05, 07 décembre, Université d'Ouargla.
16. Medjber T., 2013, *Etude de la variabilité climatique dans la région d'Ouargla*. Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement, 05, 06 et 07 novembre 2013. Université d'Ouargla.
17. Medjber T., 2014, *Influence de la variabilité des paramètres climatiques sur le comportement de la végétation dans la région de Ouargla*. 2<sup>ème</sup> Congrès International de la Biodiversité végétale, 27-29 Mars 2014. Université Hassan II-Casablanca, Maroc.
18. Office National de la Météorologie, 2013, *Rapport sur les données climatiques de la région de Ouargla*. 4 p.
19. Ouled El-Hadj M.D., 2006, *Problèmes de la lutte chimique au Sahara Algérien: cas des Acaricides*. Actes des journées internationales sur la désertification et le développement durable. ed. UNV. Biskra. 631 p.
20. Ozenda P., 1964, *Biogéographie végétale*, Ed. Dois, Paris, 360p.
21. Ozenda P., 1982, *Les végétaux dans la biosphère*. Ed. 22.
22. Ozenda P., 1983, *Flore de Sahara*. 2<sup>ème</sup> éd©. CNRS. Paris. 75 p.
23. Ozenda P., 2004, *Flore et végétation du Sahara*. Ed. CNRS. Paris: pp 11-39.
24. Pouget M., 1983, *Les relations sol- végétation dans les steppes sud Algéroises*. Travaux et documents de l'ORSTOM, N° 116, Paris, 555p.
25. Quezel P., 1965, *La végétation du Sahara, du Tchad à la Mauritanie*. Ed Masson et CIE. Paris: pp333-335.
26. Référence électronique: [www.Sahara-nature.com/](http://www.Sahara-nature.com/)

T. Medjber Teguiq, Algérien, MSc, Enseignante-Chercheure, Université Kasdi Merbah Ouargla, Laboratoire de Recherche sur la Phoeniciculture, Ouargla, Algérie.

L. Kadik, Algérienne, PhD, Professeur, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Ecologie végétale, Bab Ezzouar, Algérie.

B. Bouammar, Algérien, PhD, Maitre de conférence, Université Kasdi Merbah Ouargla, Ouargla, Algérie.

M. Noaur, Algérien, MSc, Enseignant-Chercheur, Université Kasdi Merbah Ouargla, Laboratoire de Recherche sur la Phoeniciculture, Ouargla, Algérie.

## Caractérisation de la race ovine algérienne Tazegzawth

N. Moula<sup>1\*</sup>

**Keywords:** Biodiversity- Tazegzawth- Sheep Breeds- Algeria

### Résumé

Les objectifs de cet article sont, premièrement, de caractériser la morpho-biométrie de la race Tazegzawth et, deuxièmement, de décrire le profil de ses éleveurs et de leurs systèmes d'élevage. L'étude a été réalisée en Kabylie (Algérie) qui est le berceau de cette race. L'enquête concernait 16 éleveurs répartis sur les Wilayas de Bejaia et de Tizi-Ouzou. Un groupe d'ovins de 85 individus (24 mâles et 61 femelles) a été caractérisé. L'enquête a révélé que l'élevage ovin est une activité de diversification et non de spécialisation. D'autres races ovines et espèces animales sont élevées par les éleveurs de Tazegzawth. En raison du partage des pâturages naturels entre différents éleveurs, des accouplements anarchiques ont contribué au déclin de la race Tazegzawth. Les éleveurs questionnés étaient tous de sexe masculin et élevaient en moyenne  $12,13 \pm 3,84$  têtes/foyer. Ils pratiquent tous la complémentation alimentaire en utilisant les ressources locales: les déchets organiques, les résidus de cultures, le foin et les feuilles d'oliviers, de frênes, d'ormes, de chênes zeen et de figuiers. Concernant les mensurations morpho-biométriques, les valeurs sont significativement ( $P < 0,01$ ) plus élevées chez les mâles ( $68,48 \pm 1,12$  kg de poids vif moyen) par rapport aux femelles ( $53,84 \pm 1,16$  kg de poids vif moyen). Les systèmes d'élevage de la race Tazegzawth pratiqués en Kabylie sont très diversifiés. L'Analyse des Correspondances Multiples a permis d'identifier 4 groupes selon l'ancienneté de l'élevage, les espèces animales élevées, les effectifs en Tazegzawth et les objectifs d'élevage.

### Summary

#### Tazegzawth: An Algerian Sheep Breed

This paper aims at, firstly, highlighting the morpho-biometric characteristics of the Tazegzawth sheep breed, and, secondly, describing the sheep farmers profile and their farming practices. The study was carried out in Kabylie (Algeria) which is the breed cradle of Tazegzawth sheeps. The survey concerned 16 breed farmers located in the Wilayas of Bejaia and Tizi-Ouzou. Each of the 85 sheeps (24 rams and 61 ewes) was characterized and profiled. The study indicated that sheep farming is a diversification activity and not a specialized activity. Other breeds and species are kept by the farmers. Due to the sharing of grazing areas between farmers, anarchic matings occurred contributing to the Tazegzawth breed's decline. Farmers involved in this study were male having on average  $12.13 \pm 3.84$  livestock heads per household. All the farmers used local resources as supplement feeding: organic waste, crop leftovers, hay and olive foliage, ash, elm, oak and fig foliage. Average live weight of males ( $68.48 \pm 1.12$  kg) were highly significantly higher ( $p < 0.01$ ) than the average live weight of females ( $53.84 \pm 1.16$  kg). Livestock systems involving Tazegzawth breed showed a high diversity. The multiple correspondences analysis indicated 4 groups depending on the time length over which animal breeding took place, the bred animal species, the number of Tazegzawth bred animals, and the aims and objectives of the animal farming.

<sup>1</sup>University of Liège, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Productions, Liège, Belgium

\*Auteur correspondant: Email: Nassim.Moula@ulg.ac.be

## Introduction

Avec une superficie de 2.381.741 km<sup>2</sup>, l'Algérie est considérée comme le plus vaste pays africain. Elle est caractérisée par une grande diversité de ses conditions pédoclimatiques et ressources génétiques végétales et animales. L'Algérie abrite une diversité d'animaux de production très diversifiée allant des poules aux dromadaires, en passant par les caprins, les bovins et les ovins (1, 3, 4, 9, 11, 12, 13). La principale espèce élevée dans les différentes zones climatiques d'Algérie, depuis la côte méditerranéenne jusqu'aux oasis du Sahara, est l'espèce ovine. Elle s'est adaptée aux espaces pastoraux, agropastoraux, sylvo-pastoraux et désertiques algériens. Sa population est estimée à plus de 26,8 millions de têtes (8). Outre son importance culturelle et historique, l'ovin algérien contribue à plus de 50% de la production nationale de viandes rouges et de 10 à 15% du produit intérieur brut agricole (13). Huit races sont caractérisées par une rusticité remarquable, adaptées à leurs milieux respectifs composant la diversité ovine algérienne (13). La plus importante de ces races est la Ouled Djellal représentant plus de 60% du cheptel ovin national. Les autres races selon l'importance de leurs effectifs sont respectivement: Berbère, Rembi, Hamra, Barbarine, D'Man, Sidahou et Tazegzawth. Cette dernière race (Figure 1), la Bleue de Kabylie, a longtemps été ignorée par la communauté scientifique et n'est toujours pas répertoriée officiellement. À l'exception des travaux réalisés par Moula *et al.* (11) et de El Bouyahiaoui *et al.* (5), aucune étude n'a traité la race Tazegzawth. La race est reconnaissable grâce à ses taches noires à reflets bleuâtres, son nom kabyle signifiant bleu. Son poids peut dépasser 30 kg à 6 mois. Tazegzawth se rencontre principalement dans les Wilayas de Béjaïa et de Tizi-Ouzou. Son effectif représente moins de 0,0002% (~3500 têtes) du cheptel national. Elle est menacée par les croisements non contrôlés avec les autres races et par la généralisation de l'élevage de la race Ouled Djellal.

L'objectif de cette étude est de caractériser la morpho-biométrie de la race Tazegzawth et le profil de ses éleveurs.

## Matériel et Méthodes

### Site d'étude

L'étude s'est déroulée en Kabylie, correspondant au berceau de la race (Figure 2).

L'enquête a porté sur 16 éleveurs distribués sur 9 communes: Akbou, Ouzellaguen, Chellata, Chemini, Tazmalt, Ighil Ali et Ighrem dans la Wilaya de Bejaïa et Bouzeguene et Ain El Hammam dans la Wilaya de Tizi Ouzou.

### Les entretiens avec les éleveurs

Les entretiens ont été de type semi-dirigé; le questionnaire a été traduit en langue kabyle. Le questionnaire a porté sur le profil socioéconomique du ménage et de ses activités agricoles, ainsi que les données techniques se rapportant à l'élevage de la race ovine Tazegzawth. Des questions ouvertes abordent l'historique du ménage et de son élevage, et ont permis à la personne enquêtée d'orienter la discussion sur les sujets lui semblant importants quant à l'élevage de Tazegzawth en général et aux évolutions souhaitées, en particulier.

### Étude morpho-biométrique des ovins de la race Tazegzawth

Les éleveurs concernés par l'enquête ont été prévenus la veille de notre visite. Ce qui leur a permis de prendre leurs dispositions pour garder les animaux à la maison et ainsi faciliter la capture des animaux (enfermement, liens aux pattes, séparation des adultes, ...). Chaque ovin, au nombre total de 85 (24 mâles et 61 femelles), a été caractérisé en suivant les recommandations de la FAO (7). La caractérisation morpho-biométrique a été effectuée sur des ovins adultes, et la détermination de l'âge des animaux établie sur base des déclarations des éleveurs.

Les caractères mesurés sont:

- Poids vif (kg);
- Hauteur au garrot (cm);
- Périmètre thoracique (cm);
- Longueur diagonale du corps (cm);
- Hauteur à la croupe (cm);
- Hauteur au dos (cm);
- Tour du canon (cm).

Les différentes mensurations ont été réalisées à l'aide d'une balance électronique, d'un ruban mètre et d'une canne-toise.

### Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont réalisées en utilisant le logiciel R (version 3.0.1). L'effet du sexe est testé au départ du Test de Student sur les données morpho-biométriques. Les analyses statistiques descriptives, l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) et l'Analyse de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH, Ward's algorithm) sont utilisées pour établir la typologie des éleveurs et des élevages de la race ovine Tazegzawth (*package FactorMineR, fonctions MCA and hierarchical clustering* on principe components) (Rennes, France). Les variables utilisées pour l'ACM sont représentées dans le tableau 1.





Figure 1: Moutons/Brebis de race Tazegzawth.

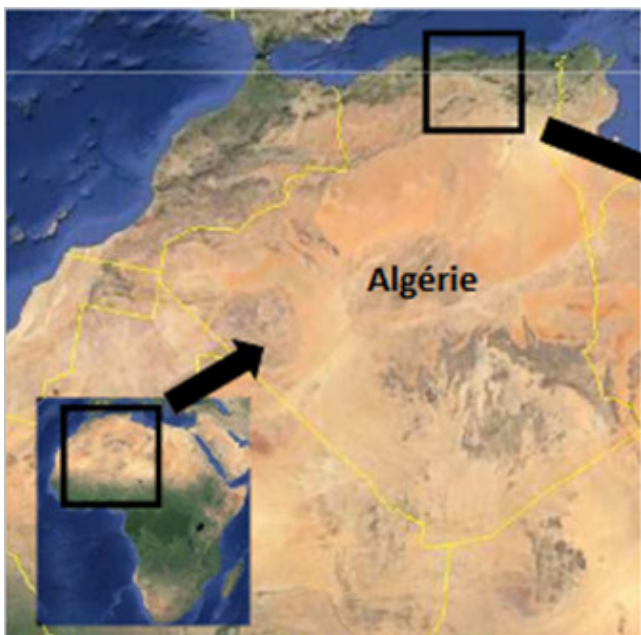


Figure 2: Localisation géographique des éleveurs de la race «Tazegzawth».



**Tableau 1**  
Codes des variables et des modalités utilisées dans l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM).

Variables	Modalités	
Effectifs ovins adultes	EfInf5	Moins de 5 têtes
	Ef6a10	Entre 6 et 10 têtes
	Ef11a15	Entre 11 et 15 têtes
Âge des éleveurs	AgeM50	Âgé de moins de 50 ans
	Age5060	Âgé entre 50 et 60 ans
	AgeSup60	Âgé de plus de 60 ans
Races ovines élevées	Ovins	Tazegzaw th
	Mixte	Tazegzaw th et d'autres races ovines
Caprins	Cap0	Absence de caprins
	Cap1	Présence de caprins
Bovins	Bov0	Absence de bovins
	Bov1	Présence de bovins
Abeilles	Abei0	Absence de ruches
	Abei1	Présence de ruches
Volailles	Volai0	Absence de volailles
	Volai1	Présence de volailles
Logement	Local	Logement traditionnel
	Modern	Logement moderne
Motivation (Tradition)	Tradition0	La tradition n'est pas la motivation de l'élevage
	Tradition1	Perpétuer la tradition
Motivation (Economique)	Economique0	La rentabilité économique n'est pas la motivation de l'élevage
	Economique1	La rentabilité économique est la motivation de l'élevage
Motivation (Adaptation)	Adaptation0	L'adaptation de la race aux conditions pédoclimatiques locales n'est pas une motivation
	Adaptation1	L'adaptation de la race aux conditions pédoclimatiques locales
Taille de la portée des brebis	Double	Portée double
	Individuelle	Portée individuelle
Projet	Non	Jamais participé à une étude ou un projet de recherche sur la race
	Oui	Déjà participé à une étude ou un projet de recherche sur la race
Historique	HistInf5	L'élevage est âgé de moins de 5 ans
	Hist5a10	L'âge de l'élevage est compris entre 5 et 10 ans
	HistSup10	L'élevage est âgé de plus de 10 ans

## Résultats

### Profil socioéconomique et pratiques d'élevages des éleveurs enquêtés

Les seize éleveurs enquêtés sont tous de sexe masculin et âgés en moyenne de  $54,94 \pm 13,79$  ans (Tableau 2). Huit éleveurs (50%) sont âgés de moins de 50 ans, six éleveurs (37,5%) âgés de plus de 60 ans et deux éleveurs âgés de 51 et 56 ans. Tous les éleveurs sont lettrés, ayant étudiés au moins 6 années à l'école et parlent au moins 2 langues (Kabyle, Arabe, Français ou Anglais). À l'exception d'un éleveur veuf, tous les éleveurs sont mariés. Les épouses et les enfants participent à l'activité de l'élevage familial.

La moitié des éleveurs élèvent la race depuis plus de 10 ans et 6 éleveurs entre 5 et 10 ans.

À la question concernant la collaboration de l'éleveur dans le projet public pour la conservation de la race Tazegzawth, 11 éleveurs (68,75%) ont répondu négativement. Les éleveurs citent comme motivations pour l'élevage de cette race, l'adaptation (citée par 11 éleveurs) de la race aux conditions pédoclimatiques difficiles des montagnes kabyles, la perpétuation de la tradition (citée par 9 éleveurs) et l'augmentation du prix des animaux appartenant à la race (citée par 6 éleveurs).

L'élevage des ovins est une activité secondaire associée à l'élevage d'autres espèces: bovins (9 éleveurs), caprins (9 éleveurs), abeilles (5 éleveurs) et volailles (5 éleveurs). Tous les éleveurs possèdent des oliviers et des figuiers. Quatre éleveurs (25%) sont retraités, 3 fonctionnaires (18,75%), 2 commerçants (12,5%), 1 maçon (6,25%) et 6 éleveurs/agriculteurs (37,5%).

Comme indiqué dans le tableau 2, l'effectif Tazegzawth moyen par élevage est de  $12,13 \pm 3,84$  ovins avec un effectif adulte de  $8,25 \pm 3,62$  ovins et un sex-ratio favorable aux femelles (environ 3 femelles pour 1 mâle). D'après les réponses des éleveurs, les effectifs actuels par élevage ont beaucoup baissé par rapport aux effectifs rencontrés avant les années 1990. Les conditions pédoclimatiques des villages kabyles où la race Tazegzawth est élevée sont très défavorables influençant la taille des troupeaux. En effet, caractérisée par des terrains montagneux, la Kabylie représente un agrosystème difficile et particulier.

De plus, le climat de la région est caractérisé par un hiver enneigé et un été très chaud limitant la disponibilité des fourrages dans les pâturages. Comme exprimé par certains éleveurs questionnés (37,5%), dans des conditions favorables, ils verraient leurs effectifs augmenter tout en gardant plus de femelles.

Concernant la reproduction de la race Tazegzawth, les éleveurs utilisent en majorité (14/16 éleveurs) des géniteurs provenant de leur élevage. Deux éleveurs affirment qu'ils font appel aux géniteurs d'autres éleveurs dans l'objectif de réduire les risques de consanguinité élevés selon leurs dires. Les saillies libres sont les plus pratiquées (15 éleveurs) du fait de la présence de mâles dans le troupeau. Cependant, un éleveur (6,25%) utilise les techniques modernes d'induction de chaleur et ainsi il choisit le géniteur et le moment de la saillie. Selon les éleveurs, les portées de Tazegzawth peuvent être simples (43,75% des éleveurs) ou doubles (56,25% des éleveurs). Les animaux sont élevés dans un système de semi-bergerie. Les bergeries sont modernes chez 11 éleveurs (68,75%) construites avec du béton et des matériaux de constructions modernes. Chez cinq éleveurs (31,25%), les habitations des ovins sont traditionnelles, construites avec des matériaux de récupération disponibles localement.

L'alimentation est principalement liée au pâturage naturel chez tous les éleveurs enquêtés. La complémentation alimentaire est pratiquée chez l'ensemble des éleveurs. Cette complémentation varie selon les saisons et les élevages. Elle est composée d'aliments d'élevage moderne (industriel), de résidus de cultures, de foin, de feuilles d'oliviers, de frênes, d'ormes, de chênes zéen et de figuiers, de caroubes, etc ...

### Étude morpho-biométrique des ovins Tazegzawth

Les résultats, présentés dans le tableau 3, indiquent que les valeurs moyennes des différentes mensurations des mâles sont significativement ( $P < 0,01$ ) supérieures à celles des femelles. Le poids vif moyen des mâles ( $68,48 \pm 1,12$ ) est significativement ( $P < 0,001$ ) supérieur à celui des femelles ( $53,84 \pm 1,16$ ).

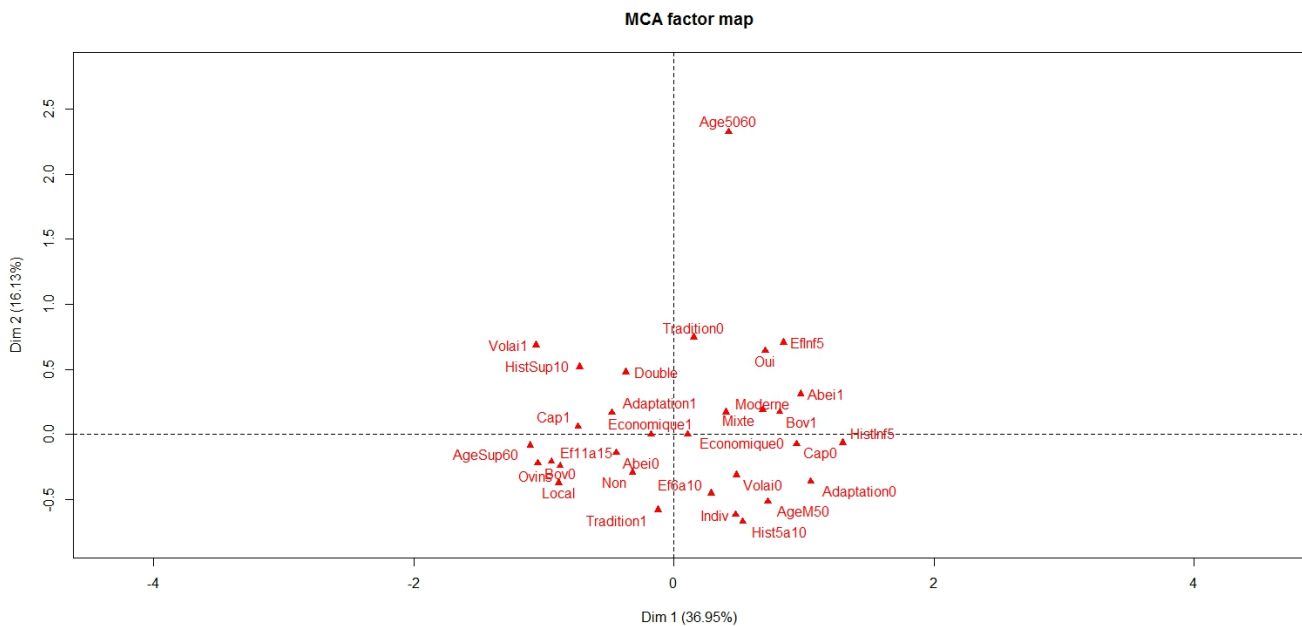
**Tableau 2**  
Âge moyen des éleveurs et effectif ovin moyen par élevage

Variabes	Moyenne	Déviatiion Standard	Médiane	Cv (%)
Âge des éleveurs (années)	54,94	13,79	53,5	25,09
Effectif total (têtes)	12,13	3,84	12,5	27,08
Effectif adulte (têtes)	8,25	3,62	8,5	43,93
Rapport (mâles/femelles) adultes	0,32	0,12	0,33	38,95

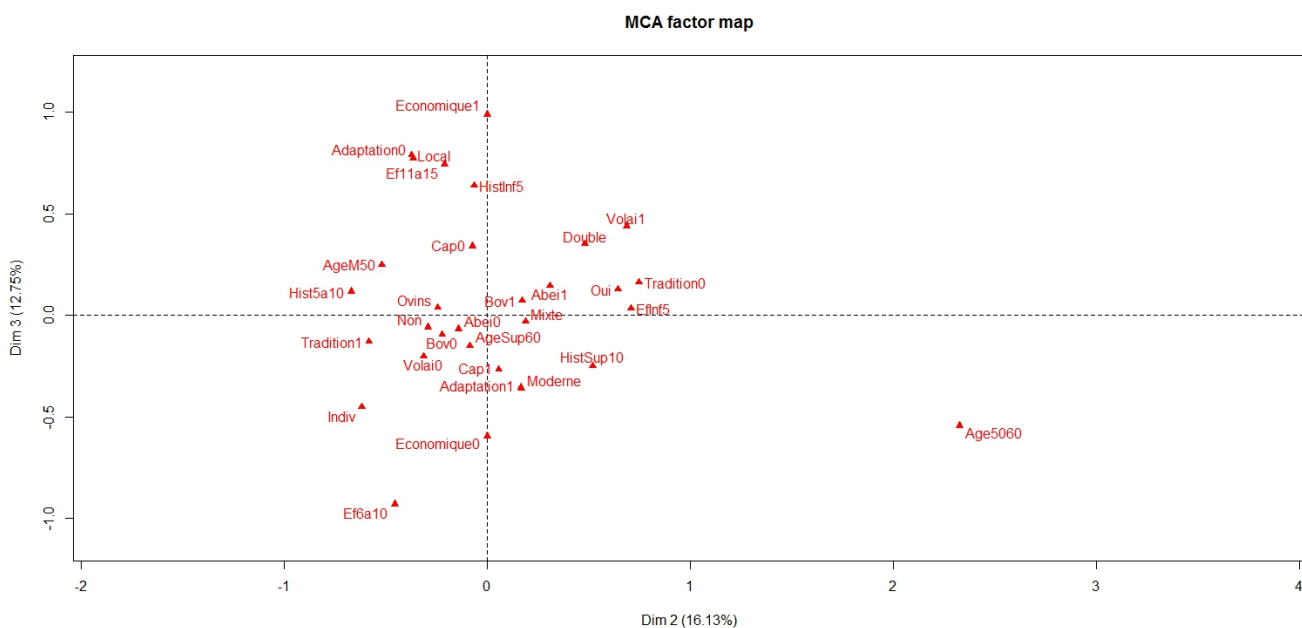
**Tableau 3**  
 Comparaison des mensurations corporelles des ovins mâles et femelles  
 de la race Tazegzawt (Moyenne± Erreur standard).

Mensurations	Sexe		P-value(T Test)
	Femelles (n=61)	Mâles (n=24)	
Poids vif (kg)	53,84±1,16	68,48±1,92	***
Hauteur au garrot (cm)	75,49±1,21	82,79±2,01	***
Périmètre thoracique (cm)	85,69±0,89	96,58±1,44	***
Longueur diagonale du corps (cm)	87,51±1,45	97,42±2,40	***
Hauteur à la croupe (cm)	76,15±1,21	82,38±1,99	**
Hauteur au dos (cm)	73,11±1,21	80,08±2,01	**
Tour du canon (cm)	9,02±0,12	10,30±0,20	***

\*\*p-value<0.01; \*p-value<0.001



**Figure 3:** Représentation graphique des modalités sur les axes 1 et 2 (Signification des modalités sur le tableau 2).



**Figure 4:** Représentation graphique des modalités sur les axes 2 et 3 (Signification des modalités sur le tableau 2).

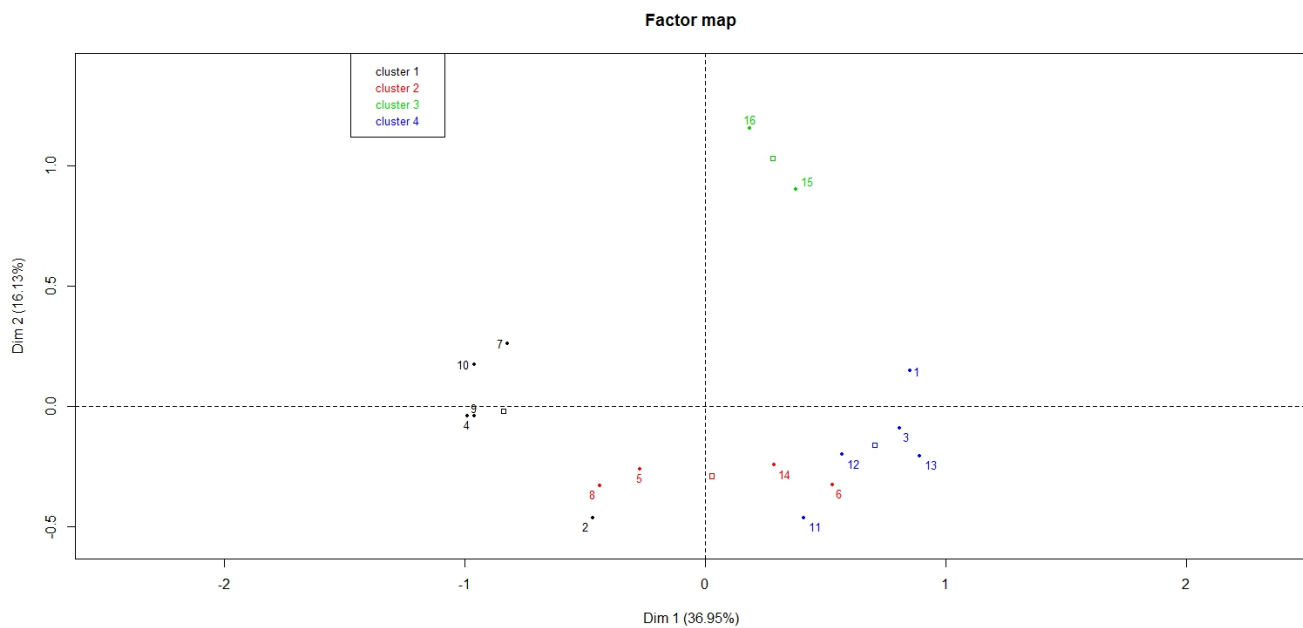


Figure 5: Représentation graphique des groupes (Classification Hiérarchique).

### Typologie des élevages

#### L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

L'ACM est appliquée sur 14 variables composées de 31 modalités contribuant à une inertie totale des 3 premiers axes de 65,84%. Le tableau 4 rapporte les liens statistiques des variables avec les 3 premiers axes.

Axe 1 (Figure 3): représente 36,94% de la variation totale. Il oppose les modalités Age5060, tradition0, Double et Adaptation1 (corrélations positives) à Ef6a10, Indiv et Tradition1 (corrélations négatives).

Axe 2 (Figure 3): représente 16,13% de la variation totale. Il est corrélé à l'élevage de plusieurs races ovines (mixtes) et d'espèces, comme les bovins et les abeilles. L'élevage de la race ovine Tzegzawth est récent (moins de 5 ans).

Axe 3 (Figure 4): représente 12,75% de la variation totale. Il décrit l'élevage spécialisé de la race Tazgzawth par des éleveurs depuis 5 à 10 ans et qui n'ont jamais participé à des projets de recherche et de conservation de la race menés par le gouvernement algérien.

#### La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) et la description des groupes

La Classification Ascendante Hiérarchique a été réalisée sur 14 variables (Tableau 1). Quatre groupes ont été retenus conservant une variance entre les groupes de 65,84% de la variabilité totale. La figure 5 montre les 4 groupes d'éleveurs d'ovins de la race Tazgzawth.

Le tableau 5 montre la distribution des modalités les plus significatives sur les 4 groupes.

Le tableau 6 montre la répartition des modalités sur les 4 groupes d'éleveurs.

Groupe 1 (5 éleveurs; 31,25%): Il représente des éleveurs âgés en majorité de plus de 60 ans et possédant les effectifs allant de 11 à 15 têtes dont les brebis donnant des mises bas gémellaires. Ils n'élevent pas d'autres races ovines. Tous les éleveurs du groupe élèvent des chèvres. Aucun éleveur de ce groupe ne possède des bovins. Quatre éleveurs possèdent des volailles et gardent leurs ovins dans des logements fabriqués par des matériaux locaux.

Tableau 4

Degrés de signification statistique des liens des variables avec les 3 premiers axes.

Variables	Dim1	Dim2	Dim3
Effectif ovin adultes	**	**	-
Âge des éleveurs	*	-	*
Espèces élevées	**	-	*
Caprins	*	-	**
Bovins	**	-	*
Ovins	*	-	*
Abeilles	-	-	-
Volailles	*	-	-
Logement	*	-	-
Motivation (Tradition)	-	-	-
Motivation (Economique)	-	-	-
Motivation (Adaptation)	-	-	***
Taille de la portée des brebis	*	*	-
Projet	-	-	-
Historique	-	-	*

\*p-value<0.05; \*\*p-value<0.01; \*p-value<0.001; -: lack of link.



**Tableau 5**  
Relation des modalités avec les groupes.

Modalités	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Ef6a10	-	80	-	-
Ef11a15	83,33	-	-	-
AgeM50	-	-	-	62,5
Age5060	-	-	100	-
AgeSup60	66,67	-	-	-
Ovins	71,43	-	-	-
Mixte	-	-	-	55,56
Cap0	-	-	-	71,43
Cap1	55,56	-	-	-
Bov0	71,43	-	-	-
Bov1	-	-	-	55,56
Volai1	80	-	-	-
Local	80	-	-	-
Adaptation0	-	-	-	100
Double	55,56	-	-	-
Individuelle	-	57,14	-	-

**Tableau 6**  
Distribution des éleveurs dans les 3 axes par modalité.

Modalités	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Total
EfInf5	-	-	2	3	5
Ef6a10	-	4	-	1	5
Ef11a15	5	-	-	1	6
AgeM50	1	2	-	5	8
Age5060	-	-	2	-	2
AgeSup60	4	2	-	-	6
Ovins	5	2	-	-	7
Mixte	-	2	2	5	9
Cap0	-	1	1	5	7
Cap1	5	3	1	-	9
Bov0	5	2	-	5	12
Bov1	-	2	2	-	4
Abei0	5	3	1	2	11
Abei1	-	1	1	3	5
Volai0	1	4	1	5	11
Volai1	4	-	1	-	5
Local	4	-	-	1	5
Modern	1	4	2	4	11
Tradition0	2	1	2	2	7
Tradition1	3	3	-	3	9
Economique0	2	4	2	2	10
Economique1	3	-	-	3	6
Adaptation0	-	-	-	5	5
Adaptation1	5	4	2	-	11
Double	5	-	2	2	9
Individuelle	-	4	-	3	7
Non	5	3	3	-	11
Oui	-	1	2	2	5
HistInf5	-	-	-	2	2
Hist5a10	1	2	-	3	6
HistSup10	4	2	2	-	8

La majorité des éleveurs (80%) de ce groupe élèvent la race Tazegzawth depuis longtemps (+ de 10 ans) et n'ont jamais collaboré à des travaux de recherche et de conservation réalisés dans la région. La motivation pour cette race est dictée par son adaptation aux conditions pédoclimatiques difficiles des montagnes kabyles.

Groupe 2 (4 éleveurs, 25%): Il regroupe les éleveurs possédant des effectifs de la race Tazegzawth allant de 6 à 10 têtes dont les brebis donnant des agnelages simples. La majorité des éleveurs de ce groupe (60%) possèdent des caprins. Les motivations de ce groupe pour l'élevage sont l'adaptation (4/4 éleveurs) aux conditions d'élevage de la Kabylie et la perpétuation de la tradition (3/4 éleveurs) de l'élevage de la race Tazegzawth.

Groupe 3 (2 éleveurs; 12,50%): Les deux éleveurs de ce groupe sont âgés de 51 et 56 ans (Age5060) et possèdent des effectifs Tazegzawth ne dépassant pas 5 têtes dont les brebis donnant des agnelages gémeaux.

D'autres races ovines sont élevées par ce groupe dans des logements pour ovins modernes. Ils élèvent aussi des bovins ainsi que la race Tazegzawth depuis longtemps (+ de 10 ans) et ont collaboré à une étude scientifique réalisée dans la région de Bejaia. À l'image des deux premiers groupes, la motivation principale des éleveurs est l'adaptation de la race aux conditions d'élevage de Kabylie.

Groupe 4 (5 éleveurs; 31,25%): Il regroupe les éleveurs âgés de moins de 50 ans qui élèvent des bovins et qui disposent de logements pour animaux modernes. En plus de Tazegzawth, ils élèvent d'autres races ovines.

Le lien statistique des variables avec les axes de l'ACM sont rapportés dans le tableau 4.

## Discussion

### Profil socio-économique et pratiques d'élevages des éleveurs enquêtés

Les éleveurs questionnés sont tous de sexe masculin. Cependant, les femmes et les enfants participent activement aux activités d'élevage et agricole dans la région (6, 15, 16). La race Tazegzawth connaît aujourd'hui un regain d'intérêt grâce aux éleveurs. D'ailleurs, la moitié des éleveurs enquêtés sont âgés de moins de 50 ans. Ce regain d'intérêt peut être dû au prix élevé des ovins de cette race qui peuvent coûter au moins deux fois plus que ceux des autres races. La tradition d'élevage ovin en général et de Tazegzawth en particulier dans la région d'étude, s'inscrit dans un système symbolique multiple qui regroupe la religion (Aid El Adha –fête du mouton-), la culture (fierté d'appartenance à la culture Kabyle) et la réussite économique (capital et épargne).

Les effectifs faibles enregistrés par foyer (12,13±3,84 têtes) peuvent être expliqués par la faible disponibilité de terrains agricoles dans la région. De plus, les éleveurs de la race n'ont pas conscience qu'ils gardent des sujets d'une race menacée de disparition. D'où les croisements anarchiques qu'ils réalisent avec des animaux d'autres races favorisées par le système d'élevage où plusieurs éleveurs ovins partagent les mêmes pâturages. Trois éleveurs de la région, tous âgés de plus de 70 ans, ont déclaré qu'un engouement pour la race Ouled Djellal a été observé dans la région de la Soummam à partir des années 80 au niveau des marchés d'Akbou, Chemini, Ouzellaguen, Sidi Aich et Tazmalt.

Dans l'étude de Moula *et al.* (14) sur les élevages de chèvres en Kabylie, la majorité des éleveurs ont un très faible niveau d'éducation, ce faible niveau d'instruction pourrait s'expliquer par l'âge élevé des éleveurs (médianes: 62 Vs. 53 ans dans la présente étude). L'identification des éleveurs de la race Tazegzawth dans la région d'étude est très difficile pour des raisons diverses liées à l'histoire de la région. Parmi ces raisons, les éleveurs de la région ne déclarent pas le nombre exact de leurs cheptels de peur de payer des taxes sur leurs animaux. Des pratiques différentes sont enregistrées dans d'autres régions d'Algérie comme les hauts plateaux où les éleveurs ont tendance à sur-déclarer leurs cheptels ovins pour pouvoir bénéficier de subventions publiques. Les éleveurs enquêtés ont tous d'autres activités économiques. Concernant la diversification d'espèces animales élevées, elle présente un gage d'assurance contre les épidémies et la fluctuation des prix des animaux.

Les brebis de la race Tazegzawth donnent généralement un à deux agnelages par an avec un à deux sujets par portée. Il reste à vérifier les affirmations des éleveurs par des études des performances de production et de reproduction de la race dans un environnement contrôlé. À l'image des résultats obtenus chez la race Ouled Djellal par Benyounes *et al.* (2), la brebis Tazegzawth semble être moins saisonnée et l'intervalle entre l'agnelage et l'insémination est plus précoce.

L'alimentation dépend principalement de la végétation disponible dans les pâturages naturels dans les régions montagneuses de la Kabylie. Vu les coûts élevés des aliments industriels, les éleveurs complètent le régime alimentaire de leurs moutons par les déchets organiques (toute l'année), les résidus de cultures (lors des récoltes), le foin (l'hiver principalement) et les feuilles d'oliviers, de frênes, d'ormes, de chênes zeen et de figuiers (l'été). Ce système de complémentation permet aux éleveurs de réduire les coûts de production des ovins et ainsi augmenter leurs marges bénéficiaires à la vente des animaux.

### Caractéristiques morpho-biométriques des ovins de la race Tazegzawth

La race Tazegzawth n'était reconnue à aucun niveau (11). Il a fallu attendre les travaux de Moula *et al.* (10, 11) et ceux d'El Bouyahiaoui *et al.* (5) pour trouver des travaux scientifiques abordant la race. Comme rapporté par Moula *et al.* (10), la race Tazegzawth, récemment listée dans le répertoire des races ovines algériennes, est reconnaissable grâce à ses taches noires à reflets bleuâtres et des taches bleues fréquentes sur la langue d'où son nom kabyle signifiant bleu.

Concernant les mensurations morpho-biométriques, les valeurs significativement ( $P < 0,01$ ) plus élevées chez les mâles sont en accord avec le dimorphisme sexuel marqué, largement documenté dans l'espèce ovine (5, 11). Les résultats de la présente étude sont inférieurs à ceux obtenus dans l'étude d'El Bouyahiaoui *et al.* (5) pour l'ensemble des mesures à l'exception de la longueur du corps qui est plus élevée dans la présente étude. Par exemple, la différence du poids vif chez les femelles (53,84 vs. 54,60 kg) et les mâles (68,48 vs. 78,55 kg) entre les deux études peut être expliquée par le fait que les animaux de l'étude d'El Bouyahiaoui *et al.* (5) appartiennent au troupeau expérimental de la station de recherche Oued Ghir de l'INRA Algérie.

Cependant, les poids vifs de cette étude sont nettement supérieurs à ceux rapportés par Moula *et al.* (11) (46,71 kg et 40,72 kg pour le mâle et la femelle, respectivement). La différence peut être expliquée par le fait que dans la précédente étude, l'âge moyen des animaux caractérisé dans l'étude de Moula *et al.* (2013) est plus faible. Comme rapporté dans l'étude d'El Bouyahiaoui *et al.* (5), les poids vifs de la race Tazegzawth sont relativement proches de ceux de la principale race ovine algérienne Ouled Djellal (4). Cette caractéristique pourrait encourager les éleveurs à remplacer l'élevage de la race ovine Ouled Djellal en Kabylie par la race Tazegzawth qui est plus rustique dans cette région.

### Typologie des élevages

Les systèmes agropastoraux composites dans lesquels les ovins de la race Tazegzawth évoluent en Kabylie font partie d'une stratégie de diversification et de complémentarité entre activités de productions. Les espèces animales élevées combinent les opportunités de production et d'épargne. Afin de contribuer à un développement ultérieur de la production de la race Tazegzawth, son insertion dans ces systèmes de production composite doit être comprise. Par conséquent, cette étude propose une typologie basée sur la composition du portefeuille agropastoral des agriculteurs dans la région d'étude. Les principales caractéristiques décrites par l'ACM sont les suivantes:

*Groupe des anciens éleveurs de la race Tazegzawth possédant les grands effectifs de la race Tazegzawth (Groupe 1):* représente le groupe des anciens éleveurs (âge > 60 ans) possédant les effectifs les plus élevés de la race Tazegzawth. Les ovins sont logés dans des habitations construites avec des matériaux de récupération et disponibles localement. Ce groupe représente l'éleveur modeste se contentant d'élever des ovins, des caprins et des volailles et limitant les investissements dans le logement et dans les intrants. D'ailleurs le choix de Tazegzawth par le groupe est dicté par l'adaptation de la race aux conditions pédoclimatiques de la Kabylie permettant aux éleveurs de limiter les dépenses d'entretien des ovins. La non collaboration du groupe aux travaux de recherche et de conservation de la race peut être expliquée par l'âge avancé des éleveurs qui est synonyme de plus de prudence et d'inquiétude d'être taxés par les autorités publiques sur leurs animaux d'élevage.

*Groupe d'éleveurs d'effectif intermédiaire de la race Tazegzawth (Groupe 2):* Les éleveurs de ce groupe possèdent entre 6 et 10 têtes de la race Tazegzawth dans l'objectif de perpétuer l'élevage de la race car elle est parfaitement adaptée aux zones montagneuses de Kabylie. L'aspect culturel de l'élevage de la race Tazegzawth est le moteur d'élevage de la race pour ce groupe. Comme pour le premier groupe, le caprin est associé à l'élevage ovin.

*Groupe d'éleveurs d'anciens éleveurs de Tazegzawth associé à l'élevage de bovins (Groupe 3):* Composé de 2 éleveurs âgés de 51 et 56 ans, c'est le plus petit groupe de l'étude. Ils sont considérés comme d'anciens éleveurs de la race (plus de 10 ans) ayant vu leur effectif en race Tazegzawth diminuer pour ne pas dépasser 5 sujets aujourd'hui. Ce déclin peut être expliqué par la spécialisation du groupe dans l'élevage bovin nécessitant plus de temps de travail et d'intrants.

*Groupe d'éleveurs de jeunes éleveurs de Tazegzawth associé à l'élevage de bovins (Groupe 4):* Les éleveurs de ce groupe sont tous âgés de moins de 50 ans. Comme le groupe 3, ils sont spécialisés dans l'élevage de bovins et logent leurs ovins dans des logements modernes. Ils associent l'élevage de Tazegzawth à d'autres races (types) d'ovins. Les points communs des différents groupes sont la possession d'oliviers et de figuiers et la pratique de la supplémentation alimentaire.

### Conclusion

Au vu des résultats actuels, la race Tazegzawth ou Bleue de Kabylie apparaît comme une race appréciée par ses éleveurs dans sa région d'origine. Dans la perspective de capitaliser cette ressource génétique précieuse, la population manque néanmoins d'une structure de gestion qui poursuivrait des objectifs de sélection définis collectivement.

Une telle structure nécessiterait une forte implication des éleveurs et, par nature, concomitante à la mise en place d'une stratégie pour le développement d'une filière et d'une association d'éleveurs de la race Tazegzawth.

Le choix de la race Tazegzawth par les éleveurs est dicté par sa parfaite adaptation à la région Kabyle (Algérie) qui est caractérisée par les difficultés de ses conditions pédoclimatiques.

L'enquête a révélé que l'élevage ovin est une activité de diversification et non de spécialisation. D'autres races ovines et espèces animales sont élevées par les éleveurs de Tazagzawth. En raison du partage de pâturages naturels entre différents éleveurs, des croisements anarchiques contribuant à l'extinction de la race Tazagzawth.

Il est important de réaliser d'autres études sur les performances de production et de reproduction de la race dans des conditions d'élevage contrôlées. En Algérie, la documentation de la biodiversité d'élevage doit être menée de façon urgente et ce, en étudiant l'insertion de cette biodiversité dans la diversité des modes et objectifs de l'élevage familial.

### Remerciements

L'auteur remercie Mesdames R. Naciri et N. Brunetta, Monsieur P. Nicolas et les Docteurs K. Nessah, M. Saidani et D. Saidj pour l'aide qu'ils ont apportée à cette étude.

### Références bibliographiques

- Benaissa R., 1989, Le dromadaire en Algérie. CIHEAM (opt. Medit.) *Séries séminaires*, **2**, 19-28.
- Benyounes A., Rezaigui M. & Lamrani F., 2013, Rendement reproductif des brebis Ouled Djellal et Taâdmit élevées dans la région nord-est d'Algérie. *Livestock Res. Rural Dev.*, **25**, 99. Retrieved April 3, 2017, from <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/beny25199.htm>
- Dahloum L., Moula N., Halbouche M. & Mignon-Ge-Rasteau M., 2016, Phenotypic characterization of the indigenous chickens (*Gallus gallus*) in the northwest of Algeria, *Arch. Anim. Breed.*, **59**, 79-90. <http://psjd.icm.edu.pl/psjd/element/bwmeta1.element.psjd-4a91afdc-15b1-4422-b076-5e49bb1a24c9>
- Dekhili M. & Aggoun A., 2013, Path coefficient analysis of body weight and biometric traits in Ouled-Djellal breed. (Algeria), *Rev. Agric.*, **6**, 41-46. <http://revue-agro.univ-setif.dz/documents/numero-6/Path%20coefficient%20analysis%20of%20body%20weight%20and%20biometric%20traits%20in%20Ouled%20Djellal%20breed%20%28Algeri%29%20Dekhili%20Aggoun.pdf>
- El Bouyahiaoui R., Arbouche F., Ghozlane F., Moulla F., Belkheir B., Bentrioua A., Hidra H., Mansouri H., IguerOuada M., Bellahreche A. & Djaout A., 2015, Répartition et phénotype de la race ovine Bleue de Kabylie ou Tazegzawth (Algérie), *Livestock Res. Rural Dev.*, **27**, 14. Retrieved March 13, 2017, from <http://www.lrrd.org/lrrd27/10/arbo27214.html>
- Djellal F., Mouhous A. & Kadi S.A., 2006, Performances de l'élevage fermier du lapin dans la région de Tizi-Ouzou, Algérie, *Livestock Res. Rural Dev.*, **18**, 100. Retrieved May 11, 2017, from <http://www.lrrd.org/lrrd18/7/djel18100.htm>
- FAO., 2013, *Caractérisation phénotypique des ressources génétiques animales*. Directives FAO sur la production et la santé animales, 11. Rome. [www.fao.org/docrep/019/i2686f/i2686f.pdf](http://www.fao.org/docrep/019/i2686f/i2686f.pdf)
- Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR), 2013, Statistiques Agricoles Série B.
- Moula N., Antoine-Moussiaux N., Farnir F., Detilleux J. & Leroy P., 2009, Réhabilitation socioéconomique d'une poule locale en voie d'extinction: la poule Kabyle (Thayazit lekvayel), *Ann. Méd. Vét.*, **153**, 178-186. [http://www.facmv.ulg.ac.be/amv/articles/2009\\_153\\_3\\_05.pdf](http://www.facmv.ulg.ac.be/amv/articles/2009_153_3_05.pdf)
- Moula N., Iguer-Ouada M., Touazi L., Ait Kaki A., Farnir F., Leroy P. & Antoine-Moussiaux N., 2012, Ressources génétiques animales en Kabylie (Algérie). Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Scientific Meeting of the Faculty of Veterinary Medicine, Liège, Belgium. [http://www.fmv.ulg.ac.be/cms/c\\_1312257/en/proceedings](http://www.fmv.ulg.ac.be/cms/c_1312257/en/proceedings) 2012.
- Moula N., Philippe F. X., Luc D. D., Farnir F., Antoine-Moussiaux N. & Leroy P., 2013, *Caractérisation de la race ovine Tazegzawth en Algérie: description morpho-biométrique et détermination d'une formule baryométrique*. 3<sup>rd</sup> Scientific Meeting of the Faculty of Veterinary Medicine, ULg, Belgium, October 2013. <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/158060/1/Tazegzawth3Sday.pdf>
- Moula N., Michaux C., Philippe F.X., Leroy P. & Antoine-Moussiaux N., 2014 *Local goat in Kabylie (Chemini and Bouzeguene)*. Proceedings of the 1<sup>st</sup> FARAH day, Liège, Belgium. [http://www.fmv.ulg.ac.be/cms/c\\_2182994/fr/farah-day-2014-proceedings](http://www.fmv.ulg.ac.be/cms/c_2182994/fr/farah-day-2014-proceedings).
- Moula N., Tennah S., Philippe F.X., Farnir F., Leroy P. & Antoine-Moussiaux N., 2013, *Les ressources génétiques ovines en Algérie*. 11<sup>èmes</sup> Journées Internationales des Sciences Vétérinaires. Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger. <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/160523>
- Moula N., Ait Kaki A., Touazi L., Farnir F., Leroy P. & Antoine-Moussiaux N., 2017, Goat breeding in the rural district of Chemini (Algeria), *Nat. & Technol.*, **16**, 40-48. [http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/202131/1/Article\\_401\\_B.pdf](http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/202131/1/Article_401_B.pdf)
- Moula N., Farnir F., Salhi A., Iguer-Ouada M., Leroy P., Antoine-Moussiaux N. Backyard poultry in Kabylie (Algeria): from an indigenous chicken to a local poultry breed?, *Anim. Genet. Res.*, **50**, 97-106.
- Saidj D., Aliouat S., Arabi F., Kirouani S., Merzem K., Merzoud S., Merzoud I. & Ain Baziz H., 2013, La cuniculture fermière en Algérie : une source de viande non négligeable pour les familles rurales, *Livestock Res. Rural Dev.*, **5**, 138. Retrieved May 11, 2017, from <http://www.lrrd.org/lrrd25/8/said25138.htm>



# Logit Model of Analysing the Factors Affecting the Adoption of Goat Raising Activity by Farmers in the Non-pastoral Centre Region of Cameroon

F.A. J. Jaza<sup>1\*</sup>, P.P. Tsafack<sup>1</sup> & F. Kamajou<sup>1</sup>

**Keywords:** Agropastoralism- Breeder- Livestock- Logistic regression- Cameroon

## Summary

Three years after the beginning of a goat project in the Centre region of Cameroon, the engagement of farmers in this activity has been timid. As this region is not a traditional pastoral zone, farmers have not yet incorporated the crop-livestock integration into their habits. Hence, this paper uses a logistic regression approach in order to analyse the factors affecting the adoption of goat raising activity by farmers of this locality. The computed odds ratio indicate that the practice of goat raising activity is significantly influenced by the farmer's age, gender, farming experience, practice of other livestock activities, frequency of contact with extension agents, access to credit and farm income. However, being a goat raiser does not depend on the farmer's marital status, education, farm size, household size, membership into a common initiative group. The study therefore recommends that the government authorities should give more attention to significant factors so as to popularize the goat raising activity in this region.

## Résumé

**Modèle logit d'analyse des facteurs influençant l'adoption de l'activité d'élevage des chèvres par les agriculteurs de la région non-pastorale du Centre Cameroun**

L'évaluation du projet chèvre, effectuée après trois ans d'exécution, dans la région du Centre- Cameroun a montré que l'engagement des agriculteurs dans l'activité d'élevage des chèvres reste timide. Une des raisons de ce faible engagement serait la localisation de ce projet dans une région traditionnellement non-pastorale. Les agriculteurs ne sont pas habitués à l'intégration agriculture-élevage dans leurs systèmes de production. Cet article utilise un modèle de régression logistique pour analyser les facteurs influençant l'adoption de l'activité d'élevage des chèvres par les agriculteurs dans cette région. Le calcul du rapport des cotes (odds ratio) indique que la pratique de l'activité d'élevage des chèvres est, significativement, influencée par l'âge de l'agriculteur, son sexe, son expérience agricole, la pratique d'autres activités pastorales, la fréquence de contact avec les agents de vulgarisation, l'accès au crédit et par son revenu agricole. Toutefois, l'adoption de l'activité d'élevage des chèvres ne dépend ni du statut matrimonial de l'agriculteur, ni de son éducation, ni de la taille de son exploitation agricole, ni de la taille de son ménage, ni de son adhésion à un groupe d'initiative commune. L'étude recommande aux autorités gouvernementales d'accorder plus d'attention aux facteurs influençant l'adoption de cette activité dans cette région.

<sup>1</sup>University of Dschang, Department of Agricultural Economics, Cameroon

\*Corresponding author: Email: ajazafol@yahoo.fr

Received on 17.11.16 and accepted for publication on 11.08.17

## Introduction

The Cameroonian economy depends on agriculture which accounts for about 27% of Gross Domestic Product (GDP), employs 70% of the active population and generates more than half of total export earnings. Within the agricultural sector, the contribution of the livestock sub-sector is important to the country's economy. During the previous decades, this sub-sector employed 30% of rural people, contributed to about 2.1% of the country's GDP and 30% of the revenue earned by the rural population (10).

The livestock herd is mainly made up of cattle, goat, sheep, pig and poultry. In 2015, the country counted over 5.1 million cattle, 3.8 million goats, 3.5 million sheep, 1.2 million pigs and 24 million poultry (4). The increasing livestock production over the years is not sufficient enough to compensate the rise in the demand for livestock products so as to satisfy the population's needs. The livestock sub-sector is particularly important because its derived products consumed in the form of meat, milk, dairy products, eggs and table birds contribute to the national nutrition and healthiness of the Cameroonian population and its neighbouring countries.

According to the Cameroonian Ministry of Livestock (10), the total consumption of milk and dairy products is estimated at 297,000 tons per year i.e. an average consumption of 19.8 kg/person/year. The fresh milk consumption in the country averages 14.5 kg/person/year, which is below the minimum estimated need of 21 to 22 kg/person/year (4). Hence, the national demand of meat and dairy products is unsatisfied, probably because of the serious problems that are encountered by the livestock sub-sector.

Among these problems, the main constraining ones are the mismanagement of agricultural exploitations due to the farmers' low experience on livestock activities; the farmers' old age and high illiteracy level; the high proportion of unskilled labour due to the insufficiency or lack of training offered to farmers; the low capital or limited access to credit for investment; the low partnership or grouping initiative between farmers; the limited number of infrastructures for collecting, processing, storage, marketing and the low organisation of market for livestock products. It is assumed that, the national livestock production could be improved if these constraints are alleviated (10, 13).

For the country to achieve its food self-sufficiency and become a middle income country by the year 2035, the strategic document for poverty reduction recommends the livestock sector to increase the supply of raised animals such as cattle, goat, sheep, pig and poultry (10). By considering the low investment cost and the easiest adaptability of goat at different zones of the country, breeders give much preference to raising goats than to other livestock activities.

Most often, the breeders appreciate goats to other livestock for their multiple functions (e.g. milk and meat supply as well as draught power to households), for the little investment in management technologies that would secure goats' survival in dry seasons, for the high performance and productivity of goats (11). These advantages motivated the implementation of the goat project in 2013 at the Centre region because of its proximity to Yaoundé (county town of the region and capital-city of Cameroon) in order to meet the increasing demand of meat in such a big city, to exploit the genetic characteristics of goat, to improve goat productivity and generate revenue to farmers engaged in this activity. However, that project did not consider the historical vocation of the population and was launched in a region where pastoral activities were neglected in the past in favour of cropping enterprises such as cocoa, maize, cassava, fruits, vegetables, etc. As the Centre region is not a traditional pastoral zone, its farmers have not yet incorporated the crop-livestock integration into their habits.

Three years since the beginning of the goat project, farmers have been timidly engaged in the goat raising activity. Nowadays, the Centre region counts over 57,000 goat raisers (about 13.1% of the national total) as compared to about 34,000 goat raisers who existed in the region before the project was launched. Recent studies (11, 12, 13) have been carried out on the genetic, productivity and profitability of goat raising but without specific consideration on the factors affecting the timidity of adoption of this activity. Hence, this study is undertaken to fill up that gap by analysing the socio-economic factors affecting the adoption of goat raising activity by farmers in this region.

## Materials and methods

### Study area and data collection

The field survey was carried out from April to June 2016 in the Centre region of Cameroon. The following six divisions of the region were surveyed: Mfoundi, Haute-Sanaga, Mefou-Afamba, Mefou-Akono, Mbam-et-Kim and Lekié. These divisions were chosen in order to benefit from the facilities offered by the goat project implemented in these areas since 2013. Furthermore, the survey intended to help the goat project to build up a strong database by collecting information on goats in the Centre region.

At each division, 26 to 27 farmers were selected so as to survey a total of 160 farmers (comprised of 100 goat raisers and 60 non-goat raisers) throughout the whole study area. The selected goat raisers were farmers practising the goat raising as main activity during the previous three years (since the launch of the goat project in 2013) and owning a herd size of at least five goats. The selected non-goat raisers were farmers with at least one year of farming experience in cropping or other livestock activities apart from goat raising.

Using a structured questionnaire and interview-schedule, cross-sectional primary data of the calendar year 2016 were collected from the selected farmers. Based on the literature review of the constraining factors to goat raising activity (10, 11, 12, 13), the data collected from each farmer were the farmer's group (whether he is a goat raiser or not), age, gender, marital status, education, farming experience, farm size, household size, previous practice of livestock activities, frequency of contact with extension agents, membership into a common initiative group, access to credit for financing activities, farm income, etc.

### Data analysis

In order to analyze the factors influencing the adoption of goat raising activity by farmers in this study, the weaknesses of the linear probability model do not allow the usage of an Ordinary Least Squares (OLS) technique (5, 16). Following Gujarati (5) and Wooldridge (16), the logit or probit model could be more convenient to this study because the dependent variable (adoption of goat raising activity by farmers) is qualitative in nature, the explanatory variables are a mix of continuous and qualitative variables, and the sample size is low (N=160).

The choice between logit and probit model is ultimately one of mathematical convenience, ready availability of computer programs and computational tractability. On this score, the logit model is generally used in preference to the probit model. By using the SPSS software program, the probit procedure is a bit laborious because it cannot compute the probabilities' predicted values whereas the logit model offers the possibility to save the predicted values automatically. For the above reasons, the logit model has been used in this study (14, 16).

The logit model uses the Maximum Likelihood Estimation (MLE) method in order to predict the logit of the probability of the occurrence of the event, that is, the natural log of the odds ratio of reaching one or the other alternative (adoption or non-adoption of goat raising activity by farmers). By denoting  $P$  as the probability of reaching an alternative from the predictors<sup>1</sup>  $X_1$  to  $X_{12}$ , the mathematical formulation of the binary logit model (5, 16) used in this study is expressed in Equation 1:

$$Y = \text{Logit}(P) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_{12} X_{12} \quad (1)$$

Where:  $P$ : Probability that farmer raises goat;  $1-P$ : Probability that farmer does not raise goat;  $Y$ : Farmer's group (with 1=goat raiser, 0=non-goat raiser);  $X_1$ : Age of farmer (in years);  $X_2$ : Gender of farmer (with 1=male, 0=female);  $X_3$ : Marital status (with 1=married, 0=single/divorced);  $X_4$ : Education (with 1=university/secondary/primary, 0=none);  $X_5$ : Farming experience (years);  $X_6$ : Farm size (ha);  $X_7$ : Household size (number of persons);  $X_8$ : Practice of other livestock activities (with 1=yes, 0=no);  $X_9$ : Frequency of contact with extension agents (number of times per year);  $X_{10}$ : Membership into a common initiative group (with 1=yes, 0=no);  $X_{11}$ : Access to credit for financing activities (with 1=yes, 0=no);  $X_{12}$ : Farm income (with 1=income>200,000 FCFA/year, 0=income≤200,000 FCFA/year).

In the logit model (Equation 1), the notations  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{12}$  (generally termed as  $\beta_k$ ) denote the slope coefficients of the explanatory variables  $X_1, X_2, \dots, X_{12}$  (generally termed as  $X_k$ ) and  $\alpha$  is the intercept term (constant). The model parameters (slope coefficients, intercept term) and descriptive statistics of explanatory variables were estimated by using the SPSS software program (version 21.0). The exponential  $\text{Exp}(B)$  of the slope coefficient  $\beta_k$  associated to the explanatory variable  $X_k$  is interpreted as the Odds Ratio (OR) of the occurrence of the event<sup>2</sup> (raising goat) for each increase in the predictor. A positive  $\beta_k$  coefficient generally displays an OR greater than one ( $\text{OR}>1$ ) whereas a negative  $\beta_k$  coefficient usually indicates an OR lower than one ( $\text{OR}<1$ ) (5, 14, 16).

## Results and discussion

### Field survey findings

The descriptive socio-economic variables affecting the adoption of goat raising activity by farmers in the Centre region (Cameroon) are presented in Table 1. The majority of surveyed farmers are goat raisers and belong to the age group ranging between 40 to 49 years (Table 1). Hence, most respondents are essentially made of farmers in the active age group, which is a great advantage as active labour hand is needed to tie, graze, hunt, chase away, displace or carry out goats from one place to another, depending on the necessity. According to Elzaki *et al.* (3), the goat raisers at that age have a good marketing experience, which they can use to maximize their farm returns (3).

Table 1 results also show that, two-thirds of respondents are male. According to Tchotsoua and Gonne (13), men are more active in livestock activities because they are physically strong enough thus are more powerful to take care/carry animals or to manage their mobility (13).

<sup>1</sup>Explanatory variables =Predictors in logit model=Factors affecting the adoption of goat raising activity by farmers.

<sup>2</sup>Odds=Number of cases an event occurs, divided by the number of cases in which that event does not occur. Hence, the odds in this paper are interpreted as the chance of adopting the goat raising activity by any farmer.



**Table 1**  
Socio-demographic characteristics of selected farmers in the study area (N=160).

Factor/Variable	Category of response	Frequency	Proportion (%)
Group	Goat raiser	100	62.50
	Non-goat raiser	60	37.50
Age	< 29 years	8	5
	[30-39[ years	59	36.88
	[40-49[ years	66	41.25
	≥50 years	27	16.87
Gender	Male	109	68.12
	Female	51	31.88
Marital status	Married	135	84.37
	Single/Divorced	25	15.63
Education	University	48	30
	Secondary/Primary	108	67.5
	None/illiterate	4	2.5
Farming experience	>10 years	18	11.25
	]3-10] years	137	85.63
	≤3 years	5	3.12
Farm size	>1 ha	36	22.5
	≤1 ha	124	77.5
Household size	> 5 persons	140	87.5
	≤5 persons	20	12.5
Practice of other livestock activities	Yes	40	25
	No	120	75
Frequency of contact with extension agents	>6 per year	103	64.38
	≤6 per year	57	35.62
Membership into a common initiative group	Yes	51	31.88
	No	109	68.12
Access to credit for financing activities	Yes	13	8.12
	No	147	91.88
Farm income	>200,000 FCFA/year	44	27.5
	≤200,000 FCFA/year	116	72.5

The high proportion of male with respect to female respondents could therefore be an advantage for the goat raising activity.

More than three-quarters of respondents are married (mostly with at least two wives) (Table 1). This is not surprising as regards to the age of most surveyed people which was earlier indicated as ranging between 40 to 49 years. In general, farmers of the Centre region use to get married before the age of 40 years so as to quickly have several partners/children which provide supplementary labour force for their farming or livestock enterprises (7). The non-married people beyond this age group are either divorced or widowed people. This latter group represents less than one-fifth of the respondents (Table 1).

One-third of the respondents have reached the university level, two-thirds of them have studied till the primary or secondary school level, and only few of them have never enrolled to any school (Table 1). Hence, most surveyed farmers are literate people, as testified by the 81% literacy rate in the country (4). The educational level might influence the farmers' decision because those who studied livestock/animal husbandry at school could easily weigh the advantages and disadvantages of goat raising before deciding to adopt this activity (8).

More than three-quarters of the selected farmers have a farming experience between 3 to 10 years (Table 1). This group of respondents have chosen the farming profession in order to benefit from the proximity of their locality to the capital city (Yaoundé), where their farm products are easily transported and sold. Yaoundé counts 1.8 million inhabitants, which are consumers of various agricultural commodities or livestock products produced in its vicinity (7). Hence, being a goat raiser could be a rewarding profession in this locality.

Three-quarters of respondents own land of less than 1 ha (Table 1), which is below the average size of 1.8 ha of agricultural exploitations in Cameroon (6, 7). Land is a scarce resource in the Centre region, which welcomes every year high number of migrants (at a 2.8% annual rate) coming from several parts of the country (10). In order to accommodate the migrated people, parcels of land previously devoted to farming activities are being cleared for building construction. This reduces the land size destined for farming activities in this locality.

More than three-quarters of respondents have a household size of more than 5 persons (Table 1).



This is not a surprising result as the majority of respondents are married in a polygamy union (with at least two wives per man). As mentioned earlier, polygamy is advantageous to farmers because it enables them to have enough partners/children in order to supplement the labour force necessary in their farming or livestock enterprises (12).

Only one-quarter of respondents have previously practised other livestock activities (Table 1). As the Centre region is not among the traditionally preferred zones for breeding animals in Cameroon, those farmers engaged in the goat raising activity would rather prefer to settle in the Adamawa or Northern regions of the country where they are sure to earn high returns by investing in such a business (13).

About two-thirds of respondents have been approached more than six times per year by the extension agents from the Ministries of Agriculture or Livestock (Table 1). That is a high frequency as compared to other regions of the country where extension agents meet farmers one to two times per year (10). Since the majority of extension agents reside in Yaoundé, which is a neighbouring city to most farms of the Centre region, it creates a proximity which facilitates the contact between farmers and the popularizing team.

More than two-thirds of surveyed farmers are not members of any common initiative group (Table 1). However, being member of such a group could raise the awareness of farmers or popularize the goat project (2). Furthermore, the integration into a peasant association would help the goat raisers to address the group-problem solving on issues like the transportation of goats to the market, food or vaccine to purchase from wholesalers, construction of common protected area for grazing goats, advertisement of market information, etc (8).

A negligible proportion of respondents have access to credit for financing their activities (Table 1). This could be justified by the country's economic situation which still suffers from the consequences of the economic crisis of the early 1990s. That crisis led to the closure of agricultural bank institutions which granted subsidized credits to farmers (6, 7). However, the credit could easily help any breeder to compensate the investment cost spent for its goat raising activity and quickly improve the farm returns (1). Hence, it would be important for the government to revamp the agricultural finance sector including the creation of agricultural banks which could offer subsidized credit to farmers with a viable project such as goat raising activity.

About three-quarters of respondents earn a farm income of less than 200,000 FCFA per year (Table 1). This result is in line with FAO (4) according to which more than 40% of Cameroonian farmers live below the poverty line (spending less than 1US\$ per day).

The use of archaic technology for crops' cultivation/breeding animals or the lack of credit access by farmers could explain this situation. However, the use of modern technologies or credit facilities could boost the productivity thereby increasing the farm returns or income (15).

### Results and discussion from the estimated logit model

Table 2 presents the logit model results from analyzing the socio-economic factors influencing the adoption of goat raising activity by farmers in the Centre region of Cameroon. Most coefficients of the explanatory variables show the expected signs. The estimated coefficients ( $\beta_k$ ) and odds ratio [OR or  $Exp(B)$ ] are separately interpreted for each explanatory variable  $X_1$  to  $X_{12}$  (Table 2).

#### Age of farmer ( $X_1$ )

The coefficient for the age of farmer is significant at 10% level and its negative sign indicates that, the old farmers are less likely to adopt the goat raising activity as compared to young category of farmers. The OR of this variable is 0.981 (lower than one) which implies that, for each additional year in the age of the farmer, the odds of adopting the goat raising activity decreases by  $1-0.981=1.9\%$  (Table 2). In the Centre region, the majority of young farmers are educated people (who have attended at least the primary level of education) so that they could easily understand the benefits or advantages from investing in livestock activities. This is in contrast with old farmers who are mainly illiterate people with a little knowledge in the livestock or goat raising activities. Besides, the aged people are physically weak whereas the young farmers are strong enough thus are more powerful to carry or manage the mobility of animals (8). The old farmers sometimes get sick after transporting goats from one place to another (probably because of the difficulty to follow up the mobility of these animals) whereas young people are most of the time healthy to take care of animals. By tradition in the Centre region, the old farmers rather prefer to undertake less difficult farming activities such as cultivating the cash or food crops (6). As old people are more vulnerable to diseases, an offer of health insurance (currently inexistent) subsidized by government authorities could encourage them to invest in the goat raising activity.

#### Gender of farmer ( $X_2$ )

This variable has a positive coefficient (significant at 1% level) which implies that, male farmers are more likely to adopt the goat raising activity as compared to female farmers. For this variable, the model suggests an OR of 1.037 (greater than one) which indicates that, a change in the gender of farmer (from female to male) increases the odds of adopting the goat raising activity by a factor of 1.037 (Table 2).

**Table 2**  
Logit estimate of socio-economic factors affecting the adoption of goat raising activity by farmers (N=160).

<i>Explanatory variables</i>	$\beta$	<i>Sig.</i>	Exp( $\beta$ ) [OR]
Age (years)	-0.019*	0.073	0.981
Gender (1/0)	0.036***	0.006	1.037
Marital status (1/0)	0.106	0.236	1.112
Education (1/0)	0.072	0.548	1.075
Farming experience (years)	-0.0198*	0.069	0.980
Farm size (ha)	0.019	0.143	1.019
Household size (number)	0.175	0.291	1.191
Practice of other livestock activities (1/0)	-0.009*	0.075	0.991
Frequency contact with extension agents (number)	0.019**	0.046	1.019
Membership into a common initiative group (1/0)	0.044	0.731	1.045
Access to credit for financing activities (1/0)	0.071***	0.007	1.074
Farm income (FCFA/year)	0.006***	0.009	1.006
Constant (intercept term)	-16.955	0.368	0.000

TOTAL Nagelkerke R<sup>2</sup>=0.717; -2 Log likelihood=33.051; Percentage of correct prediction= 91.30 % Omnibus test of model coefficients: X<sup>2</sup>=61.898\*\*\*; Hosmer and Lemeshow test: X<sup>2</sup>=8.823

\*\*\*: Significant at 1%

\*\*: Significant at 5%

\*: Significant at 10%

According to Bala *et al.* (2), men are physically strong enough thus are more powerful to carry or manage the mobility of goats. They are capable to tie, graze, hunt, chase away, displace or carry out goats, whenever it is necessary. Traditionally in the Centre region, animals of big weight/height (e.g. goat, cattle, sheep, pig, etc) are mostly raised by men probably because they are more capable to manage the mobility of these animals (6). Furthermore, raising these kinds of animals provide high returns needed by men to secure urgent family needs such as the children's school fees, health, marriage, funerals, building construction, *etc.* In contrast, women are more engaged in raising small/light/weak animals (e.g. poultry, duck, bird, rabbit, *etc*) which are easy to carry/manage in spite of their mobility. According to Tchotsoua and Gonne (13), small/light/weak animals are more convenient for women to raise because these kinds of animals require less labour and provide the minimum returns sufficient for this gender to secure the supplementary family needs (e.g. food, clothes, pocket money, *etc*) (13).

### Marital status (X<sub>3</sub>)

The marital status displays an insignificant coefficient implying that, this factor does not affect the adoption of goat raising activity by farmers. With a positive coefficient, the model however suggests an OR of 1.112 (greater than one) which could testify that married farmers are 1.112 times more likely to adopt the goat raising activity as compared to single/divorced farmers (Table 2). As mentioned earlier, farmers of the Centre region usually prefer to get married with at least two wives so as to have large number of partners/children who could help them in their farming or livestock activities (12).

### Education (X<sub>4</sub>)

The insignificant education coefficient indicates that, this factor does not affect the goat raising activity by farmers. Its positive sign implies a greater than one OR (1.075) testifying that, farmers with education are 1.075 times more likely to adopt the goat raising activity as compared to illiterate farmers (Table 2). Those farmers who studied livestock or goat raising at school could better weigh the advantages and disadvantages by adopting this activity (15).

### Farming experience (X<sub>5</sub>)

The coefficient for farming experience is significant at 10% level and its negative sign indicates that, respondents with high farming experience are less likely to adopt the goat raising activity as compared to those with a low farming experience. The lower than one OR (0.980) of the variable implies that, for each additional year in a respondent's farming experience, the odds of adopting the goat raising activity decrease by 1-0.980=2.0% (Table 2). This assertion is related to a previous result according to which, old people are less likely to adopt the goat raising activity as compared to young farmers (8). In general, the young people compensate their low farming experience with the education they receive (most of them reach at least the primary school). A previous study by Jaza (6) shows that, the young farmers like adventurous situations such as the discovery of a new livestock activity such as goat raising. The old people with high farming experience are rather reticent to goat raising activity which is unfamiliar to their habits.

As the Centre region is not an important traditional or preferred zone for livestock activity in the country, the experienced breeders rather prefer to carry out this activity in the Adamawa region where it is more rewarding. The old farmers from the Centre region mostly have farming experience in traditional crops grown in this locality (e.g. cocoa, fruits, food crops, vegetables, etc) and none or low experience in livestock activities (15). By fear of taking any risk, the old age farmers prefer to continue the cultivation of their traditional crops rather than the newly implemented goat raising activity (13).

#### **Farm size ( $X_6$ )**

With an insignificant coefficient, the farm size does not influence the goat raising activity. The computed OR however implies that, farmers with large farm size are 1.019 times more likely to adopt the goat raising activity as compared to those farmers with small farm size (Table 2). Contrary to the cropping activity, goat raising is not undertaken directly in a parcel of land (although the goats need to be grazed from time to time in grassland). In the Centre region, the majority of farmers graze their goats in the community land managed by the municipalities (10). Hence in most cases, the goat raisers do not own the land used to graze their goats. The insignificant farm size coefficient could be justified on this premise.

#### **Household size ( $X_7$ )**

The household size does not significantly influence the goat raising activity. Its computed OR however implies that, farmers with large household size are 1.191 times more likely to adopt the goat raising activity as compared to those farmers with small household size (Table 2). As mentioned before, the goat raising activity needs strong people to manage the mobility of animals during their transport from one place to another. This is in contrast with the cropping activity where large number rather than strong people are needed to compensate the labour shortage (11).

#### **Practice of other livestock activities ( $X_8$ )**

This variable has a negative coefficient (significant at 10% level) which implies that, farmers who undertake other livestock activities are less likely to adopt the goat raising activity as compared to those with cropping as sole activity. The lower than one OR (0.991) for this variable indicates that, the engagement of a farmer in other livestock enterprises decreases the odds of this farmer to adopt the goat raising activity by  $1-0.991=0.9\%$  (Table 2). The field survey results (Table 1) already reveal that a negligible proportion of farmers in the Centre region have access to credit for financing their activities. This situation was justified by the economic crisis of the early 1990s which led to the closure of agricultural bank institutions which granted subsidized credits to farmers. Currently, farmers hardly succeed from borrowing money to invest because they lack sufficient guaranties or collaterals.

Hence, it would be difficult for any farmer to get enough funds to undertake multiple livestock activities (1). However as testified by the field survey results (Table 1), a few farmers practised other livestock activities even before the beginning of the goat project in order to acquire supplementary animal manure needed to fertilize their crops (8). Hence, by fear of risk and uncertainty, it would be difficult for such group of farmers to abandon their initial livestock activity into a new one (e.g. goat raising) which they do not master well. The likelihood for this group of farmers to shift into the goat raising activity is then low.

#### **Frequency of contact with extension agents ( $X_9$ )**

This variable is significant at 5% level and its positive sign indicates that, farmers with high frequency of contact with extension agents are more likely to adopt the goat raising activity as compared to those farmers who do not regularly meet the extension agents. The variable's OR of 1.019 implies that, for each additional contact of a farmer with an extension agent, the odds that this farmer would adopt the goat raising activity increases by  $1.019-1=1.9\%$  (Table 2). This could be due to the advertisement that the extension agent is expected to make in order to convince farmers to invest their money in goat raising at the detriment of other farming activities. For instance, raising goats could provide the animal manure necessary to fertilize the cropping activities of the same farm. According to Kay *et al.* (9), the crop-livestock integration is beneficial in terms of inputs used by the farm. Hence, it is assumed that those farmers who learn these advantages by approaching the extension agents would be encouraged to adopt the goat raising activity.

#### **Farmer's membership into a common initiative group ( $X_{10}$ )**

Although this variable is insignificant, its positive sign however indicates that farmers who belong to a common initiative group are more likely to adopt the goat raising activity than those farmers without adherence to any group. In other terms, the odds of farmers who are members in a common initiative group is  $1.045-1=4.5\%$  higher than the odds of those who are non-adherents to any group (Table 2). The integration of farmers into a common initiative group would help them to meet their colleagues (so as to share together the advices for the goat raising activity), to address the transportation issue and group problem-solving in goat management (6).

#### **Access to credit for financing activities ( $X_{11}$ )**

This variable has a positive significant coefficient (at 1% level) which indicates that, farmers with access to credit facilities are more likely to adopt the goat raising activity than those who depend on their own funds.



For this variable, the model suggests an *OR* of 1.074 (greater than one) which indicates that, a credit granted to a farmer increases the odds of adopting the goat raising activity by  $1.074-1=7.4\%$  (Table 2). Since the goat raising activity requires little investment in management technologies that would secure goats' survival in dry seasons, the use of credit would quickly boost this business in comparison to other livestock or farming activities (9, 11).

### Farm income ( $X_{12}$ )

This variable has a positive coefficient (significant at 1% level) which implies that, farmers with high income ( $>200,000\text{FCFA/year}$ ) are more likely to adopt the goat raising activity as compared to those with low income ( $\leq 200,000\text{FCFA/year}$ ). The greater than one *OR* (1.006) for this variable indicates that, as the farmer's income changes from low to high, then the odds that this farmer would adopt the goat raising activity increases by a factor of 1.006 (Table 2). It is assumed that those farmers with high income could use their supplementary returns to invest in the goat raising enterprise. Farmers with low income however have limited capital and would lack supplementary means to engage themselves in the goat raising activity (8).

All in all, Table 2 results reveal that the adoption of goat raising activity is significantly influenced by the farmer's age, gender, farming experience, practice of other livestock activities, frequency of contact with extension agents, access to credit for financing activities and farm income. However, the logit model displays insignificant coefficients for factors such as the marital status, education, farm size, household size and membership into a common initiative group. In general we could validate these model results (5, 16), as testified by the high Nagelkerke  $R^2$  (0.717) and overall goodness-of-fit measured by the significance of the Chi-Square statistic in the Omnibus test of model coefficients is high ( $\chi^2=61.898$ ,  $p<0.01$ ). The percentage of model's correct prediction is also good (91.3%). The Hosmer and Lemeshow test shows that the model adequately fits the data (the test was not significant at 5% level with  $p=0.357$ , thus, the null hypothesis could not be rejected) (Table 2).

### Conclusion

The goat project was implemented since the year 2013 in the non-pastoral Centre region of Cameroon in order to exploit the genetic characteristics of goats, improve goat productivity and generate high revenue to actors engaged in this activity. The project timidly attracted farmers in the activity. The socio-economic factors affecting the engagement of farmers in this activity have been analysed in this paper.

The selected farmers for the study were made up of a majority of goat raisers, male persons, aged between 40 to 49 years, married, with secondary/primary education, between 3 to 10 years of farming experience, with a farm size of less than one hectare, with the non-practice of other livestock activities, with more than six yearly contacts with extension agents, non-member of a common initiative group, without access to credit facilities and with low farm income. The logit model results suggest that there are a number of factors which significantly favour the goat raising activity by farmers in the Centre region. These are the farmer's age, gender, farming experience, practice of other livestock activities, frequency of contact with extension agents, access to credit for financing activities and the farm income. However, the adoption of goat raising activity does not depend on the farmer's marital status, education, farm size, household size and membership into a common initiative group. These are factors with insignificant coefficients in the logit model. Hence, the policy makers should give much attention to the significant factors if the goat raising activity is to be popularized in this region. This could enable the non-pastoral Centre region to become a pastoral zone for farmers to invest in livestock or goat raising activities in future.

### Aknowledgements

The authors are grateful to the goat raisers of the Centre Region (Cameroon) for their kindness during the data collection.



## Literature

1. Atieno R., 2007, Determinants of credit demands by smallholder farmers in Kenya: an empirical analysis, *Tropenlandwirt.*, **98**, 7, 11, 63-71.
2. Bala D.R., Bonar M.S., Kusnadi N. & Mohamad H.S., 2014, The impact of credit and capital supports on economic behaviour of farm households: a household economic approach, *Food Agric. J.*, **2**, 3, 81-91.
3. Elzaki R.M., Faki H.H. & Elobied H.A., 2007, Optimal crop combination and livestock integration in the irrigated agricultural sector in Sudan. In: Doppler W. & Bauer S. (eds.). *Farming and Rural Systems Economics. Issues and Challenges in Rural Development: Compendium on the Occasion of the 15<sup>th</sup> Years of Ph.D. Program Agric. Econ. Relat. Sci. Stud. Dev. Countries*, **86**, 1, 71-85.
4. FAO, 2015, *Balanced feeding for improving livestock productivity: increase in milk production and nutrient use efficiency and decrease in methane emission. FAO Animal Production and Health*, Paper N° 173. Rome, Italy.
5. Gujarati D.N., 1995, *Basic econometrics (third edition)*. McGraw-Hill: New York, USA.
6. Jaza F.A.J., 2014, Application of Coase theorem to analyze the welfare gain and loss in a conflict of herders' damage in croppers' land at the Adamawa region of Cameroon, *Quat. J. Int. Agric.*, **53**, 1, 1-24.
7. Jaza F.A.J., 2015, The determinants for the adoption of compost from household waste for crop production by farmers living nearby Yaoundé, Cameroon: descriptive and logit model approaches of analysis, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **9**, 1, 308-328.
8. Jera R. & Ajayi O.C., 2008, Logistic modeling of smallholder livestock farmers' adoption of tree based fodder technology in Zimbabwe, *Agrekon.*, **47**, 3, 379-392.
9. Kay R.D., Edwards W.M. & Duffy P.A., 2007, *Farm management (Sixth Edition)*. Mc Graw Hill, New York, USA.
10. Ministry of Livestock (Ministry of Livestock, Fishery and Animal Husbandry), 2015, *Annals of statistics of the livestock sector in Cameroon*, campaign 2014/2015. Direction of Livestock, Yaoundé, Cameroun.
11. Rooyen V. & Homann S. (Eds.), 2008, *Enhancing incomes and livelihoods through improved farmers' practices on goat production and marketing*. Proceedings of a workshop organized by the Goat Forum, 2-3 October 2007, Bulawayo, Zimbabwe.
12. Tambi E.N., 2014, Smallholder livestock production: Constraints on the adoption of improved technologies, *World Rev. Anim. Prod.*, **15**, 3, 51-67.
13. Tchotsoua M. & Gonne B., 2009, *Des crises socio-économiques aux crises environnementales sur les Hautes Terres de l'Adamaoua, Cameroun*. In: Seiny-Boukar L.P. and Boumard P. (éditeurs scientifiques), 2010. *Actes du colloque «Savanes africaines en développement: innover pour durer»*, 20-23 avril 2009, Garoua, Cameroun. Prasac, N'Djaména, Tchad; CIRAD, Montpellier, France, cédérom.
14. Terrell G.R., 1999, *Mathematical statistics: a unified introduction*. Springer-Verlag: New York, USA.
15. Tsafack P.P., 2016, *A socio-economic assessment of goat raising and distribution in the Centre Region of Cameroon*. Master Thesis in Agribusiness Management. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agronomy and Agricultural Sciences, University of Dschang, Cameroon. 85pp.
16. Wooldridge J.M., 2009, *Introductory econometrics: a modern approach*. McGraw-Hill: New York, USA.

---

F.A.J. Jaza, Cameroonian, PhD, Associate Professor, University of Dschang, Department of Agricultural Economics, Dschang, Cameroon.

P.P. Tsafack, Cameroonian, MSc Student, University of Dschang, Department of Agricultural Economics, Dschang, Cameroon..

F. Kamajou, Cameroonian, PhD, Emeritus Professor, University of Dschang, Department of Agricultural Economics, Dschang, Cameroon.

## Fixation de l'azote chez l'arachide et le niébé en conditions de sécheresse pour l'amélioration de la productivité au Sahel

F. Hamidou<sup>1,2\*</sup>, A. Harou<sup>2</sup>, B.F. Achirou<sup>1</sup>, O. Halilou<sup>1</sup> & Y. Bakasso<sup>2</sup>

**Keywords:** Drought- Nitrogen fixation- Fertilization- Rotation- Niger

### Résumé

*L'identification des variétés d'arachide et de niébé tolérantes à la sécheresse et bonnes fixatrices d'azote augmenterait leurs productions et celle des céréales associées ou en rotation. Des variétés d'arachide et de niébé ont été évaluées, au champ et en pots, en conditions de sécheresse et sous 4 traitements fertilisants. Pour le niébé, les conditions de sécheresse ont réduit la plupart des paramètres étudiés, dont notamment le nombre de nodules (40%) et le poids des gousses (30%). A contrario, des conditions de stress hydrique se sont traduites par une augmentation de la biomasse sèche des racines (10%). L'apport en azote et/ou en phosphore a augmenté le poids des gousses jusqu'à 81%. Les variétés IT93-503-1, IT93-693-2, UC-CB46 et Mouride se sont révélées bonnes fixatrices de l'azote et tolérantes aux conditions de sécheresse. Le nombre de nodules, la biomasse des gousses et la biomasse des racines ont été réduits pour l'arachide respectivement de 12, 20 et 27% en conditions de sécheresse. Les variétés ICGV-00350, ICGV-86015, ICGV-97183 et ICGVSM-87003 ont montré les meilleurs poids en gousses et le nombre de nodules les plus élevés. Les variétés d'arachide 55-437, Fleur11, ICGV-00350, ICGV-86015, ICGV-97183 et ICGVSM-87003 ont enrichi le sol et ont augmenté la biomasse (20%) de la variété du mil SOSAT-C88 cultivée en rotation.*

### Summary

#### Nitrogen Fixation by Groundnut and Cowpea for Productivity Improvement in Drought Conditions in the Sahel

*Selection of drought tolerant and high nitrogen fixing varieties of groundnut and cowpea could improve their productivity and that of the cereals grown in association or rotation. Groundnut and cowpea varieties were assessed in field and in pots for response to drought using 4 fertilizer treatments. For cowpea, drought conditions decreased most of studied parameters, especially nodule number (40%) and pod weight (30%); while the root dry matter increased up to 10%. Nitrogen and/or Phosphorus fertilization increased pod weight up to 81%. Varieties IT93-503-1, IT93-693-2, UC-CB46 and Mouride were tolerant to drought conditions and very good nitrogen fixers. Nodule number, pod weight and root dry matter of groundnut decreased up to 12, 20 and 27% respectively due to drought conditions. Varieties ICGV-00350, ICGV-86015, ICGV-97183 and ICGVSM-87003 had the highest pod weight and the highest nodule number under drought conditions. Groundnut varieties ICGV-00350, ICGV-86015, ICGV-97183 and ICGVSM-87003 improved soil fertility and increased biomass (20%) of Pearl millet (SOSAT C88 variety) grown with them in rotation.*

<sup>1</sup>Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales et Semi-Arides, Centre Sahélien, Niamey, Niger.

<sup>2</sup>Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Niamey, Niger.

\*Auteur correspondant: Email: f.hamidou@cgiar.org

Reçu le 09.01.17 et accepté pour publication le 16.08.17

## Introduction

La sécheresse et l'infertilité du sol constituent les principaux facteurs limitants de la production de l'arachide et du niébé, deux principales légumineuses cultivées au Sahel. Ces légumineuses sont les principales, souvent les seules sources de protéines et d'acides gras consommées par les paysans sahéliens pour combattre la faim et la malnutrition. Les légumineuses sont aussi connues pour leurs aptitudes à fixer l'azote atmosphérique ( $N_2$ ) de l'air grâce à une association symbiotique avec des bactéries (*Rhizobium* sp.). Ces cultures non seulement elles n'appauvrissent pas le sol en azote mais elles l'enrichissent au profit des céréales souvent cultivées en association ou en rotation. Les rendements des céréales en rotation avec une culture des légumineuses augmentent de 30 à 350% (21). Le rendement du maïs cultivé en rotation avec le niébé a augmenté de 57% et de 53% quand la culture du maïs succède celle de l'arachide (1, 4, 11). L'arachide peut fixer  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de  $N_2$  pendant que le niébé peut fixer  $210 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de  $N_2$  (5). De ces quantités de  $N_2$  fixées, l'arachide et le niébé enrichissent le sol respectivement de 43 et  $125 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (5). Malgré l'effet bénéfique et le rôle important de ces légumineuses pour une production agricole élevée et durable, peu d'investigation ont été menées au Sahel pour amplement exploiter leurs fixations symbiotiques de l'azote (18). Par ailleurs, la sécheresse, même modérée, affecte significativement la fixation de l'azote (16). Pour améliorer la production de l'arachide et du niébé au Sahel, il est impératif de disposer des variétés non seulement tolérantes à la sécheresse mais aussi bonne fixatrice de l'azote même en conditions de déficit hydrique. Ce travail a pour objectif d'investiguer la réponse adaptative de l'arachide et du niébé au déficit hydrique et à la déficience du sol en azote (N) et en phosphore (P) afin de, (i) identifier les variétés tolérantes à ces déficits et meilleures fixatrices de l'azote, (ii) comprendre la réponse chez les deux espèces et identifier les traits de tolérance, (iii) évaluer la fixation de l'azote chez l'arachide et le niébé ainsi que l'effet bénéfique sur le sol pour les céréales en rotation.

## Matériel et méthodes

### Conditions expérimentales et imposition de stress hydrique

Les essais au champ et en pots ont été conduits à la station expérimentale de l'ICRISAT à Sadoré (45 km au Sud de Niamey,  $13^\circ \text{ N}$ ,  $2^\circ \text{ E}$ , Niger). Dix variétés d'arachide et 7 variétés de niébé ont été testées au champ en 2014 alors qu'en pots l'essai a porté sur 7 variétés d'arachide et 6 variétés de niébé conduit pendant la contre saison 2015 (Mars à Mai). Quelques caractéristiques des variétés étudiées sont présentées dans le tableau 1.

Le deuxième essai en pots pour tester l'effet de la rotation a été conduit pendant l'hivernage 2015 (Juillet à Septembre). Une des variétés d'arachide, ICGL-5 est non nodulante et a été utilisée comme témoin pour la fixation de l'azote. Les caractéristiques physico-chimiques du sol utilisé dans les expérimentations au champ et en pots sont entre autres:  $\text{pH-H}_2\text{O}$  (5,28), capacité d'échange cationique ( $1,91 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ ), matière organique (0,22%), azote total ( $204,3 \text{ mg-N} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), phosphore total ( $26,25 \text{ mg-P} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), phosphore assimilable ou P bray1 ( $1,83 \text{ mg-P} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Au champ, un dispositif *alpha lattice* a été utilisé (pour tenir compte de l'hétérogénéité du sol), avec le régime hydrique en facteur principal, la fertilisation en facteur élémentaire et les variétés en facteur sous élémentaire complètement randomisées par niveau de fertilisation et répétées 4 fois. Pour chaque niveau de fertilisation, il y a 5 blocs et 40 parcelles pour l'essai d'arachide et 7 blocs avec 28 parcelles pour l'essai du niébé. Chaque parcelle ( $2 \text{ m}^2$ ) de l'arachide et du niébé comporte 2 lignes de 20 poquets. Pour l'essai en pots (remplis de sol comme décrit ci-dessus), le dispositif a été en blocs complet randomisé. Avant de remplir les pots (15 litres) avec le sol, 1 kg de gravier a été mis à la base pour faciliter le drainage. Les pots ont été arrosés à la capacité au champ et 3 graines par pot ont été semées, une plante par pot a été laissée après démariage. Au champ, avant le semis, l'irrigation a été de 30 mm à l'aide de système d'irrigation "*Linear move*" (*Valmont Irrigation Inc., Valley, Nebraska, États-Unis*). Il y a 4 répétitions pour l'essai au champ et en pots, deux traitements hydriques appliqués dont irrigation normale (*WW*) et sécheresse intermittente (*WS*) imposée en phase 50% floraison correspondant à 22 et 27 jours après semis pour l'arachide et le niébé respectivement. L'application de la sécheresse intermittente ou stress hydrique (*WS*) a consisté à interrompre l'irrigation jusqu'à ce que les plantes montrent un flétrissement de niveau 3 avant d'être arrosées puis l'irrigation est interrompue à nouveau, ce cycle se poursuivant jusqu'à la maturité de gousses. Une échelle de 1 à 5 (niveau 1= faible, niveau 5= sévère) est établie pour apprécier visuellement les symptômes de flétrissement (7). Au champ et en pots, 4 traitements de fertilisation, NP0 (aucun apport d'engrais), N1 (apport d'urée,  $600 \text{ mg N/kg}$ ), P1 (apport de tri-superphosphate ou TSP,  $6 \text{ mg P/kg}$ ) et NP1 (apport de di-ammonium phosphate ou DAP,  $600 \text{ mg N/kg}$  et  $6 \text{ mg P/kg}$ ) ont été appliqués avant le semis. NP0 correspond au traitement témoin sans apport de N ni de P. Après la récolte des plants d'arachides en pots, une variété de mil (SOSAT-C88) a été semée dans tous les pots pour évaluer l'effet de la rotation arachide-mil. L'essai de mil était donc en blocs complet randomisé comme celui de l'arachide. Aussi, pour déterminer l'effet du précédent cultural de l'arachide sur le mil, la variété SOSAT-C88 a été semée dans 4 pots témoins où aucun plant d'arachide était cultivé.

**Tableau 1**  
Caractéristiques des variétés d'arachide et du niébé étudiées.

Variétés	Origine	Cycle végétatif (Jours)	Réponse au déficit hydrique	Rendement (T ha <sup>-1</sup> )
Arachide				
55-437	Sénégal	85-90	tolérant	2
ICG 02290	ICRISAT	85	tolérant	2
ICG 1519	ICRISAT	85	tolérant	2,5
ICGV 00350	ICRISAT	90	tolérant	2,5
ICGV 02271	ICRISAT	90	intermédiaire	2
ICGV 86015	ICRISAT	90	tolérant	2,5
ICGV 91114	ICRISAT	90	tolérant	1,5
ICGVSM 87003	ICRISAT	95	sensible	2
J11	ICRISAT	85	intermédiaire	2,5
IGL 5	ICRISAT	95	sensible	1,5
Niébé				
IT90K-284-2	IITA	70	sensible	3
IT93K-503-1	IITA	80	tolérant	3
IT93K-693-2	IITA	70	tolérant	3
IT96D-610	IITA	75	tolérant	3
Mouride	Sénégal	75	tolérant	3
Suvita 2	Burkina	65	tolérant	3
UC-CB 46	USA	70	sensible	2,5

### Mesures des paramètres agro-morpho-physiologiques

La température et l'humidité relative de l'air ont été relevées durant les essais. La phénologie (levée, floraison, maturité) a été observée. Au champ et en pots, 2 plants par ligne de chaque parcelle ont été prélevés avant et après l'imposition de stress hydrique afin de déterminer le nombre de nodules par plant et la surface foliaire (SF) à l'aide d'un *leaf area meter LI-3100c* (Licor Inc., Lincoln, Nebraska 68504-0425, USA). Trois prélèvements destructifs des plants (1 à 15 jours après semis, 1 à l'imposition de stress et l'autre à la fin de stress hydrique). Après avoir mesuré la surface foliaire, les feuilles ont été séchées à l'étuve à 70 °C pendant 48 heures pour déterminer leurs poids secs (PS). La SF et le PS ont été utilisés pour déterminer la surface foliaire spécifique ou SLA (SLA= SF/PS). Pour l'essai en pots, le dépotage a consisté à rincer le sol délicatement avec de l'eau pour extraire les racines. Au champ, ce sont les plants à l'extrémité des lignes qui ont été délicatement prélevés avec la terre puis soigneusement rincés pour extraire les racines. Le nombre de nodules par plant a été minutieusement compté. C'est le nombre de nodules formés qui est utilisé comme caractères indirect pour estimer la fixation d'azote (8). A l'imposition de WS, le SPAD *chlorophyll meter reading (SCMR)* qui estime la teneur en chlorophylle, le *leaf-area index* (à l'aide de LAI 2000), le nombre de feuilles et des rameaux ont été mesurés.

A la récolte, le nombre de gousses, le rendement gousses, le rendement fanes et l'indice de récolte (IR) ont été déterminées. La biomasse du mil cultivé en pots en rotation avec l'arachide a été mesurée.

### Analyse statistiques

Les données ont été saisies sur le tableur Excel et les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel *GeneStat version 14*. Les analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées, le test de Newman student Keuls au seuil de 5% ont permis de comparer les moyennes et évaluer les effets des traitements et les variations génotypiques.

### Résultats

#### Effet du déficit hydrique (WS) et de la déficience en P et N au champ et/ou en pots

##### Nombre de nodules

##### Chez l'arachide

Dans les expérimentations au champ et en pots, une variation phénotypique significative ( $P < 0,01$ ) a été observée. La variété ICGL-5 n'a formé aucun nodule en conditions de champ et en pots confirmant ainsi son caractère non nodulant (Figure 1). Au champ, le nombre de nodules par plante a varié de 0 (ICGL5) à 86 (ICGV-00350) alors qu'en pots il a varié de 0 (ICGL5) à 325 (ICGV-00350). Dans les deux expérimentations, les variétés ICGV-00350 et ICGV 86015 se révèlent performantes pour la formation de nodules du fait que leurs nombres de nodules sont plus élevés que ceux de la variété 55-437.



La sécheresse (*WS*) a réduit significativement ( $P < 0,001$ ) le nombre de nodules formés (Figure 2). Au champ, la baisse du nombre de nodules due à *WS* est de 12% alors qu'elle est de 20% dans l'expérimentation en pots. La variation phénotypique observée en conditions de *WS* montre que les variétés ICGV 00350, ICGV 86015 et ICGVSM 87003 sont meilleures productrices de nodules au champ alors qu'en pots ce sont 55-437, ICGVSM 87003 et ICGV 97183 qui se révèlent meilleures en formation de nodules.

#### *Chez le niébé*

Les analyses statistiques du nombre de nodules formés révèlent une variation phénotypique significative ( $P < 0,01$ ). Sous traitement NPO au champ, le nombre de nodules par plant a varié de 6 (IT93K-503-1) à 10 (Mouride). En pots, le nombre de nodules varie de 3 (IT90K-284-2) à 25 (UC-CB-46). Les variétés UC-CB46 et Mouride forment beaucoup de nodules au champ comme en pots alors que la variété IT93K-503-1 se révèle performante que dans l'expérimentation en pots.

Le déficit hydrique (*WS*) a significativement ( $P < 0,001$ ) affecté le nombre de nodules formés (Figure 2). La baisse du nombre de nodules due à *WS* est de 40% au champ et 36% dans l'expérimentation en pots. Les variétés qui ont révélé le meilleur nombre de nodules en conditions *WS* au champ et en pots sont IT93K-503-1, Mouride et UC-CB 46.

#### **La surface foliaire, la biomasse racinaire, les poids gousses et poids fanes**

Au champ, la surface foliaire spécifique (*SLA*) en conditions *WS* a significativement diminuée (11%) chez le niébé alors qu'elle ne varie pas significativement (1%) chez l'arachide (Figure 3). En pots, le déficit hydrique n'a significativement pas affecté la surface foliaire.

Dans les 2 expérimentations, on a observé une variation phénotypique chez les 2 espèces. En conditions *WS* au champ, J11 et ICGV 86015 révèlent les meilleures *SLA* alors que ICGV 02271 présente la plus faible *SLA*. Chez le niébé Suivita2 et Mouride ont les *SLA* les plus élevées en *WS* et IT93-503-1 a la plus faible *SLA* au champ.

La biomasse des racines du niébé en pots a augmenté de 10% en moyenne en conditions de *WS*. Cette augmentation a été de 40 et 21% respectivement chez les variétés IT93K-503-1 et IT93K-693-2. Par contre, chez l'arachide *WS* a réduit la biomasse des racines de 27%. Avec une réduction de biomasse des racines de 46%, la variété ICGL-5 se révèle la plus sensible au *WS* alors que 55-437, ICGVSM-87003 et ICGV-00350 se révèlent tolérantes.

Le stress hydrique imposé en phase floraison (*WS*) a réduit significativement ( $P < 0,001$ ) les poids gousses et fanes chez l'arachide et le niébé. La baisse est de 30% et 31% respectivement chez l'arachide et le niébé.

La variation phénotypique significative observée révèle que chez les variétés Mougne et Mouride, la baisse est très faible (2%) pendant qu'elle atteint 51 et 76% chez IT90K-284-2 et IT93K-593-1 respectivement. Chez l'arachide, ICGL5 a produit moins de gousses en conditions *WW* et *WS*. Cette variété non nodulante a produit 70% et 84% moins de gousses que les autres variétés respectivement en conditions *WW* et *WS*. Le poids gousses a été moins affecté par *WS* chez les variétés 55-437, ICGV-97183 et ICGVSM-87003. *WS* a réduit la biomasse des fanes de 13% chez le niébé et de 35% chez l'arachide. La variation phénotypique indique que les variétés UC-CB46, Mougne et IT90K-693-2 chez le niébé puis 55-437, ICGV-97183 et ICG-1519 chez l'arachide sont les moins affectées par le stress hydrique. La variété ICGL-5 montre aussi la plus petite biomasse de fanes en *WW* et en *WS*. Elle produit 50% et 36% moins de fanes que les autres variétés.

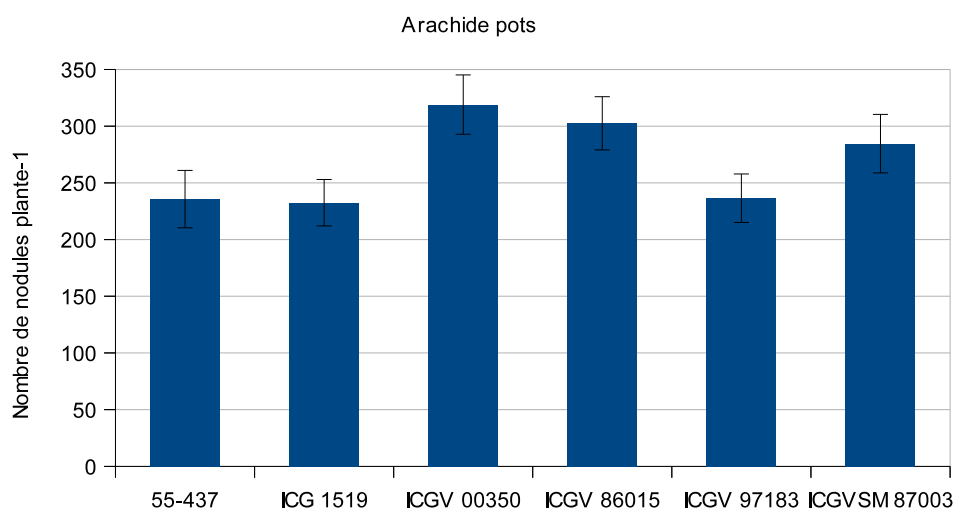
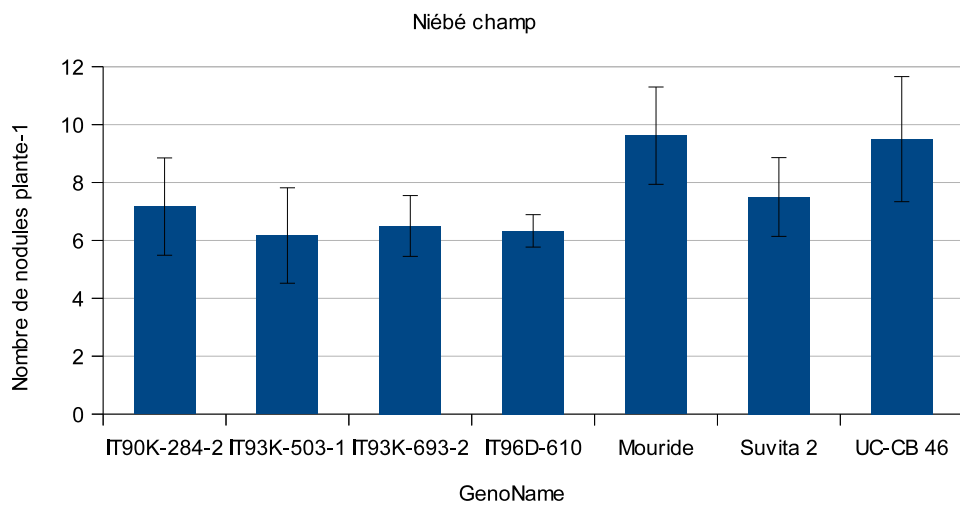
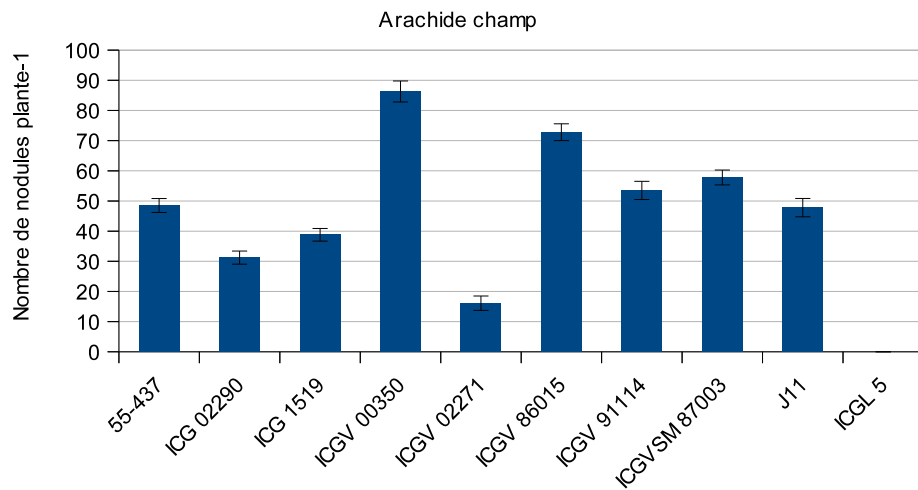
#### **Effet de fertilisation minérale chez l'arachide et le niébé**

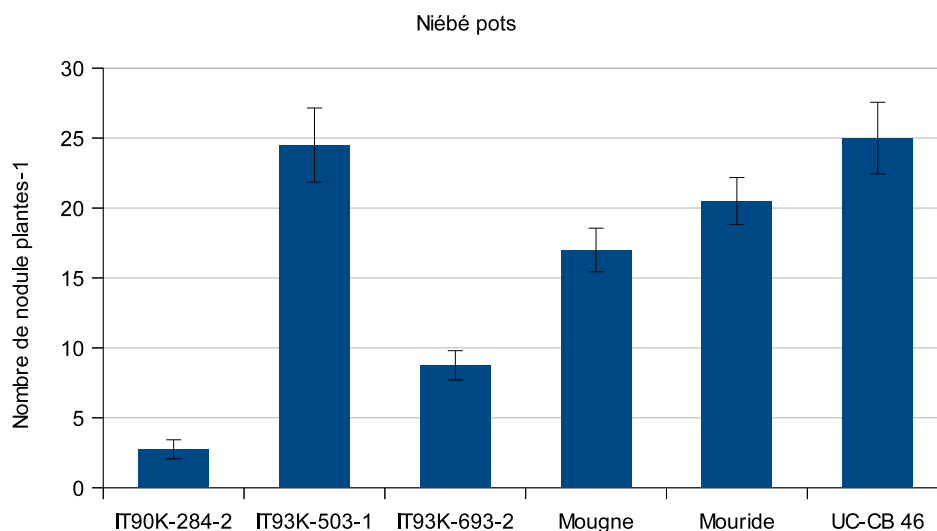
L'amendement du sol par l'urée, le DAP et le TSP a augmenté le poids gousses de 14, 76 et 81% respectivement et le poids fanes de 14, 68 et 70% chez l'arachide.

Cette augmentation est respectivement de 6, 12 et 40% pour les gousses et 1, 3 et 36% pour le poids fanes chez le niébé (Figure 4). Chez l'arachide, une forte corrélation a été observée entre le nombre de nodules et le poids gousses ( $r^2 = 0,91$ ) et entre le nombre de nodules et le poids fanes ( $r^2 = 0,88$ ). Chez le niébé, la corrélation est faible,  $r^2 = 0,11$  et  $r^2 = 0,14$  respectivement pour le poids gousses et le poids fanes (Figure 5). L'amendement en phosphore (TSP et DAP) a plus augmenté la production de gousses que celle de fanes chez l'arachide alors que chez le niébé, l'effet sur les gousses est similaire à l'effet sur les fanes (Figure 6). Sous fertilisation en DAP et TSP, la variété ICGV-00350 produit plus de gousses et de fanes que la 55-437 chez l'arachide alors que chez le niébé, ITK93-693-2 et IT93K-503-1 sont meilleures que Mouride pour la production en gousses.

#### **Effet résiduel de la rotation légumineuse-céréales**

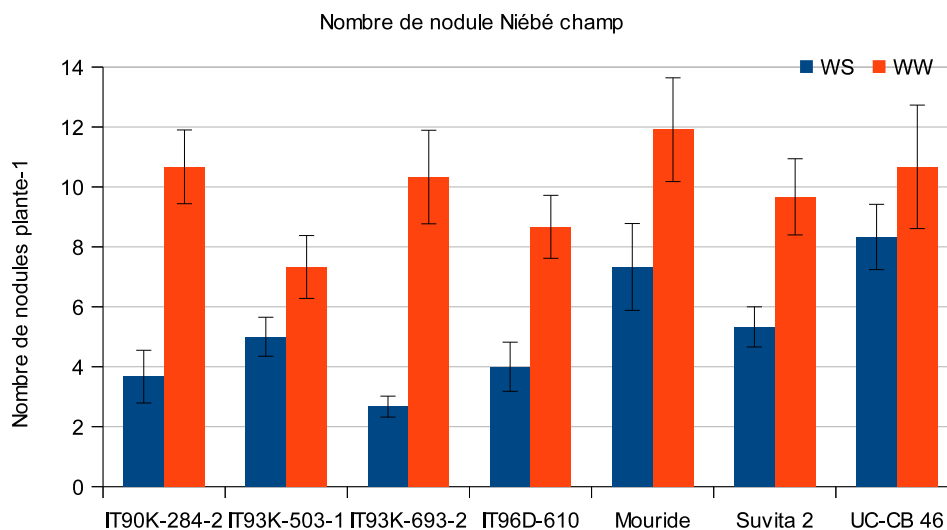
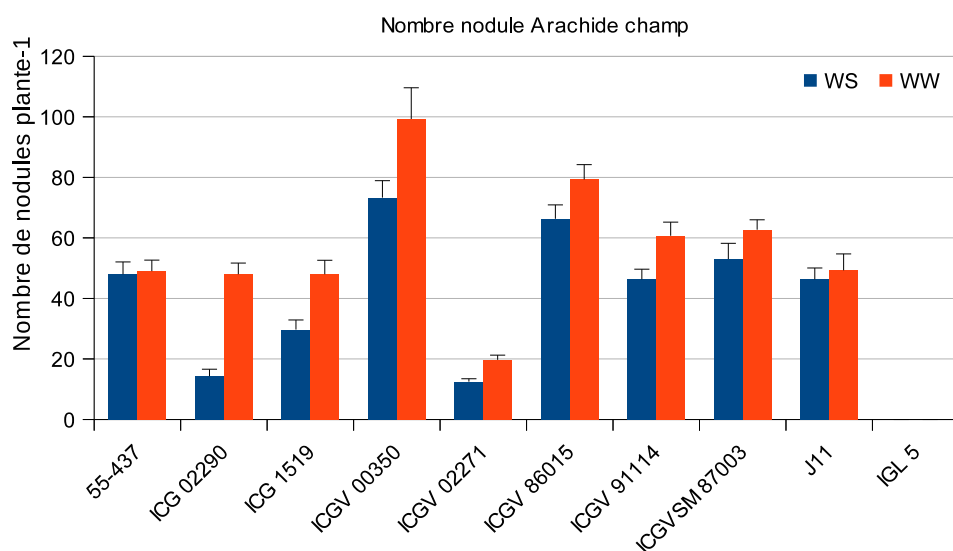
L'analyse de la biomasse aérienne sèche du mil (variété SOSAT-C88) cultivé en rotation avec l'arachide montre une augmentation de 20% par rapport au témoin (Figure 7). Une variation phénotypique révèle que l'augmentation de la matière aérienne sèche observée est plus importante chez ICGV-86015, ICGV-00350 et 55-437. La matière sèche de SOSAT-C88 récoltée après rotation avec la variété ICGL-5 est de 14 g comparée à 31 g (en moyenne) après rotation avec les autres variétés. La matière sèche des plants de SOSAT-C88 témoins (sans rotation) est similaire à celle récoltée après rotation avec ICGL-5.

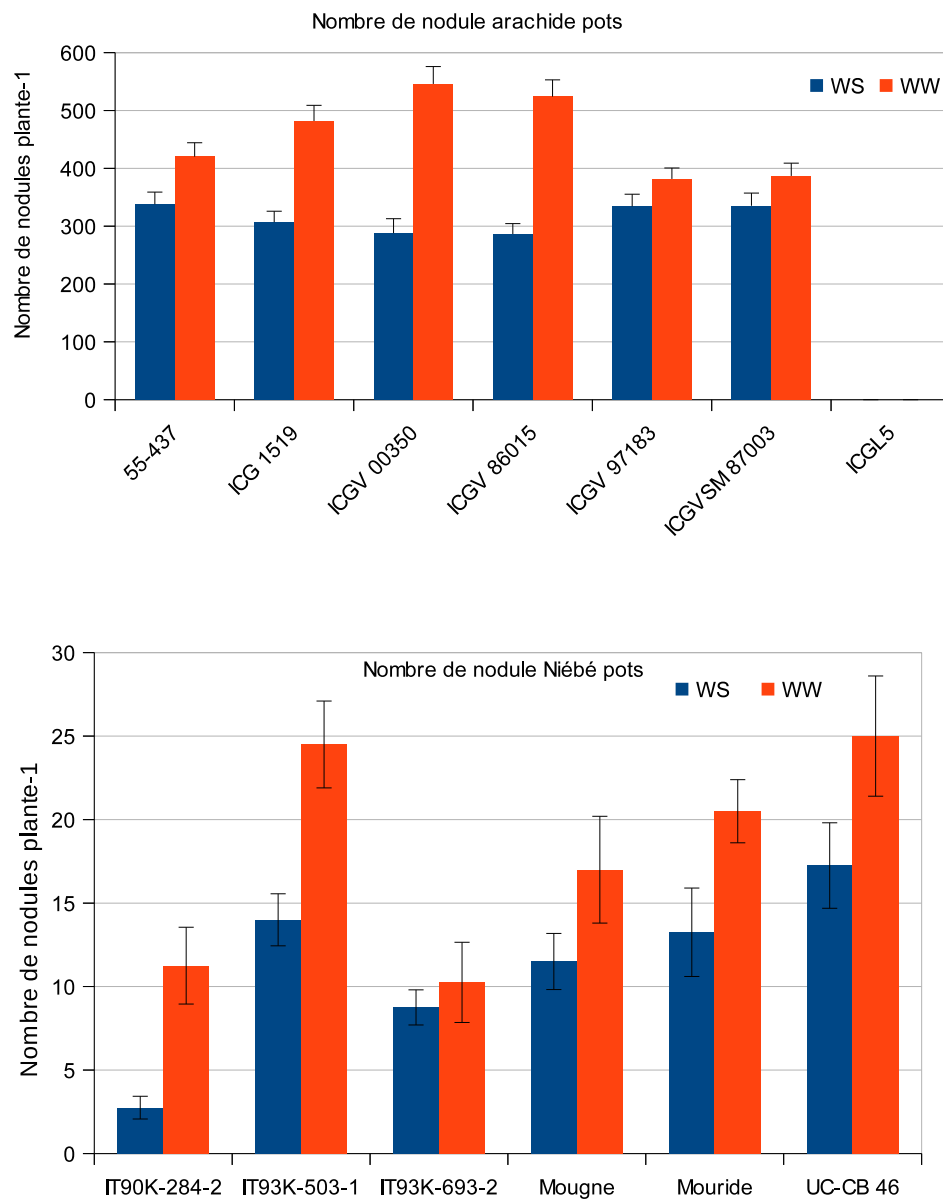




Signification auseuil de 5%, les barres représentent les écarts types

**Figure 1:** Nombre de nodules par plant chez l'arachide et le niébé au champ et en pots sous traitement NPO (sol déficient et sans apport d'engrais).

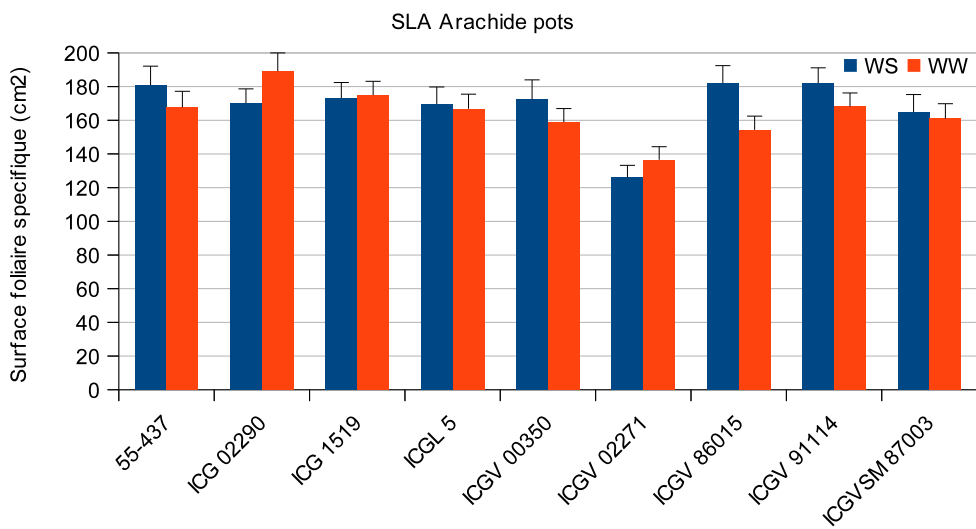
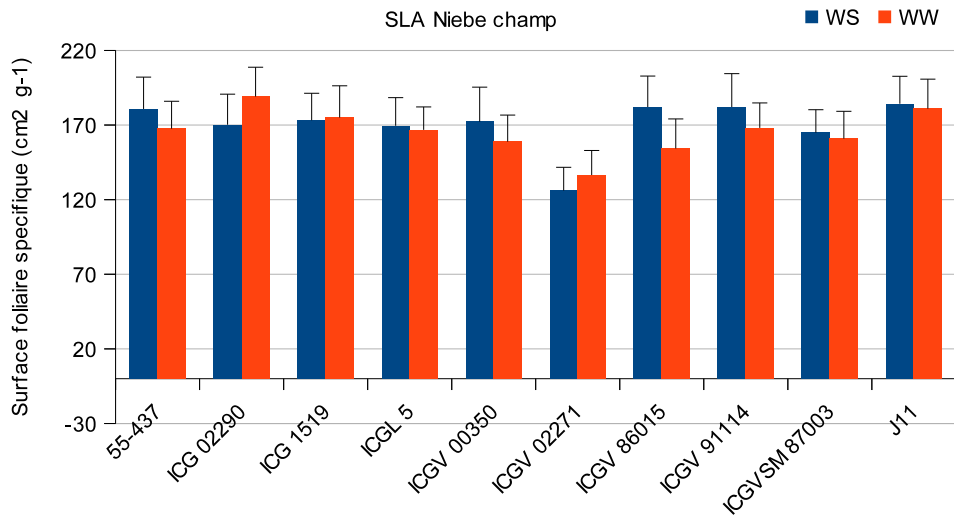
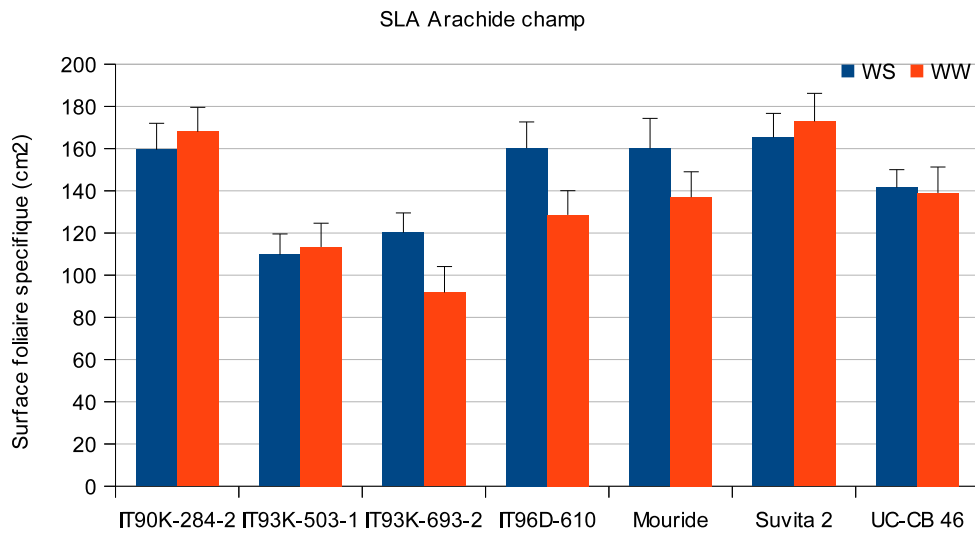


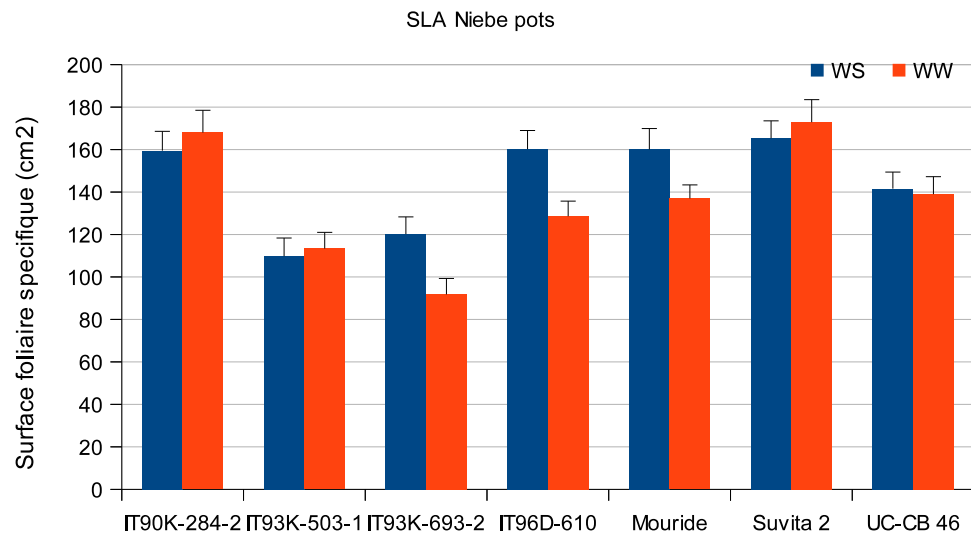


Signification a seuil de 5%, les barres représentent les écarts types.

**Figure 2:** Nombre de nodules par plant chez l'arachide et le niébé au champ et en pots en conditions de stress (WS) et non stress hydrique (WW).

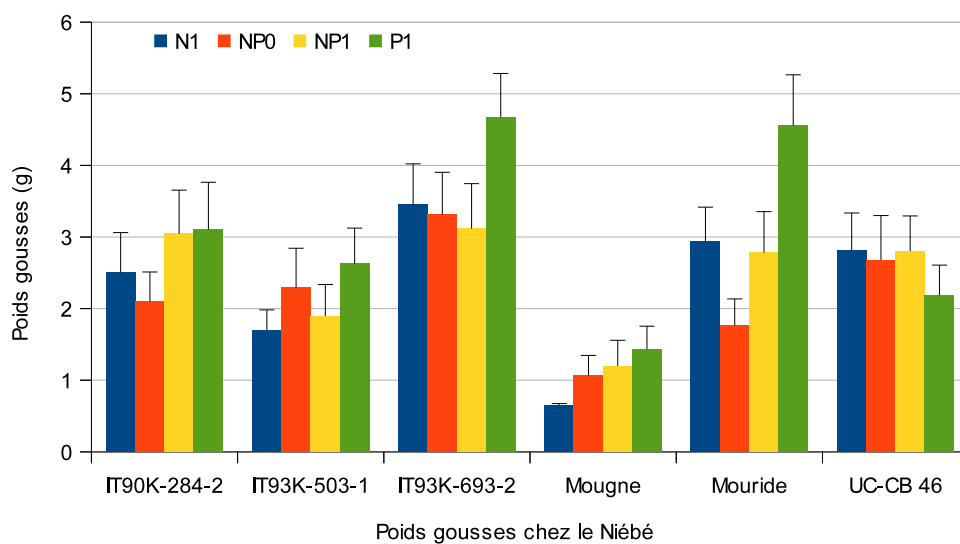
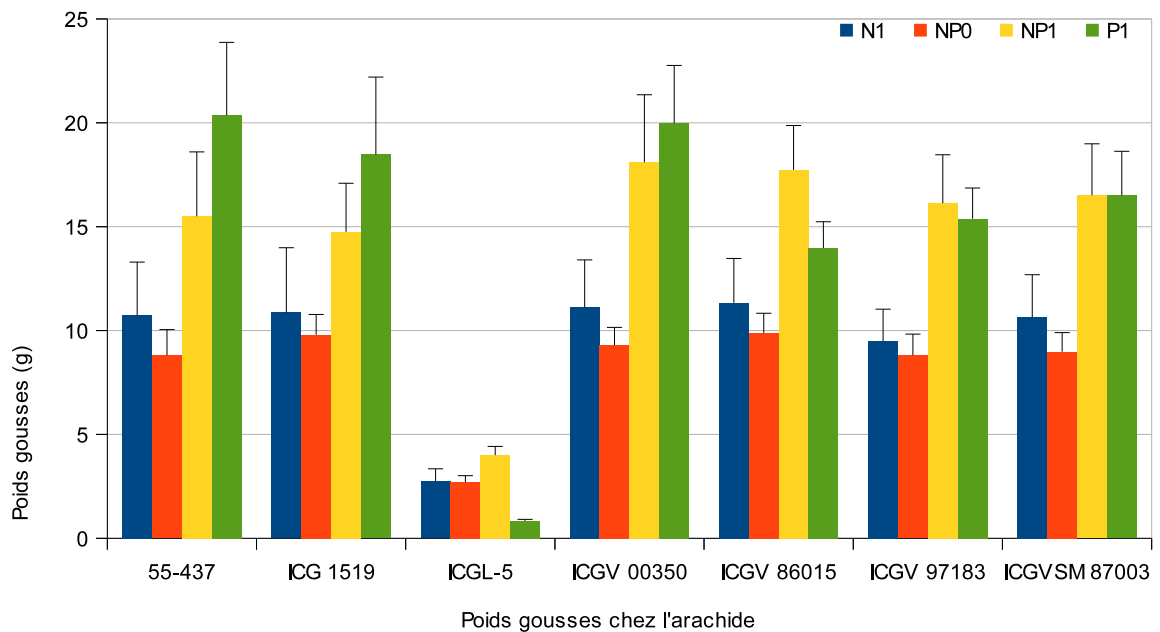


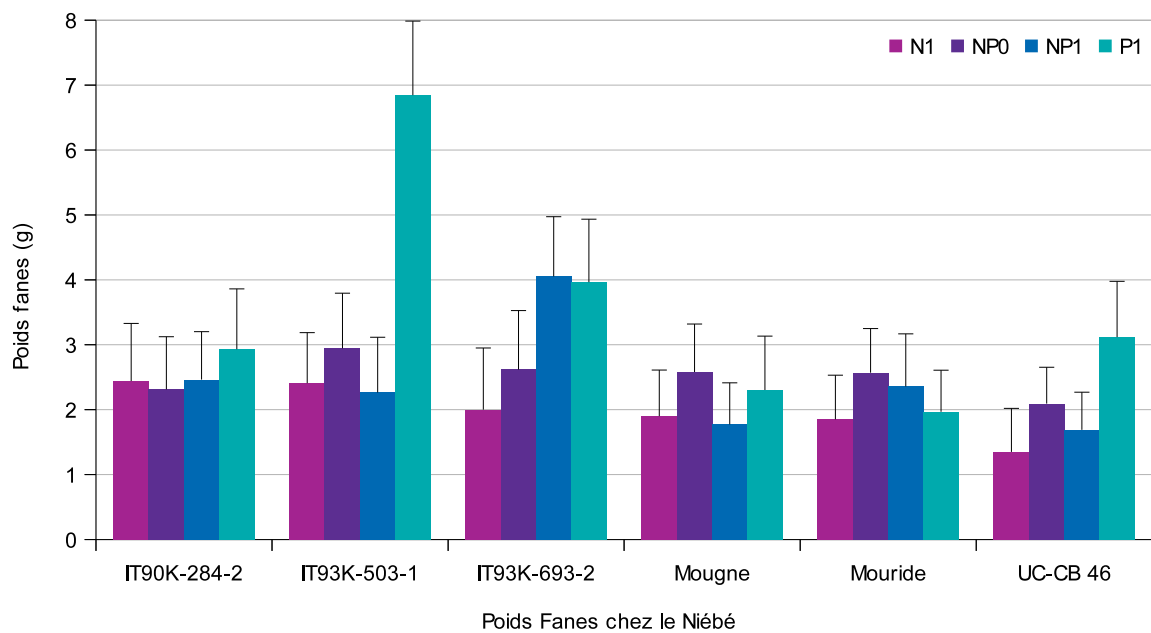
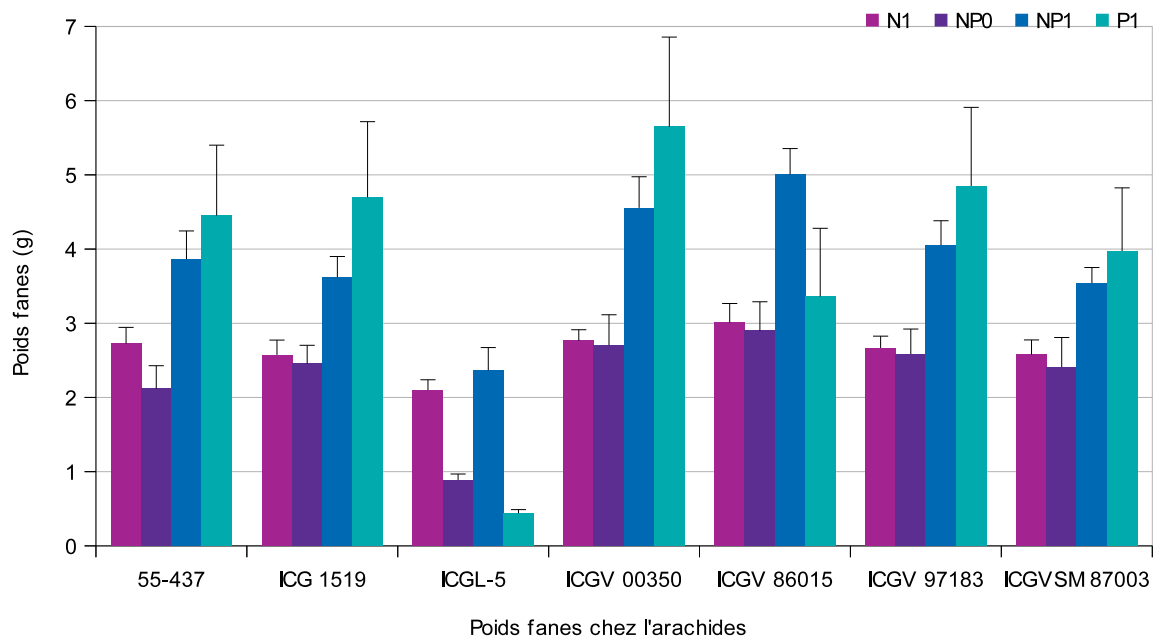




Signification au seuil de 5%, les barres représentent les écarts types

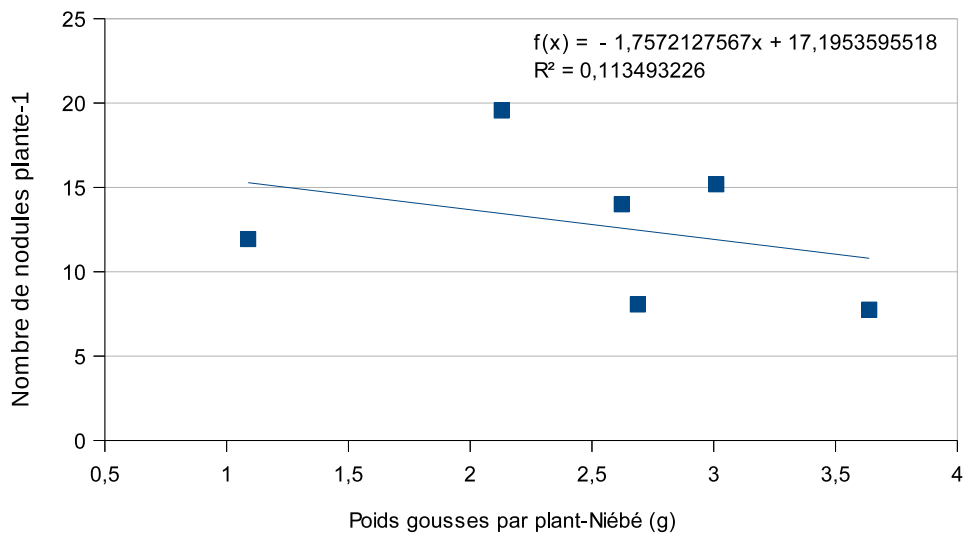
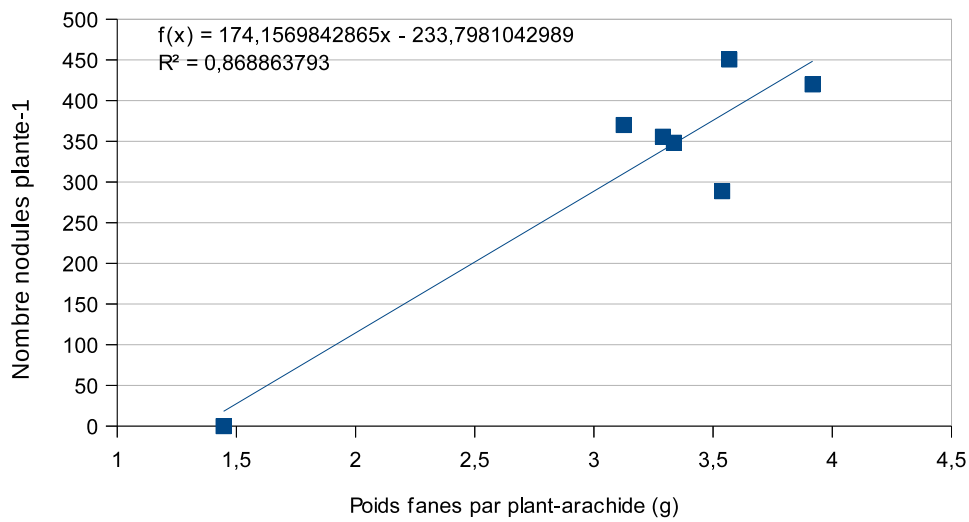
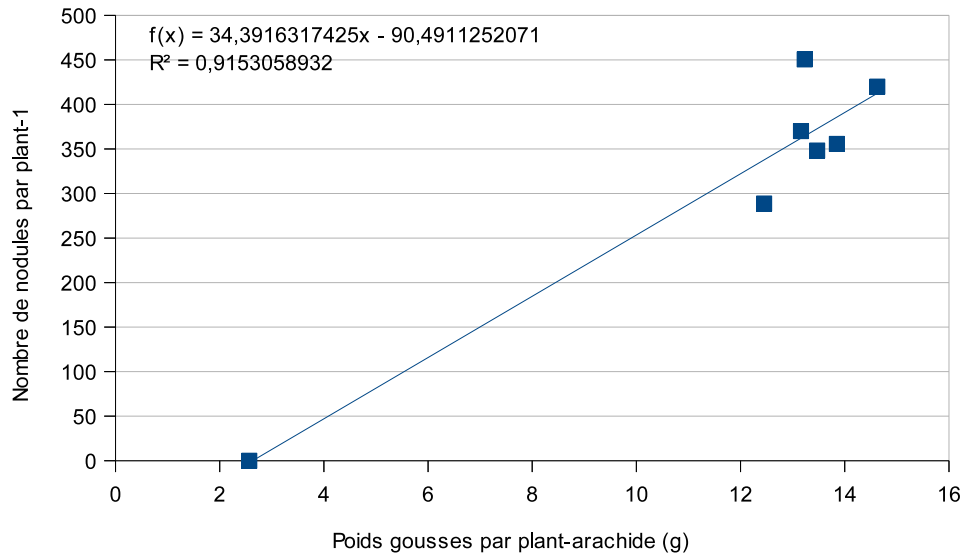
**Figure 3:** Surface foliaire spécifique chez l'arachide et le niébé en conditions de stress (WS) et non stress (WW) au champ et en pots.



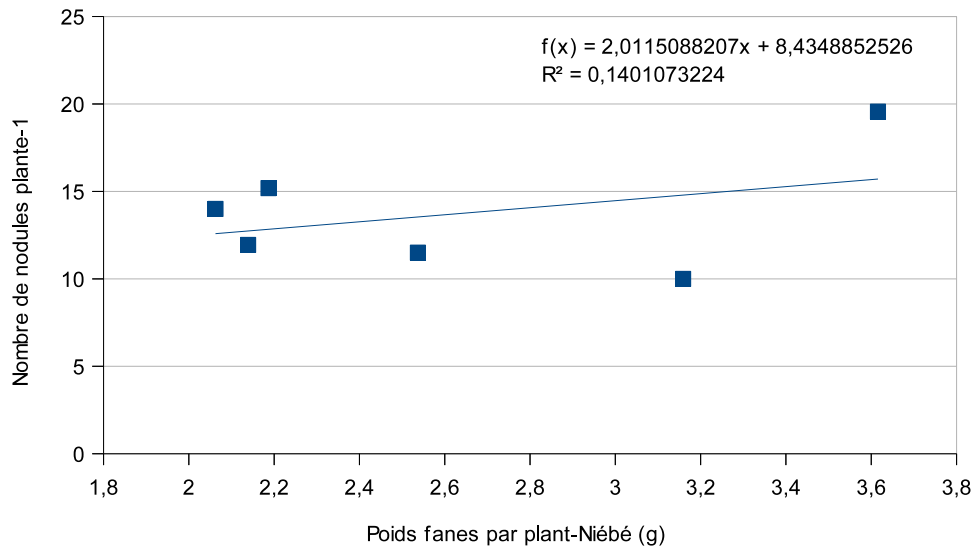


Signification au seuil de 5%, les barres représentent les écarts types

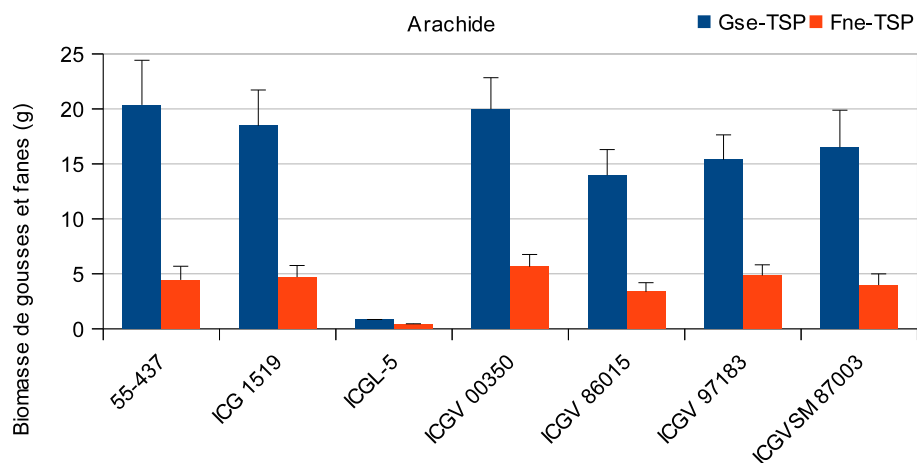
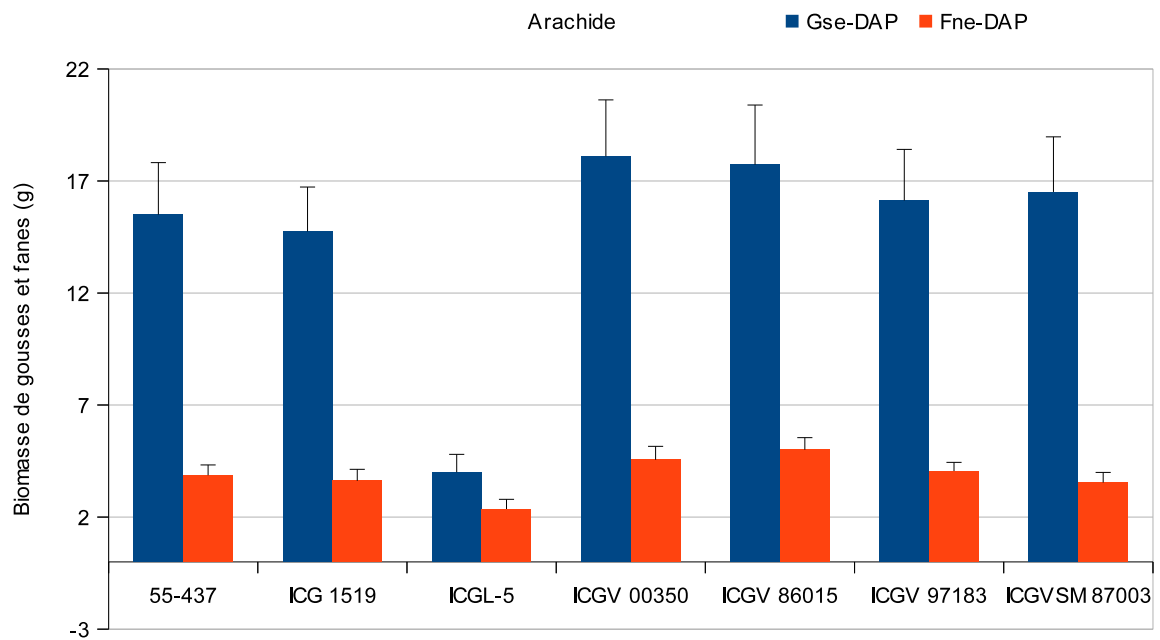
**Figure 4:** Effet de l'amendement en urée (N1), Di-Amonium-phosphate (DAP=NP1) et fertilisant) sur le poids gousses et fanes des variétés de l'arachide et du niébé. NP0.

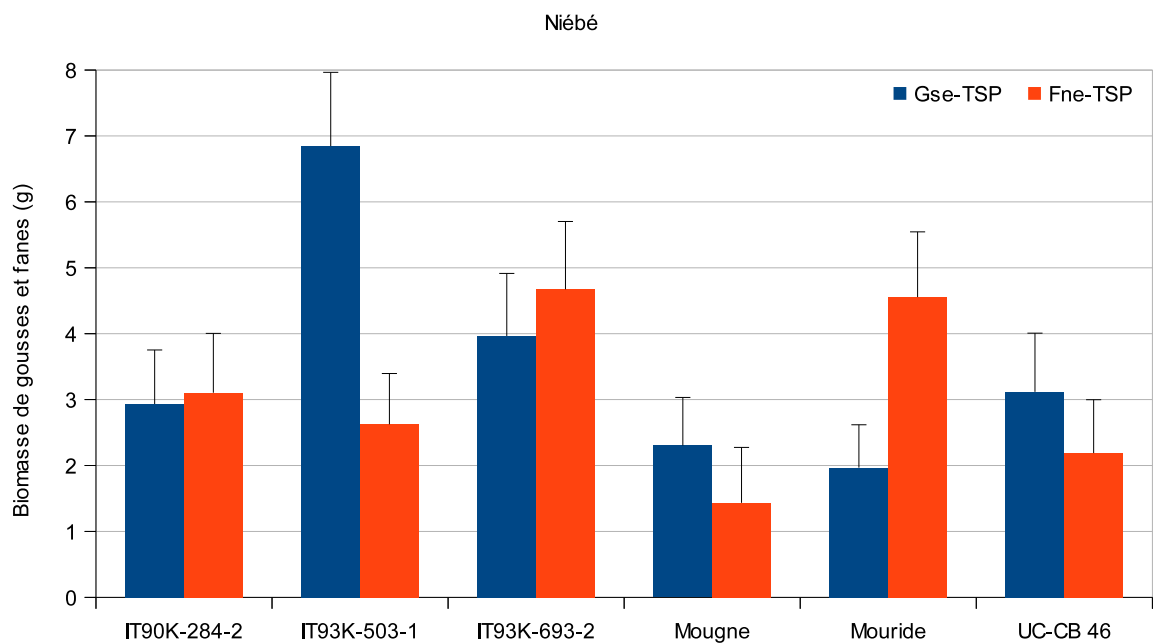
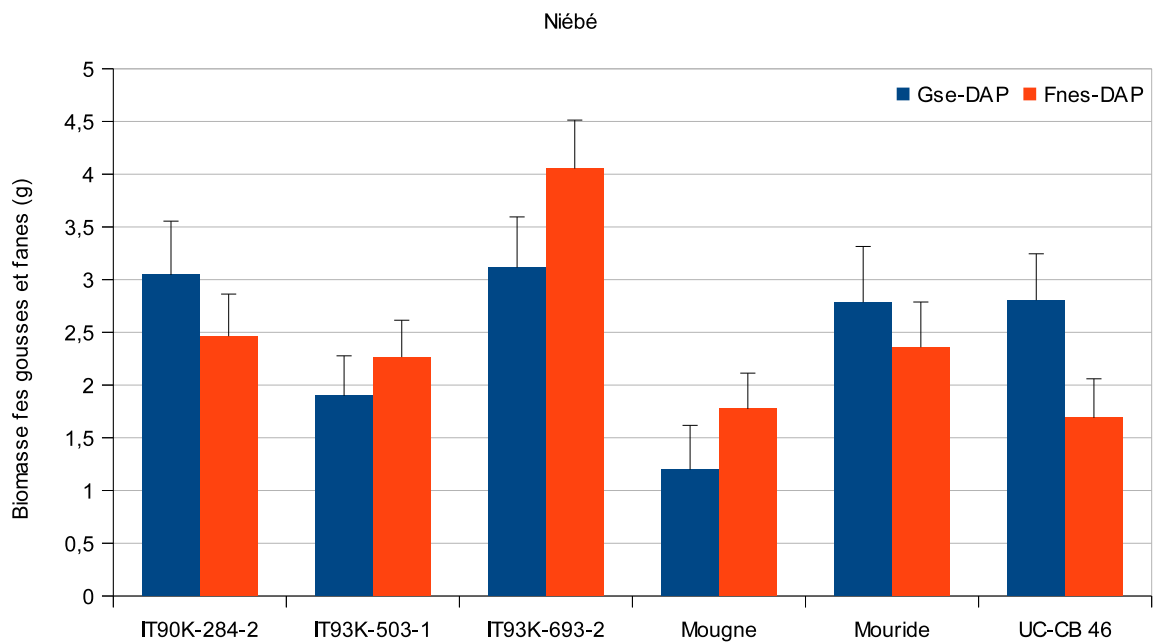






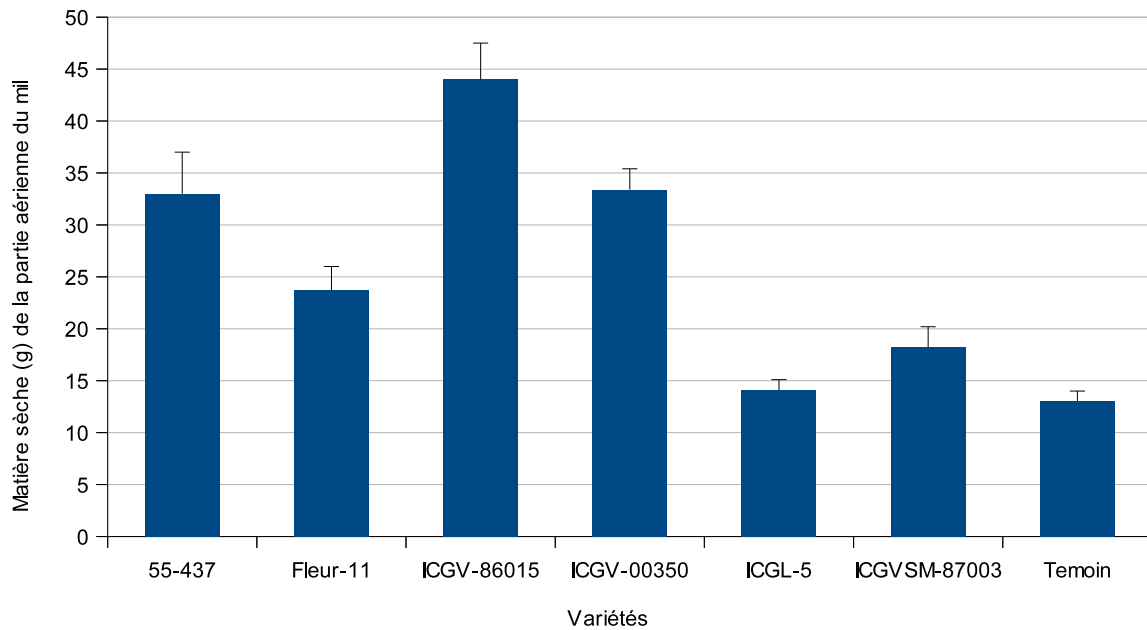
**Figure 5:** Correlation entre poids gousses (pds-gse), poids fanes(pds fne) et nombre de nodules par plant (nb nod) chez le niébé et l'arachide en conditions des pots.





Signification au seuil de 5%, les barres représentent les écarts types.

**Figure 6:** Production en gousses (Gse) et fanes (Fne) sous apport de l'azote et du phosphore sous formes de DAP et TSP chez l'arachide et le niébé.



Témoin = sans rotation. Signification au seuil de 5%, les barres représentent les écarts types

**Figure 7:** Matière sèche (g) aérienne du mil (variété SOSAT C88) cultivé en rotation avec les variétés d'arachide en conditions de pots.

## Discussions

Chez les légumineuses, la fixation de l'azote atmosphérique se fait grâce à une symbiose avec les bactéries en formant des nodules. Les légumineuses sont donc connues comme espèces autonomes pour la nutrition azotée. Nos résultats montrent le nombre de nodules formés par l'arachide et le niébé en conditions de champ et en pots. Le nombre de nodules chez ces deux légumineuses a aussi été quantifié dans des travaux antérieurs (6). Une fixation élevée de l'azote (N) du fait de la formation d'un nombre élevé de nodules couvrirait le besoin en N de la plante et le surplus enrichirait le sol en N. Chez l'arachide et le niébé, une variation phénotypique a été observée pour le nombre de nodules formés indiquant qu'au sein d'une même espèce les variétés n'ont pas le même potentiel de fixation de l'azote. Ces résultats corroborent ceux observés dans d'autres travaux (2, 6, 9, 19). La variété d'arachide ICGL-5 n'a pas formé de nodules au champ comme dans l'expérimentation en pots et confirme qu'elle est non nodulante et se révèle un bon matériel témoin pour l'évaluation de la fixation d'azote. En conditions de champ et de pots, les variétés d'arachide ICGV-00350 et ICGV-86015 forment 40% de nodules plus que la 55-437 qui est une des variétés préférées des paysans et beaucoup cultivée au Sahel. Ces variétés montrent ainsi un intérêt agronomique plus important que la 55-437. Chez le niébé, les variétés UC-CB46, Mouride et IT93-503-1 nodulent mieux que Suivita-2 (variété locale).

La bonne aptitude de ICGV-00350, ICGV-86015, UC-CB46, Mouride et IT93-503-1 à fixer l'azote pourrait être exploitée au Sahel pour les cultures d'association et/ou de rotation avec les céréales pour restaurer la fertilité d'un sol dégradé. En effet, plusieurs travaux ont montré la forte relation entre la nodulation, la fixation de l'azote et l'enrichissement du sol en azote (N) par les légumineuses (10, 14, 18, 19). Dans cette étude une réduction significative du nombre de nodules a été observée en conditions de sécheresse chez l'arachide et le niébé. Des auteurs ont aussi montré que la sécheresse affecte la fixation de l'azote chez les légumineuses (11, 12, 18). Au champ et en pots, l'effet du stress hydrique sur le nombre de nodules formés a été plus important chez le niébé que l'arachide. Ces résultats pourraient indiquer que la fixation de l'azote est plus sensible à la sécheresse chez le niébé que chez l'arachide. Le déficit hydrique aurait affecté les souches de *Rhizobium* (différentes chez les 2 espèces) impliquées dans la nodulation et/ou le processus de formation de nodules. Des auteurs ont montré que la sécheresse affecte l'activité des nitrogénases, enzymes impliquées dans la fixation d'azote chez l'arachide (4). Aussi, les travaux de Vance (18) ont montré qu'en conditions de déficit hydrique, la nodulation est inhibée chez le niébé mais continue légèrement chez l'arachide. En utilisant la formation de nodules comme proxy (mesure indirecte) de la fixation de l'azote, nos résultats montrent que les variétés ICGV-00350, ICGV-86015 et ICGVSM-

87003 de l'arachide se révèlent bonnes fixatrices de l'azote en conditions de stress hydrique au champ alors qu'en pots ce sont 55-437, ICGVSM-87003 et ICGV-97183. La variété ICGV-86015 a une bonne fixation de l'azote et résiste au déficit hydrique (5). Chez le niébé, IT93K-503-1, Mouride et UC-CB 46 qui ont un nombre élevé de nodules formés en conditions de stress hydrique se révèlent tolérantes à la sécheresse au champ et en pots. Les caractères impliqués dans la tolérance à la sécheresse et la fixation de l'azote chez l'arachide et le niébé ont été investigués dans ce travail pour comprendre les stratégies de réponse. Nos résultats indiquent que la surface foliaire spécifique, la teneur des feuilles en chlorophylle (SCMR) et l'indice de surface foliaire (résultats non montrés), le poids des gousses et le poids des fanes ont été affectés par le stress hydrique imposé en pots et/ou au champ. Cependant, la variation phénotypique observée indique que l'effet varie selon le génotype et l'espèce. Le déficit hydrique a augmenté de 10% la biomasse racinaire chez le niébé mais il l'a réduite de 27% chez l'arachide. L'augmentation de la biomasse des racines atteint 40 et 21% chez IT93K-503-1 et IT93K-693-2 respectivement. Ces résultats révèlent une différence de réponse adaptative au déficit hydrique entre l'arachide et le niébé. En effet, face au dessèchement graduel du sol, le niébé favoriserait le développement racinaire pour explorer le sol et extraire de l'eau alors que l'arachide ralentirait la croissance racinaire pour économiser l'eau du sol. Sur la base de cette réponse, la comparaison entre les deux espèces suggère que le niébé utilise le mécanisme d'évitement à la déshydratation pendant que l'arachide, qui conserverait de l'eau dans ses tissus, utilise le mécanisme de tolérance à la sécheresse. Chez l'arachide, en régimes hydriques WW et WS la variété non nodulante ICGL-5 a produit moins de gousses et de fanes que les autres variétés et a été la plus affectée par le stress hydrique. Ces résultats traduiraient l'importance de la nodulation notamment dans la tolérance à la sécheresse. Par le processus de fixation de l'azote à travers la nodulation, les légumineuses couvrent leur besoin en N qui joue un rôle dans plusieurs processus notamment physiologiques comme la photosynthèse et l'absorption d'autres éléments minéraux (2, 12, 21). De l'analyse des résultats de la biomasse des gousses et fanes produites, il ressort que la baisse due au stress hydrique est de 30% en moyenne chez le niébé et l'arachide. Les variétés IT93-503-1, Mouride et UC-CB46 chez le niébé, ICGVSM 87003, ICGV 97183 et 55-437 chez l'arachide se révèlent les variétés tolérantes à la sécheresse. Nos résultats montrent aussi que le nombre de nodules est fortement corrélé au poids gousses ( $r^2= 0,91$ ) et au poids fanes ( $r^2= 0,88$ ) chez l'arachide alors que chez le niébé la corrélation au poids gousses et poids fanes est faible ( $r^2=0,11$ ,  $r^2= 0,14$  respectivement).

Ceci indiquerait que la production en gousses et en fanes est plus dépendante du nombre de nodules formés chez l'arachide que chez le niébé. Aussi, le nombre de nodules formés pourrait expliquer la variation phénotypique en poids gousses et en poids fanes chez l'arachide mais pas chez le niébé. Ces résultats corroborent ceux rapportés antérieurement (5, 8, 9, 22). En outre, le nombre de nodules chez l'arachide est significativement corrélé au poids des racines et à la surface foliaire. Ces paramètres contribueraient donc dans la fixation de l'azote. Le maintien de la fixation d'azote malgré le dessèchement du sol est un caractère de tolérance au déficit hydrique (5). Chez le niébé, le nombre de nodules est positivement corrélé qu'au poids de racines mais négativement corrélé à la surface foliaire. Il existe une association significative entre la nodulation et la croissance des racines chez le niébé. L'étude de l'effet de l'amendement en urée, DAP et TSP sur la productivité de l'arachide et du niébé a révélé une forte augmentation (70 à 80%) de poids gousses et poids fanes. Plusieurs auteurs ont montré le rôle de la fertilisation minérale sur un sol pauvre pour accroître la production des cultures (2, 8, 19). Nos résultats ont montré que non seulement l'effet de fertilisation est beaucoup plus important chez l'arachide par rapport au niébé mais aussi l'amendement en TSP a eu plus d'effet que l'amendement en DAP et en urée. Ces résultats confirment que chez les légumineuses le besoin en phosphore est plus crucial que celui en azote. Il est connu (2, 16, 17) que le phosphore joue un rôle déterminant dans la production des légumineuses et des céréales. La comparaison entre l'arachide et le niébé montre que l'arachide aurait plus besoin de phosphore que le niébé. Cette étude a révélé que chez l'arachide la variété ICGV-00350 produit plus de gousses que la 55-437 sous amendement DAP et TSP pendant que chez le niébé IT93K-503-1 et IT93K-693-2 se révèlent plus productrices en gousses que la variété Mouride.

En conditions de déficience en P et N du sol (NP0), nos résultats révèlent que la culture de l'arachide enrichit le sol au profit des céréales. En effet, la variété du mil SOSAT C88 cultivée en rotation avec l'arachide a produit plus de biomasse (20%) qu'en culture sans rotation. L'augmentation de la biomasse de la variété de mil cultivé en rotation avec l'arachide indique l'enrichissement du sol notamment en N par l'arachide. De par l'effet sur la biomasse du mil cultivé en rotation, les variétés ICGV 86015, ICGV 00350 et 55-437 se révèlent les plus fertilisantes du sol. D'ailleurs, ces variétés ont produit plus de nodules que les autres aussi bien en condition de stress (WS) et de non stress (WW).



## Conclusion

La sécheresse affecte la fixation de l'azote chez l'arachide et le niébé. Chez ces deux légumineuses, une variation phénotypique a été révélée aussi bien pour la fixation de l'azote que pour la tolérance au déficit hydrique appliqué en phase floraison. Il ressort ainsi que les variétés ICGV-00350 et ICGV-86015, ICGVSM-87003, ICGV-97183 et 55-437 pour l'arachide et les variétés UC-CB46, Mouride, IT93-503-1 et IT93-693-2 pour le niébé seraient tolérantes à la sécheresse et/ou bonnes fixatrices de l'azote.

La forte corrélation entre le nombre de nodules et les poids gousses et fanes indiquerait que le nombre de nodules serait un critère indirect pour l'évaluation de la fixation de l'azote surtout chez l'arachide. Ce travail révèle aussi que l'apport en phosphore (TSP ou DAP) serait crucial pour la production notamment en gousses chez le niébé et l'arachide. Sur un sol déficient en phosphore et en azote, la culture de l'arachide enrichirait le sol au profit des céréales comme le mil dont la production augmenterait de 20%.

## Références bibliographiques

- Adu-Gyamfi J.J., Myaka F.A., Sakala W.D., Odgaard R., Vesterager J.M. & Høgh-Jensen H., 2007, Biological nitrogen fixation and nitrogen and phosphorus budgets in farmer-managed intercrops of maize–pigeon pea in semi-arid southern and eastern Africa, *Plant Soil*, **295**, 127-136.
- Dakora F.D. & Keya S.O., 1997, Contribution of legume nitrogen fixation to sustainable agriculture in Sub-Saharan Africa. *Soil Biol. Biochem.*, **29**, 809-817.
- Dakora F.D. & Phillips D. A., 1996, Diverse functions of isoflavonoids in legumes transcend anti-microbial definitions of phytoalexins, *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, **49**, 1-20.
- Devi M.J., Sinclair T.R. & Vadez V., 2010, Genotypic variability among peanut (*Arachis hypogaea* L.) in sensitivity of nitrogen fixation to soil drying, *Plant soil*, **330**, 139-148.
- Devi M.J., Sinclair T.R., Vadez V. & Krishnamurthy L., 2009, Peanut genotypic variation in transpiration efficiency and decreased transpiration during progressive soil drying, *Field Crops Res.*, **114**, 280-285.
- Gweyi J.O., Akwee P., Onyango C. & Tsehaye T., 2011, Genotypic Responses of Cowpea (*Vigna unguiculata*) to Sub-Optimal Phosphorus Supply in Alfisols of Western Kenya: A Comparative Analysis of Legumes, *J. Agric. Sci.*, **2**, 1–8.
- Hamidou F., Ratnakumar P., Halilou O., Mponda O., Kapewa T., Monyo E., Faye I., Ntare B.R., Nigam S.N., Upadhyaya H. D. & Vadez, V., 2012, Selection of intermittent drought tolerant lines across years and locations in the reference collection of groundnut (*Arachis hypogaea* L.), *Field Crops Res.*, **126**, 189-199.
- Neera G., 2007, Symbiotic nitrogen fixation in legume nodules: process and signaling, *A rev. Agron. Sust. Dev.*, **27**, 59–68.
- Okito A., Alves B.J. ., Urquiaga S., & Boddey R.M., 2004, Nitrogen fixation by groundnut and velvet bean and residual benefit to a subsequent maize crop, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **39**, 1183-1190.
- Pimratch S., Jogloy S., Vorasoot N., Toomsan B., Patanothai A. & Holbrook C.C., 2008, Relationship between biomass production and nitrogen fixation under drought stress conditions in Peanut genotypes with different levels of drought resistance, *J. Agron. Crop Sci*, **194**, 15-25.
- Ramos M.L.G., Gordon A.J., Minchin F.R., Sprent J.I. & Parsons, R., 1999, Effect of Water Stress on Nodule Physiology and Biochemistry of a Drought Tolerant Cultivar of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *Ann. Bot.*, **83**, 57-63.
- Sinclair T.R. & Vadez V., 2002, Physiological traits for crop yield improvement in low N and P environments, *Plant Soil*, **245**, 1-15.
- Sinclair T.R., Leilah A.A. & Schreffler A.K., 1995, Peanut nitrogen fixation ( $C_2H_2$  reduction) response to soil dehydration, *Peanut Sci.*, **22**, 162-166.
- Sinclair T.R., Purcell L.C., King C.A., Sneller C.H., Chen P. & Vadez V., 2007, Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic  $N_2$  fixation, *Field Crops Res.*, **101**, 68-71.
- Toomsan B., McDonagh J.F., Limpinuntana V.J.H.A. & Giller K.E., 1995, Nitrogen fixation by groundnut and soyabean and residual nitrogen benefits to rice in farmers' fields in Northeast Thailand, *Plant soil*, **175**, 45-56.
- Twomlow S. J., 2004, *Increasing the role of legumes in smallholder farming systems—the future challenge*. In: Serraj R. (ed) *Symbiotic nitrogen fixation: prospects for application in tropical agroecosystems*. Science Publishers, NH, USA, 29-46.
- Valluru R.A.V.I., Vadez V., Hash C.T. & Karanam P., 2010, A minute P application contributes to a better establishment of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) seedling in P deficient soils, *Soil use manage.*, **26**, 36-43.
- Vance C.P., 2001, Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources, *Plant physiol.*, **127**, 390-397.
- Venkateswarlu B., Saharan N. & Maheswari M., 1990, Nodulation and  $N_2$  ( $C_2H_2$ ) fixation in cowpea and groundnut during water stress and recovery, *Field Crops Res.*, **25**, 223-232.
- Vesterager J.M., Nielsen N.E. & Hoslash H., 2007, Nitrogen budgets in crop sequences with or without phosphorus-fertilized cowpea in the maize-based cropping systems of semi-arid eastern Africa, *Afri. J. Agric. Res.* **2**, 261-268.
- Wani S.P., Rupela O.P. & Lee K.K., 1995, Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes, *Plant Soil*, **174**, 29-49.
- Zahran H.H., 1999, Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate, *Microbiol. mol. biol. rev.*, **63**, 968-989.

F. Hamidou, Nigérien, Chercheur, Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales et Semi-Arides, Centre Sahélien, Niamey; Maitre de conférences, Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Niamey, Niger.

A. Harou, Nigérien, Doctorant, Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Département de biologie, Niamey, Niger.

B.F. Achirou, Nigérien, Technicien de recherche, Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales et Semi-Arides. Centre Sahélien, Niamey, Niger.

O. Hallou, Nigérien Postdoc, Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales et Semi-Arides, Centre Sahélien, Niamey, Niger.

Y. Bakasso, Nigérien, PhD, Doyen, Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Niamey, Niger.

## Comportement alimentaire de la gazelle dama mhorrr (*Nanger dama mhorrr*, Pallas, 1766) en semi-liberté dans la Réserve de Faune du Ferlo Nord de Ranérou, Sénégal

S.M. Sarr<sup>1\*</sup>, E. Faye<sup>1</sup>, E.A. Diatta<sup>1</sup> & C.A.T. Djigo<sup>2</sup>

**Keywords:** Semi-captivity- *Nanger dama mhorrr*, Reserve- Fauna- Ferlo- Senegal

### Résumé

*La gazelle dama mhorrr (Nanger dama mhorrr, Pallas, 1766) est une antilope sahélo-saharienne qui peuplait autrefois le nord du Sénégal. La conjonction de plusieurs facteurs naturels et anthropiques a concouru à son extinction vers les années 1970. Aujourd'hui, elle vit en semi-liberté dans un enclos de 1200 ha dans la Réserve de Faune du Ferlo Nord (RFFN). Cette étude vise une meilleure connaissance de son comportement alimentaire afin de mieux prendre en charge sa gestion. Pour atteindre cet objectif, un suivi écologique a été effectué entre les mois de février et mai 2016 à raison d'une semaine par mois, soit quatre semaines de suivi. Les résultats de ce suivi ont montré que la gazelle dama mhorrr consomme des espèces ligneuses, principalement Leptadenia hastata, Boscia senegalensis, Guiera senegalensis dont elle prélève les feuilles et Acacia seyal, dont elle prélève les fleurs. Elle consomme aussi l'herbe sèche. Aucun résultat n'a été noté en ce qui concerne la fréquence d'abreuvement. Les résultats obtenus pourront être utilisés pour suivre la dynamique des populations de Nanger dama mhorrr.*

### Summary

#### Feeding Behavior of the Dama Mhorrr Gazelle (*Nanger dama mhorrr*, Pallas, 1766) in Semi-free Range in the North Ferlo of Ranerou Wildlife Reserve, Senegal

*Gazelle dama mhorrr (Nanger dama mhorrr, Pallas, 1766) is a Sahelo-Saharan antelope that once inhabited northern Senegal. The combination of several natural and anthropogenic factors contributed to its extinction by the 1970s. Today, it lives in semi-free range in a 1200 ha enclosure in the North Ferlo Wildlife Reserve (NFWR). This study aims at a better understanding of its feeding behavior in order to improve its management. To achieve this objective, an ecological monitoring was carried out between February and May 2016, for one week per month, giving a total of four weeks of monitoring. The results of this monitoring showed that the gazelle dama mhorrr consumes tree species, mainly Leptadenia hastata, Boscia senegalensis, Guiera senegalensis for their leaves, and Acacia seyal for its flowers. It also consumes dry grass. No results were noted regarding drinking frequency. The obtained results can be used to monitor the dynamics of the populations of Nanger dama mhorrr.*

<sup>1</sup>Université de Thiès, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale ex ENCR, Bambey, Sénégal.

<sup>2</sup>Direction des Parcs Nationaux du Sénégal.

\*Auteur correspondant: Email: sarmodou@yahoo.fr

Reçu le 09.03.17 et accepté pour publication le 25.08.17.

## Introduction

La perte de biodiversité due par des facteurs naturels et ou anthropiques est un phénomène très marqué en Afrique. Les écosystèmes de la zone sahélo-saharienne paraissent particulièrement touchés (9). En effet, la grande faune de cette vaste zone a connu une régression importante de sa diversité spécifique avec la disparition de beaucoup d'espèces notamment les antilopes sahélo-sahariennes (ASS). C'est dans ce contexte que le Sénégal, qui n'a pas échappé à cette situation, a mis en place une politique de conservation de sa biodiversité. Celle-ci a abouti à la création d'un vaste réseau de d'Aires Protégées (AP) constitué d'échantillons représentatifs des différents biotopes caractéristiques du pays. Parallèlement à cette création, des programmes de réintroduction de la grande faune et des ASS en particulier ont été entrepris pour tenter de restaurer les ressources qui jadis existaient. Parmi ces programmes figure celui de la gazelle dama mhor (*Nanger dama mhor*) dans la Réserve de Faune du Ferlo Nord (RFFN) dans l'enclos de réintroduction de Katané. Ce programme a en effet débuté à la Réserve Spéciale de Faune de Gueumbeul (RSFG) au Sénégal et des individus ont été par la suite transférés à la RFFN. Au Sénégal, le programme de réintroduction de la Gazelle *dama mhor* a débuté en 1984 dans la RSFG avec sept (07) individus dont deux mâles et cinq femelles à partir de la Station Expérimental des Zones Arides d'Almeria en Espagne (9). Après plusieurs années d'élevage, des individus furent transférés à la RFFN. Selon le registre trouvé sur place, il y a eu deux groupes arrivés le 09 janvier 2003 pour le premier et le 14 janvier 2003 pour le deuxième. Après que plusieurs cas de mortalité aient été notés dans le groupe, cinq individus dont deux mâles et trois (Tableau 1) femelles furent finalement lâchés le 22 janvier 2003 dans l'enclos de réintroduction où ils vivent en semi-liberté. Le but de ce projet est de repeupler le Ferlo par sa faune indigène largement décimée par la chasse et le braconnage. L'effectif de la population de gazelle dans la réserve est de 15 individus composés de 4 mâles, 7 femelles et 4 petits. Aujourd'hui, après plusieurs années de vie en semi-captivité dans un enclos de 1 200 ha, il semblerait que l'espèce connaisse des difficultés qui freinent son bon développement. Les experts «Royal Zoological Society of Scotland- RZSS» et ceux de l'Union Internationale pour la Conservation de la «IUCN/Antelope Specialist Group (ASG)» (13) parlent d'une faible gestion de l'espèce dans l'enclos de réintroduction. Cette étude vise une meilleure connaissance de comportement alimentaire de la gazelle *dama mhor* à travers l'identification des différentes espèces végétales (arbres, arbustes et herbes) qu'elle consomme et sa fréquence d'abreuvement au niveau des abreuvoirs installés dans l'enclos de réintroduction.

## Matériels et méthode

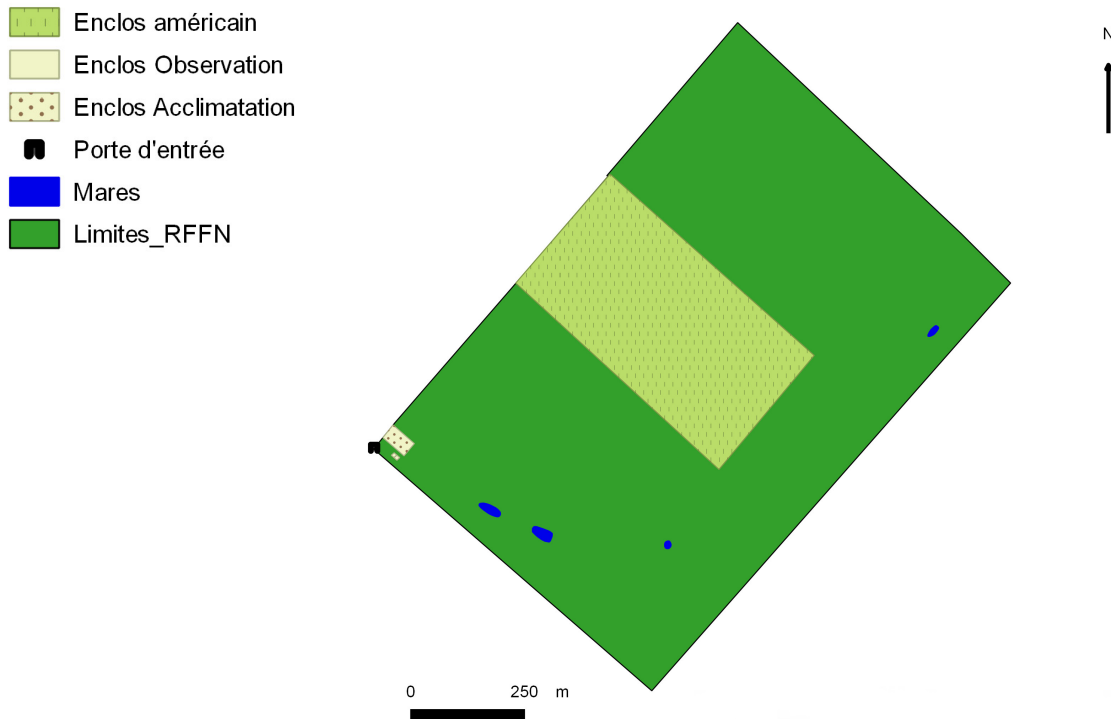
### Présentation du milieu de l'étude

La Végétation est caractérisée par un écosystème sylvo-pastoral avec un peuplement forestier dominé par 4 espèces: *Pterocarpus lucens*, *Acacia senegal* «verek», *Zizyphus mauritiana*, «sidème», *Balanites aegyptiaca* «soump». Cependant on peut noter la présence de savanes arbustive, arborée et boisée. Les espèces présentes sont: *Acacia nilotica* (gonakier), *Bombax costatum* (Kapokier), *Borassus aethiopicum* (Rônier), *Hyphania tibaica* (palmier Doum), *Sclerocarya berrea* (Bere). Le terroir villageois est indiqué par la présence de *Guiera senegalensis* et du *Combretum glutinosum* «rat». On identifie également d'autres espèces telles que: *Acacia seyal* «surur», *Acacia raddiana* «seing», *Grevia bicolor* «kel», *Adansonia digitata* «baobab», *Adenium obesum* «baobab nain ou baobab chacal», *Cominphora africana* «Ngotot», *Anogeissus leicarpus* «Nguédiane». La végétation herbacée est dominée par *Zornia glaochidata*, espèces très appréciées par le bétail.

Actuellement avec le concours de facteurs naturels et surtout anthropiques, le Ferlo s'est vu être dépouillée de la majeure partie de cette riche diversité faunique. Selon Djigo (17), le nombre et la diversité des espèces de faune diminuent d'année en année. On ne trouve plus que des espèces endémiques comme la gazelle à front roux (*Gazella ruffirons*), la tortue sulcata (*Geochelone sulcata*), l'Autruche (*Struthio camellus*), le phacochère (*Phacochoerus africanus*); des reptiles comme le varan du nil (*Varanus niloticus*). La faune aviaire est représentée par: la pintade commune (*Numida meleagris*), le grand calao d'Abyssinie (*Bucorvus abyssinicus*), le francolin (*Francolinus bicalcaratus*), les outardes arabes (*Eupodotis melanogaster*), le coucal (*Centropus senegalensis*), le ganga (*Pterocles ardosiaceus*) etc. L'enclos de réintroduction des antilopes sahélo-sahariennes (Figure 1) se situe à 26,4 km au nord-ouest du poste de commandement de Ranérou (9, 10). Il a été mis en place vers fin 2001 et est clôturé à l'aide d'un grillage parcourant tout son périmètre. Il couvrait une superficie de 500 ha mais elle a connu deux agrandissements. Le premier l'amène de 500 à 700 ha et le deuxième de 700 à 1 200 ha qui est sa superficie actuelle.

Divers aménagements ont été réalisés à l'intérieur de l'enclos. Trois petits enclos sont mis en place dont le premier dit d'observation (0,09 ha) avec deux compartiments. Le deuxième dit d'acclimatation couvre une superficie de 5 ha. Le troisième est appelé «enclos américain». Il comprend en son sein douze abreuvoirs répartis dans l'enclos et placés pour la plupart à proximité des mares. En ce qui concerne ces dernières, elles sont au nombre de quatre. Il s'agit de la grande mare, la mare de la gazelle, la mare de Wendou Diounou et la petite mare. Elles sont toutes naturelles et temporaires.





**Figure 1:** Enclos de réintroduction de Katané (Réalisation par: E.A. Diatta, Master GAPF/ISFAR, 2016).

Un réseau de pistes constituant en même temps des pare-feux y est également aménagé et en fonction duquel l'enclos est subdivisé en six secteurs.

#### Le matériel technique

Pour mener à bien cette étude, nous avons utilisé un certain nombre de matériel technique. Un GPS (*Global Positioning System*) de type Garmin Etrex a été utilisé pour faire la cartographie de l'enclos. Lors des séances de suivi écologique et d'observations, nous avons utilisé des jumelles de marque Olympus 10X50 DPS I Field 6.50 pour avoir une vue proche, des fiches de suivi écologique pour la collecte des données, un carnet de note et un crayon noir. Nous avons également utilisé des clés de détermination pour l'identification des espèces végétales appréciées par les gazelles telles que la flore du Sénégal (15), Arbres et arbustes du Sahel (15). Enfin, un appareil photo de marque Kodak, AF 15X Optical Zoom a été utilisé pour les prises de vues.

#### Le matériel biologique

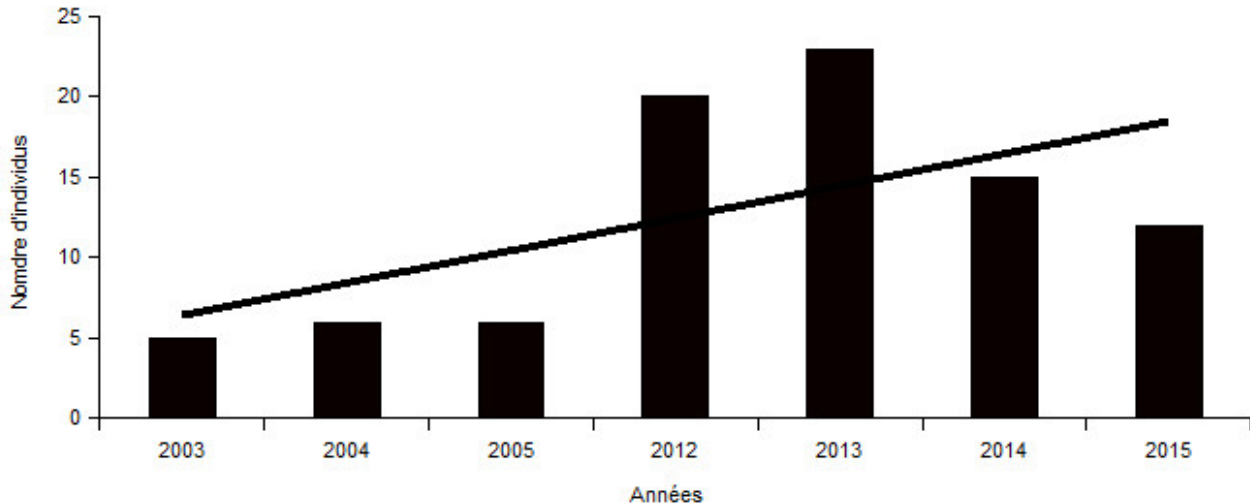
Le matériel biologique qui a été utilisé et sur lequel porte cette présente étude est une sous-espèce de la Gazelle dama: (*Nanger dama mhorrr*, Pallas, 1766). C'est une antilope sahélo-saharienne appartenant à la tribu des Antilopini, à la famille des *Bovidae*, à la sous-famille des *Antilopinae* et au genre *Nanger*.

#### Méthode de suivi écologique

Afin de caractériser la population de gazelles dama mhorrr et de décrire son comportement alimentaire dans l'enclos de réintroduction, un suivi écologique a été effectué.

La caractérisation s'est faite à travers un décompte du nombre d'individus de la population, sa composition et la classe d'âge des individus. Les observations ont été faites dans le but d'identifier les différentes espèces végétales appréciées par les gazelles mais aussi de noter la fréquence d'abreuvement des gazelles au niveau des abreuvoirs. Une visite de terrain a été effectuée à cet effet pour nous permettre non seulement de nous familiariser avec le milieu, mais aussi de collecter quelques données géographiques qui ont permis de faire la cartographie de l'enclos.

Afin de mener à bien le suivi écologique, la méthode suivante a été utilisée: l'enclos étant subdivisé en six (06) secteurs suivant l'ouverture des pistes, ces derniers ont été visités à tour de rôle et de manière aléatoire. Il s'est agi de parcourir l'ensemble des secteurs et de faire des observations directes et indirectes. Les observations directes consistent à visualiser les gazelles tout en notant le nombre d'individus (si c'est un groupe), le sexe (si possible), la classe d'âge de chaque individu et l'activité au moment de l'observation. Les coordonnées géographiques des points d'observation ont également été prises. Les observations indirectes quant à elles, concernent toutes les traces qui sont laissées par les gazelles et permettant de les identifier. Il s'agit des crottes fraîches ou sèches et des empreintes digitales.



**Figure 2:** Evolution de la population de *G. dama* dans l'enclos.

Afin de connaître la fréquence d'abreuvement, nous nous sommes mis à l'affût des abreuvoirs au moment du service (c'est une femme qui se charge du ravitaillement en eau des abreuvoirs dans l'enclos) pour voir les animaux qui viennent boire. Les observations ont été effectuées principalement aux heures où les gazelles sont le plus actives c'est-à-dire le matin entre 6h30 et 11h et dans l'après-midi entre 17h et 19h. Elles ont été effectuées entre le mois de février et mai 2016 en raison d'une semaine par mois soit quatre (04) semaines. Cette période correspond à la saison sèche.

## Résultats

### Les effectifs des populations de *G. dama*

Pour les classes d'âge, tous les 13 individus qui ont été observés sont des 6 adultes et 7 sub-adultes. Aucun individu jeune ou juvénile n'a été observé. Cependant le suivi-écologique réalisé par le personnel de la réserve en février 2016 a permis d'enregistrer 15 individus dont un juvénile et une naissance.

Les résultats (Figure 2) ont montré que les effectifs les plus importants ont été enregistrés en 2013 et en 2012 avec respectivement 23 et 20 individus. En effet, entre 2003 et 2005, on note une faible augmentation avec un taux de croissance de 16,6% soit une augmentation de 8,3% par an. Par contre entre 2005 et 2013, l'effectif de la population de dama a augmenté avec un taux de croissance de 73,91% atteignant ainsi son pic de 23 individus. Ceci donne un taux de croissance annuel de 9,24%.

Le constat est cependant alarmant entre 2013 et 2015. On note à cette période une baisse de l'effectif avec un taux de croissance négatif de l'ordre de -91,67%. L'effectif de la population chute ainsi jusqu'à 12 individus soit une baisse de 45,83% par an. L'analyse la figure 3 montre que le sexe de 80% des individus de la population de Gazelles dama reste inconnu.

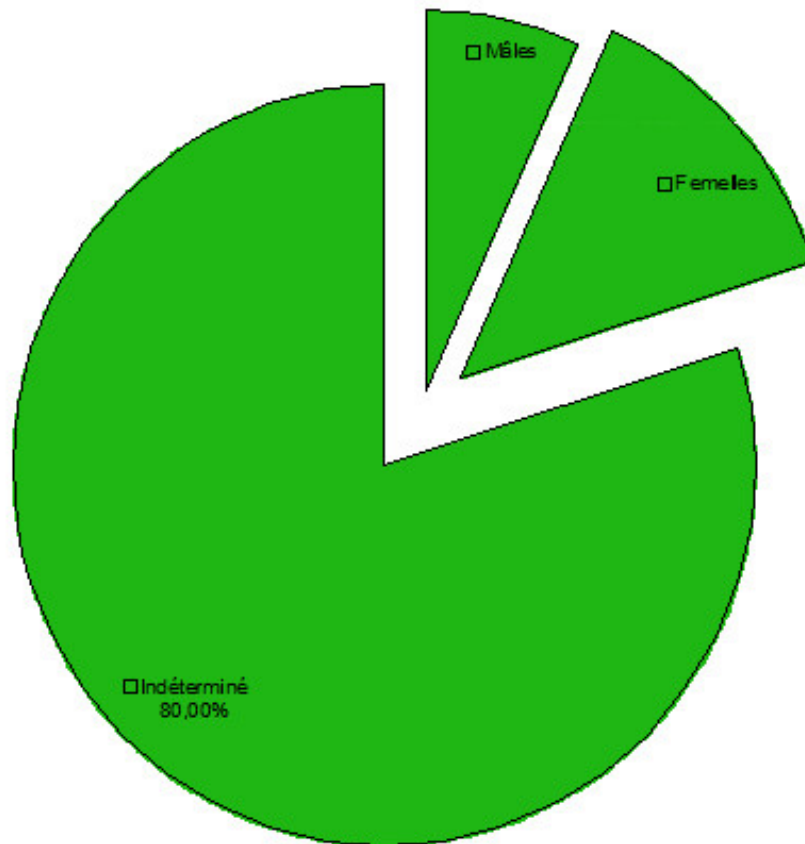
Cependant, 13,33% de cette population est composée de femelles et seulement 6,67% de mâle.

### Les espèces végétales appréciées

Les observations effectuées dans l'enclos de réintroduction de Katané montrent que la gazelle dama mhor s'alimente pour la plupart du temps au niveau du secteur 3 de l'enclos de réintroduction. Les résultats des observations montrent que cette activité est menée principalement très tôt le matin entre 6h30 et 7h. En effet, au niveau de ce secteur de l'enclos de réintroduction, les espèces végétales gardent encore des feuilles vertes pour les ligneux et de jeunes repousses pour les plantes rampantes. Les gazelles s'alimentent aussi dans tous les autres secteurs où nous avons pu déceler des traces de passage (crottes ou empreintes de pattes). Parmi les espèces végétales appréciées, nous pouvons noter *Leptadenia hastata*, *Boscia senegalensis*, *Guiera senegalensis*, *Acacia seyal* et *Adenium obesum*. Les gazelles ont été aussi observées en train de consommer l'herbe sèche.

Les espèces herbacées n'ont malheureusement pas été identifiées avec précision car la distance de fuite est très grande, ce qui ne permet pas de les approcher le plus près possible.

Pour s'alimenter, la dama mhor a une préférence pour le secteur 3. En effet, au niveau de ce secteur, les dama mhor ont été observées à plusieurs reprises, très tôt le matin entre 6h30 et 7h, en train de s'alimenter. Elles sont donc actives très tôt le matin. Ce résultat est en phase avec celui de Le Berre(11) selon qui la gazelle dama s'alimente à l'aube. Au niveau de la RSFG, Boulende (1) avait également noté que les gazelles dama s'alimentent beaucoup plus pendant la matinée entre 6h30 et 9h30 et pendant l'après-midi entre 16h30 et 19h. Son comportement est ainsi semblable à celui de l'oryx algazelle (*Oryx dammah*) qui est actif tôt le matin et tard le soir, etsouvent durant la nuit (2,3, 7, 8, 12).



**Figure 3:** Composition de la population de Gazelles dama

Le secteur 3 encore appelé le «grand plateau» offre une large gamme d'espèces végétales qui sont appréciées par les mhorr. Ces espèces végétales, constituées essentiellement d'arbustes gardent encore leurs feuilles vertes.

Les résultats obtenus montrent que la gazelle dama mhorr consomme une gamme variée d'espèces végétales dont elle pait les feuilles. Parmi ces espèces on peut noter *Leptadenia hastata*, *Boscia senegalensis*, *Guiera senegalensis* et les fleurs de *Acacia seyal*, mais consomme également l'herbe sèche. Ces différentes espèces sont citées parmi les nombreuses espèces végétales qui sont consommées par la dama. Dans le Sahel, elle broute des feuilles, des fleurs et des gousses d'*Acacia* spp., de *Balanites aegyptiaca*, de *Maerua crassifolia* et d'autres arbres et arbustes (14). La *dama mhorr* adopte ainsi un comportement de brouteur pendant la saison sèche. Ce résultat corrobore celui de (9) selon qui la gazelle dama mhorr est essentiellement brouteuse pendant la saison sèche. Elle peut cependant adopter un comportement de paisseur en consommant de l'herbe.

C'est pourquoi la qualifie de brouteur-paisseur (11). Ce comportement est aussi noté chez l'oryx algazelle qui est essentiellement paisseur mais il peut adopter un comportement brouteur si les conditions l'imposent (5).

En ce qui concerne la consommation d'eau, aucun résultat n'a été noté concernant les sources d'approvisionnement en eau pendant la période du suivi écologique. Toutefois la gazelle *dama mhorr* pourrait trouver son complément d'eau dans les feuilles vertes des plantes qu'elle consomme. Selon (12), les feuillages d'espèces ligneuses que la dama broute jouent un rôle particulièrement important de par ses exigences écologiques. Selon Dragesco-Joffé (4), la plupart de l'eau que la dama consomme provient des plantes avec lesquelles elle s'alimente, dont la citrouille sauvage (*Citrullus colocynthis*). À Guembeul, Boulende avait noté que les gazelles dama étaient rencontrées aux pieds des *Euphorbia balsemifera* dont elles arrachent l'écorce pour accéder à la sève afin de satisfaire leur besoin en eau (1).

Elles consomment également les herbes grasses et les feuilles fraîches dans le même but en l'absence de la citrouille sauvage dont la présence n'a pas été notée dans la réserve. Chez l'oryx, tard la nuit et tôt le matin, les animaux recherchent des plantes comme *Indigofera viscosa*, qui sont couvertes de poils glandulaires et produisent une sécrétion hygroscopique contribuant à couvrir les besoins en eau (6). La dama peut ainsi rester pendant un temps assez long sans boire adoptant ainsi le même comportement que l'oryx et les autres ASS. Ce qui fait d'elles des antilopes particulièrement résistantes à la sécheresse. Ce manque de source d'eau pourrait par ailleurs expliquer le fait que, pour minimiser ses pertes en eau, la dama n'est active que très tôt le matin et au crépuscule. Pendant les heures les plus chaudes, elle est au repos sous les arbres ou les buissons qui peuvent lui offrir l'ombrage nécessaire. Ce comportement est aussi noté chez l'oryx (3).

### Fréquence d'abreuvement

Pendant toute la période du suivi, aucun individu n'a été vu en train de boire au niveau des abreuvoirs aménagés dans l'enceinte de l'enclos de réintroduction. Les observations sont effectuées le jour; la gazelle dama mhorrr est une espèce diurne (1, 2).

### Discussion

Pour s'alimenter, la dama mhorrr a une préférence pour le secteur 3. En effet, au niveau de ce secteur, les *dama mhorrr* ont été observées à plusieurs reprises, très tôt le matin entre 6h30 et 7 h, en train de s'alimenter. Elles sont donc actives très tôt le matin. Ce résultat est en phase avec celui de Le Berre (11) selon qui la gazelle dama s'alimente à l'aube. Au niveau de la RSFG, Boulende (1) avait également noté que les gazelles dama s'alimentent beaucoup plus pendant matinée entre 6h30 et 9h30 et pendant l'après-midi entre 16h30 et 19h. Son comportement est ainsi semblable à celui de l'oryx algazelle (*Oryx dammah*) qui est actif tôt le matin et tard le soir, et souvent durant la nuit (2, 3, 12, 7, 8). Le secteur 3 encore appelé le «grand plateau» offre une large gamme d'espèces végétales qui sont appréciées par les mhorrr.

Ces espèces végétales, constituées essentiellement d'arbustes gardent encore leurs feuilles vertes. Les résultats obtenus montrent que la gazelle *dama mhorrr* consomme une gamme variée d'espèces végétales dont elle pait les feuilles. Parmi ces espèces on peut noter *Leptadenia hastata*, *Boscia senegalensis*, *Guiera senegalensis* et les fleurs de *Acacia seyal*, mais consomme également l'herbe sèche. Ces différentes espèces sont citées parmi les nombreuses espèces végétales qui sont consommées par la dama. Dans le Sahel, elle broute des feuilles, des fleurs et des gousses d'*Acacia* spp., de *Balanites aegyptiaca*, de *Maerua crassifolia* et d'autres arbres et arbustes (14).

La *dama mhorrr* adopte ainsi un comportement de brouteur pendant la saison sèche.

Ce résultat corrobore celui de Jebali (9) selon qui la gazelle dama mhorrr est essentiellement brouteuse pendant la saison sèche. Elle peut cependant adopter un comportement de paisseur en consommant de l'herbe. C'est pourquoi Le Berre (11) la qualifie de brouteur-paisseur. Ce comportement est aussi noté chez l'oryx algazelle qui est essentiellement paisseur mais il peut adopter un comportement brouteur si les conditions l'imposent (5). En ce qui concerne la consommation d'eau, aucun résultat n'a été noté concernant les sources d'approvisionnement en eau pendant la période du suivi écologique. Toutefois la gazelle *dama mhorrr* pourrait trouver son complément d'eau dans les feuilles vertes des plantes qu'elle consomme. Selon Newby (12), les feuillages d'espèces ligneuses que la dama broute jouent un rôle particulièrement important de par ses exigences écologiques. Selon Dragesco-Joffé (4), la plupart de l'eau que la dama consomme provient des plantes avec lesquelles elle s'alimente, dont la citrouille sauvage (*Citrullus colocynthis*). À Guembeul, Boulende (1) avait noté que les gazelles dama étaient rencontrées aux pieds des *Euphorbia balsemifera* dont elles arrachent l'écorce pour accéder à la sève afin de satisfaire leur besoin en eau. Elles consomment également les herbes grasses et les feuilles fraîches dans le même but en l'absence de la citrouille sauvage dont la présence n'a pas été notée dans la réserve. Chez l'oryx, tard la nuit et tôt le matin, les animaux recherchent des plantes comme *Indigofera viscosa*, qui sont couvertes de poils glandulaires et produisent une sécrétion hygroscopique contribuant à couvrir les besoins en eau (6). La dama peut ainsi rester pendant un temps assez long sans boire adoptant ainsi le même comportement que l'oryx et les autres ASS. Ce qui fait d'elles des antilopes particulièrement résistantes à la sécheresse. Ce manque de source d'eau pourrait par ailleurs expliquer le fait que, pour minimiser ses pertes en eau, la dama n'est active que très tôt le matin et au crépuscule. Pendant les heures les plus chaudes, elle est au repos sous les arbres ou les buissons qui peuvent lui offrir l'ombrage nécessaire. Ce comportement est aussi noté chez l'oryx (3).

### Conclusion

Cette étude a permis de mieux comprendre le comportement alimentaire de la gazelle *dama mhorrr*. En effet, il a été noté que la gazelle dama consomme des espèces telles que *Leptadenia hastata*, *Boscia senegalensis*, *Guiera senegalensis* et les fleurs de *Acacia seyal*. Elle consomme aussi l'herbe sèche. En ce qui concerne son abreuvement, elle comblerait son besoin en eau à travers les feuilles de ces mêmes espèces qu'elle consomme.



La gazelle dama peut ainsi rester pendant longtemps sans boire; ce qui fait d'elle une antilope parfaitement adaptée à la sécheresse.

La connaissance de son comportement alimentaire pourrait ainsi aider à améliorer sa gestion au sein de l'enclos de réintroduction. Cette étude est une contribution la connaissance de la dynamique des populations de *Gazella dama mhor* dans la réserve du Ferlo Nord au Sénégal.

## Références bibliographiques

1. Boulende T.M., 2011, *Etude de la dynamique et du comportement alimentaire des gazelles, Gazella dama mhor en semi-liberté dans la Réserve spéciale de faune de Gueumbeul au Sénégal*, mémoire de Master 2 en biologie animale, Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
2. Brouin G., 1950, *Notes sur les ongulés du cercle d'Agadez et leur chasse*. Dakar, Mémoires de l'Institut Français d'Afrique Noire, 10, 425–455.
3. Dolan J.M., 1966, Notes on the scimitar-horned oryx *Oryx dammah* (Cretzschmar, 1826), *Int. Zoo Yearbook*, 6, 219–229.
4. Dragesco-Joffé A., 1993, *La vie Sauvage au Sahara*. Lausanne, Delachaux et Niestlé. 240 p.
5. Gilbert T. & Woodfine T., 2005, *La Biologie, l'Élevage et la Conservation de l'Oryx Algazelle (Oryx dammah)*. Marwell Preservation Trust, Department of Conservation and Wildlife Management Colden Common Winchester Hampshire, SO21 1JH, Royaume-Uni, 114p.
6. Gillet H., 1965, L'Oryx algazelle et l'Addax au Tchad, *Rev. écol. (la terre & la vie)*, 3, 257–272.
7. Gordon I.J., 1991, Ungulate re-introductions: the case of the scimitar-horned oryx, *Symp. Zool. Soc. London*, 62, 217–240.
8. Gordon I.J. & Gill J.P., 1993, Reintroduction of scimitar-horned oryx *Oryx dammah* to Bou-Hedma National Park, Tunisia, *Int. Zoo Yearbook*, 32, 69–73.
9. Jebali A., 2008, *Déclin de la faune sahélo-saharienne et tentative de réintroduction d'antilopes dans des habitats restaurés: cas de l'oryx algazelle (Oryx dammah) et de la gazelle dama (Gazella dama mhor) dans la réserve de faune du Ferlo Nord (Sénégal)*. PhD thesis. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
10. Jebali A., 2012, *Etat d'évolution des antilopes sahélo-sahariennes réintroduites au Sénégal: cas de l'oryx algazelle (Oryx dammah) et de la gazelle Mohor (Nanger dama mhor)*. Mission juin-juillet 2012. Rapport technique. EWA conservation Committee. 47p.
11. Le Berre M., 1990, *Faune du Sahara 2. Mammifères*. Lechevalier. R. Chabaud, Paris.
12. Newby J.E., 1974, *The ecological resources of the Ouadi Rimé-Ouadi Achim Faunal Reserve*. Arada, UNDP/FA Wildlife Conservation and Management Project CHD/69/004.
13. RZSS & IUCN Antelope Specialist Group, 2014, *État des lieux sur la Conservation de la Gazelle dama, Nanger dama*. Royal Zoological Society of Scotland, Édimbourg, Royaume-Uni.
14. Scholte P., 2013, Nanger dama *Dama Gazelle*; pp 382-387 in Kingdon J. & Hoffmann M. (eds) *Mammals of Africa: Volume I: Pigs, Hippotamuses, Chevrotain, Giraffes, Deer and Bovids*. Bloomsbury Publishing, London.
15. Berhaut J., 1967, *Flore du Sénégal*, Ed. Clairafrique, Dakar, 485p.
16. Arbonier M., 2000, *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'ouest*. CIRAD-MNHN, 573p.
17. Djigo C.A.T., 2013, Rôle des aires protégées dans la conservation des grands mammifères au Sénégal. Essai (8515) présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, 48p.

S.M. Sarr, Sénégalais, PhD, Maître assistant/CAMES, Université de Thiès, l'Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale ex ENCR, Département Productions Forestières, Bambey, Sénégal.

E. Faye, Sénégalais, PhD, Maître assistant/CAMES, Directeur, Université de Thiès, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale ex ENCR, Bambey, Sénégal.

E.A. Diatta, Sénégalais, Ingénieur, Université de Thiès, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale ex ENCR, Bambey, Sénégal.

C.A.T. Djigo, Sénégalais, Docteur vétérinaire, Conservateur, Direction des Parcs Nationaux du Sénégal, Réserve de Faune du Ferlo Nord, Dakar, Sénégal.

## Etude rétrospective des paramètres de reproduction du taurin Kouri à la station de Sayam au Niger

K.I. Adamou<sup>1</sup>, H. Mouloul<sup>2</sup>, M. Issa<sup>3</sup>, A.A. Boubacar<sup>2</sup> & H. Marichatou<sup>3</sup>

**Keywords:** Kouri Breed- Reproduction parameter- Factors of variation- Niger

### Résumé

*Les données de reproduction de 292 vaches de race Kouri, collectées de 1994 à 2011 ont été étudiées au Centre Secondaire de Multiplication du Bétail de Sayam au Niger. De même, les paramètres liés à la cyclicité ont été étudiés sur un troupeau de 16 vaches vides, après un an de suivi des chaleurs apparentes. L'objectif de l'étude est de contribuer à la caractérisation du bovin Kouri sur la base de ses paramètres de reproduction. Les résultats suivants ont été obtenus: le poids à la naissance est de 26,1±4,4 kg; l'âge moyen au premier vêlage 46,4±9,1mois; l'intervalle moyen vêlage-vêlage 19,4±5,7 mois; le délai post-partum 4,0±1,8 mois; la durée du cycle 21,4±3,6 jours et la durée de l'œstrus 28,6±15,7 heures. Le rang de vêlage et l'année de naissance des vaches avaient un effet significatif sur les performances de reproduction. La saison de vêlage avait un effet significatif ( $p<0,05$ ) sur le délai post-partum et la durée du cycle. Le poids à la naissance élevé et les aptitudes de puberté précoce observées chez certains animaux, peuvent être exploitées pour améliorer les performances zootechniques de la race Kouri.*

### Summary

#### Retrospective Study of Reproductive Parameters of Kouri Taurine Cattle at the Sayam Station in Niger

*The reproduction data of 292 Kouri cows, collected from 1994 to 2011, were studied at the Secondary Center of Multiplication of Sayam Cattle in Niger. Similarly, cyclicity related parameters were studied in a herd of 16 empty cows after one year of apparent heat monitoring. The objective of the study is to contribute to the characterization of the Kouri cattle on the basis of its reproductive parameters. The following results were obtained: Birth weight was 26.1±4.4 kg; Mean age at first calving 46.4±9.1 months; Mean calving-calving interval 19.4±5.7 months; Postpartum delay 4.0±1.8 months; Cycle duration 21.4±3.6 days, Oestrus duration 28.6±15.7 hours. Cows' calving rank and birth' year had a significant effect on the reproductive performance. The calving season had a significant effect ( $p<0.05$ ) on the postpartum period and on the duration of the cycle. The high birth weight and the early puberty abilities observed in some animals can be exploited to improve zootechnical performances of the Kouri breed.*

<sup>1</sup>Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, Niamey, Niger

<sup>2</sup>Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences Agronomiques, Département Productions Animales, Niamey, Niger

<sup>3</sup>Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département Productions Animales, Niamey, Niger

## Introduction

Les données concernant les performances zootechniques et la physiologie de la reproduction des bovins sont généralement bien établies sur la plupart des races. Il n'en est pas de même chez les races nigériennes pour lesquelles, seules les Goudali largement élevées au Nigeria et l'Azawak sélectionnée au Niger ont fait l'objet d'études poussées et leurs standards sont connus (17). Comparée aux bovins zébus, les performances de reproduction de la kouri ont rarement fait objet d'une attention particulière, à part quelques études un peu plus sur le plan de caractérisation ethnologique et celle récemment effectuée par Tellah *et al.* (30) sur un petit nombre de données. Or, la connaissance de ces constantes reproductives est indispensable à plusieurs égards, dont particulièrement en gestion rationnelle du troupeau et dans la mise en œuvre des techniques nouvelles de reproduction.

La kouri est un taurin unique en son genre, originaire du bassin du lac Tchad, de grand format et de cornage massif typique de la race (5, 28). Elle est actuellement menacée de disparition, suite à la destruction de son biotope original constitué des îles et des polders du lac (28).

L'objectif de cette étude est de contribuer à la caractérisation de la kouri sur la base de ses paramètres de reproduction et d'élucider les facteurs impliqués dans de variations éventuelles de performances.

A titre d'une première contribution, l'étude présente quelques paramètres liés au cycle sexuel, définis à l'aide de l'observation des chaleurs apparentes.

## Matériel et méthodes

### Le site d'étude

L'étude a été menée au Centre Secondaire de Multiplication du Bétail (MSMB) de Sayam, du 6 septembre 2015 au 30 Aout 2016. Le CSMB de Sayam est situé à Diffa (Niger) dans la zone du bassin de Lac Tchad entre 13°84 de latitude Nord et 12°69 de longitude Est. Le climat est de type Sahélien dans la partie Sud et Saharo-sahélien au Nord (8). Il est caractérisé par une courte saison humide et une longue saison sèche. La pluviométrie varie du sud vers le nord de 400 mm à 120 mm (Figure 1).

### Conduite du troupeau et suivi des animaux

Le mode d'élevage adopté à la station de Sayam était de type extensif. Les animaux sont conduits au pâturage sur les parcours des herbacées vivaces et des graminées annuelles. En saison sèche chaude, une complémentation de 2 kg de tourteaux ou de son était assurée aux animaux.

La reproduction est conduite par monte naturelle qui est rarement surveillée. Le suivi sanitaire est basé sur la prévention avec des traitements spécifiques contre des maladies occasionnelles. Le suivi individuel consistait à l'enregistrement, pour chaque vache, des événements démographiques de sa carrière de vie.

### Collecte des données

Les paramètres de reproduction sont obtenus après une étude rétrospective sur un échantillon de 292 vaches nées à la station et suivies pendant la période de 1994 à 2011. Les paramètres de la cyclicité sont obtenus après un suivi régulier d'un troupeau de 16 vaches vides. Le constat du non gestation a été réalisé par échographie avant le démarrage du contrôle des chaleurs. Deux taurillons munis d'un tablier chacun, sont chargés à tour de rôle, du contrôle de l'œstrus. Les observations sont effectuées chaque jour à partir de 7h00 le matin et 17h00 le soir avec une durée d'une heure. L'immobilisation de la femelle pour la monte du taureau muni du tablier est retenue comme signe principale de l'œstrus. Le début et la fin de chaque chaleur sont notés. D'autre part, soixante-dix vaches sont mises en observation après leur mis bas pour noter le moment de la première saillie post-partum. Ainsi, les paramètres étudiés et leurs méthodes de détermination sont:

- L'âge au premier vêlage (A1erV): date du 1<sup>er</sup> vêlage - date de naissance de la vache;
- L'intervalle vêlage-vêlage (IVV): différence entre les dates de deux vêlages successifs;
- Le poids à la naissance des veaux (PN): le veau est pesé à l'aide d'une bascule adaptée pour les petits animaux;
- Durée du cycle (DC): différence entre les dates de deux débuts de manifestation de chaleurs consécutives, le début de l'œstrus étant marqué par le chevauchement;
- Durée de l'œstrus (DO): nombre d'heures entre la première observation de chevauchement et l'observation de non chevauchement;
- Durée du délai-post-partum (DPP): date de l'observation de la première saillie - date du dernier vêlage.

### Analyses statistiques

Les données ont été soumises à l'ANOVA à deux facteurs suivant la procédure GLM de Minitab et les comparaisons multiples ont été effectuées par le test de Tukey. Les facteurs fixes introduits dans les modèles comprennent le sexe du veau, le rang de vêlage de la vache, la saison de vêlage et la saison de naissance de la vache.

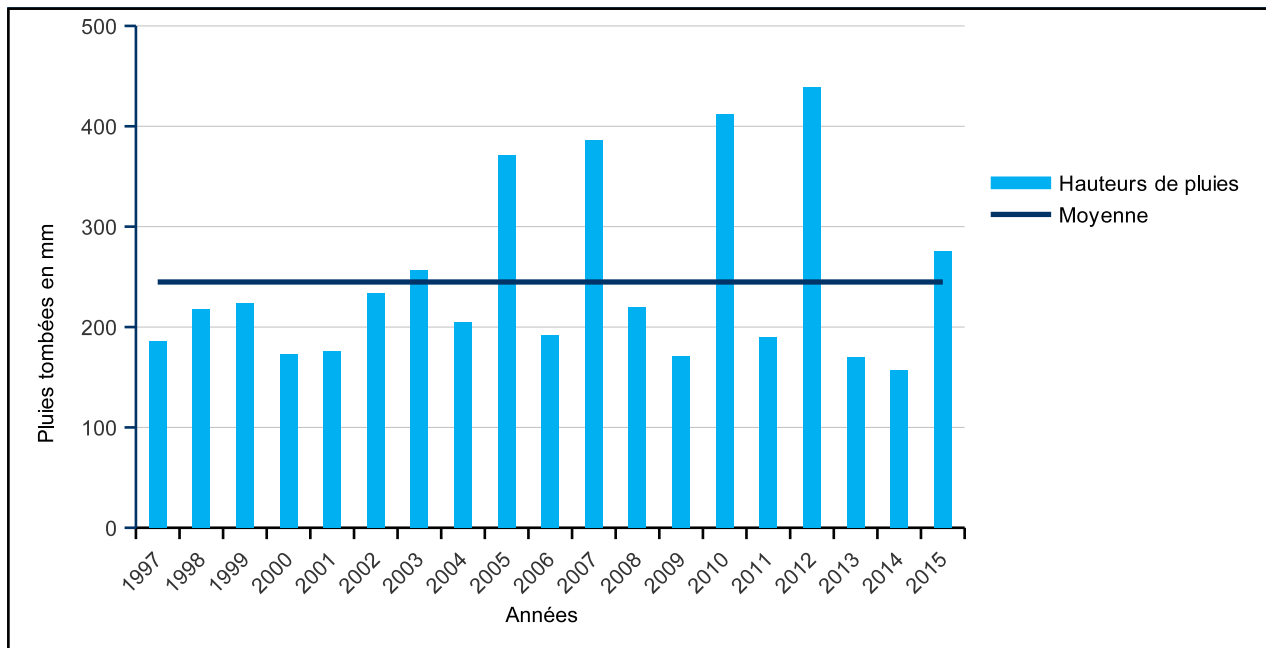


Figure 1: Variation interannuelle de la pluviométrie à la station de Sayam.

## Résultats

### Distribution des paramètres de reproduction

On note une distribution normale de l'âge au premier vêlage (A1erV), du poids à la naissance (PN) et du délai post-partum (DPP) avec la représentation de toutes les classes librement définies (Figure 2). Cinquante quatre pourcent des vaches de l'échantillon ont un A1erV compris entre 39 à 50 mois avec 13% et 14% repartis respectivement dans la classe inférieure de 30 à 36 mois et supérieur de 60 à 69 mois (Figure 2a), ce qui correspond à des vaches sexuellement très précoces (13%) mais aussi à des vaches ayant une activité sexuelle tardive (14%). Concernant le poids à la naissance, 53% des veaux ont un poids à la naissance reparti dans la fourchette de 23-29 kg (Figure 2b).

L'intervalle vêlage-vêlage a varié de 16 à 22 mois pour 57% des vêlages (Figure 2c). Cependant, il existe des IVV courts (10 à 14 mois soit 13%) mais aussi des IVV excessifs (24 à 32 mois, soit 23%). Enfin, la distribution du délai post-partum (Figure 2d) reflète des DPP très courts de 1 à 3 mois (32%) et des DPP long supérieurs à 7 mois (7%).

### Le poids à la naissance

Le sexe avait un effet hautement significatif sur le poids à la naissance ( $p < 0,001$ ), les veaux sont plus lourds que les vaches (Tableau 1). De même, le poids à la naissance était lié au rang de vêlage de la mère ( $p=0,011$ ): les veaux issus des primipares et ceux des vaches de rang élevé avaient le poids à la naissance le plus faible (Tableau 1). Le poids le plus élevé est observé chez les mises-bas des vaches de rang 5.

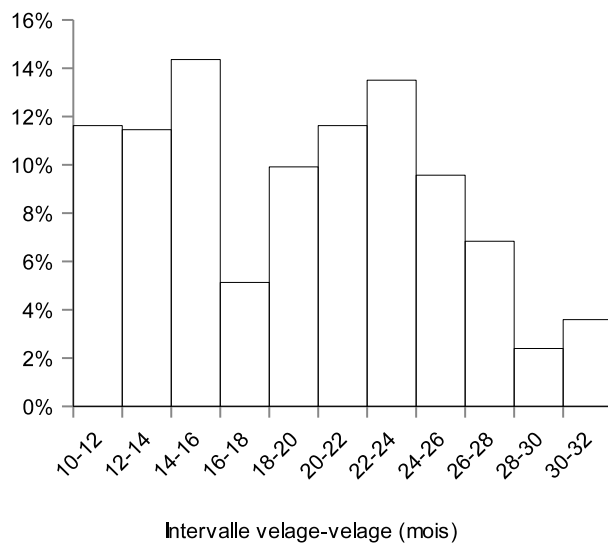
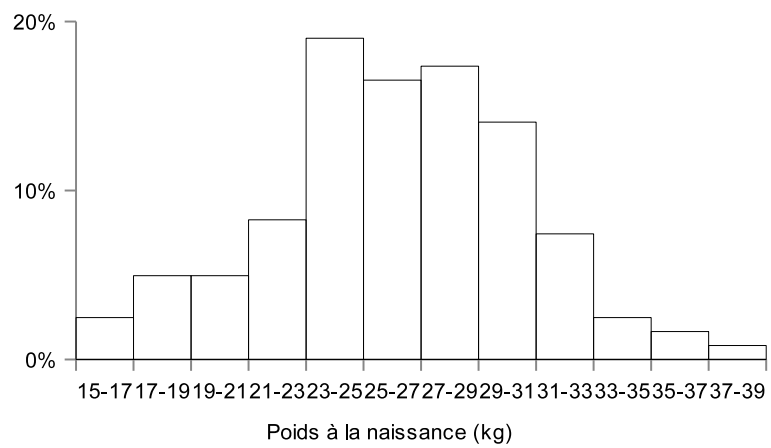
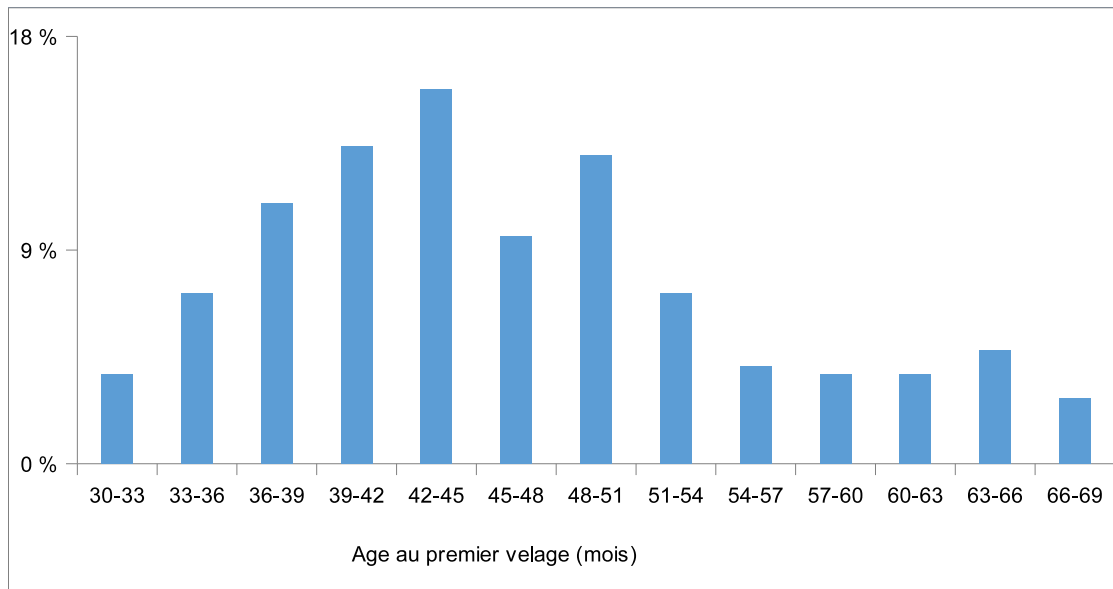
### Age au premier vêlage (A1er V)

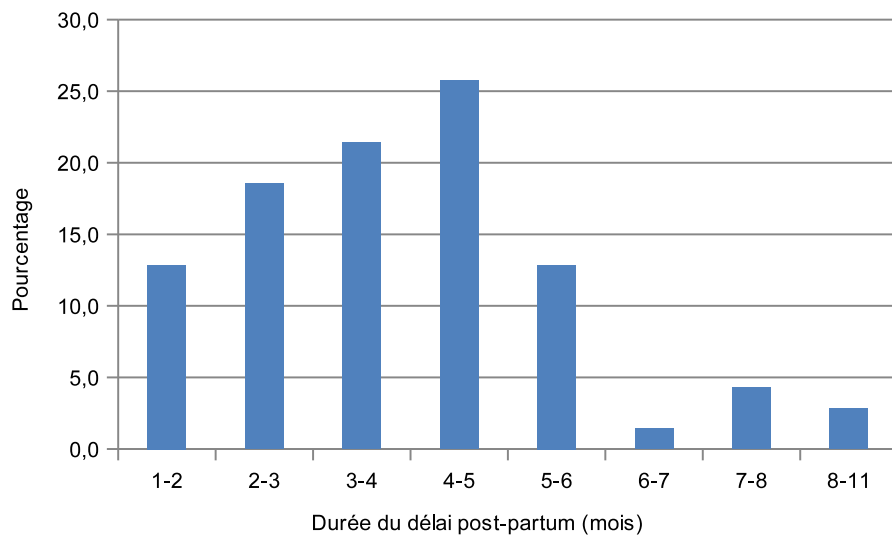
L'année de naissance de la vache a une influence hautement significative ( $p < 0,01$ ) sur l'âge au premier vêlage (Tableau 2). Entre 1994 et 2011, on observe une augmentation globale de la précocité sexuelle. En effet, l'A1erV passe d'une moyenne de 52 mois pour la période 1994-1998 à une moyenne de 43 mois puis 41 mois respectivement pour la période 1999-2003 et les quatre dernières années, ce qui correspond à 10 mois de réduction. Par ailleurs, on constate une augmentation assez marquée de l'A1erV pour les vaches nées en 2004, 2006 et 2007 (Tableau 2). Les vaches nées en saison pluvieuse avaient un retard d'un mois pour leurs premières mises-bas par rapport à celles nées en saisons sèches (Tableau 2). Cependant, au seuil de 5%, ces différences ne sont pas significatives.

### Intervalle vêlage-vêlage (IVV)

Au seuil de 5% (Tableau 3), les jeunes vaches (1er et 2e IVV) et les multipares de rang élevé (5e et 6e IVV) sont celles qui mettent plus de temps à vêler ( $p=0,02$ ). La saison du vêlage précédent n'a aucune influence significative ( $P > 0,05$ ) sur l'intervalle vêlages vêlage, bien que les variations observées montrent que les vaches qui ont mis bas en saison de pluie ou en saison sèche froide ont un mois de moins sur cet intervalle par rapport aux autres (Tableau 3).







2d

**Figure 2:** Distribution des paramètres de reproduction de la Kouri.

**Tableau 1**  
Moyennes ajustées ( $\pm$ ET) du poids à la naissance.

Facteurs	n	Poids $\pm$ ET(kg)	ES
Moyenne générale	121	26,1 $\pm$ 4,4	0,4
Sexe du veau		**	
veau	71	27,9 $\pm$ 4,0 <sup>a</sup>	0,5
vèle	50	23,6 $\pm$ 3,7 <sup>b</sup>	0,5
Rang de la vache		*	
Rang1	19	24,3 $\pm$ 3,1 <sup>ad</sup>	0,7
Rang2	15	26,7 $\pm$ 1,9 <sup>ad</sup>	0,5
Rang3	29	25,8 $\pm$ 4,5 <sup>ad</sup>	0,8
Rang4	23	27,3 $\pm$ 5,2 <sup>ad</sup>	1,1
Rang5	11	28,8 $\pm$ 4,6 <sup>b</sup>	1,4
Rang6	12	27,4 $\pm$ 5,2 <sup>ad</sup>	1,5
Rang7	12	23,8 $\pm$ 3,7 <sup>cd</sup>	1,1

\*\*p <0,01; \*p = 0,011. Les moyennes ne partageant aucune lettre sont différentes au seuil de 5%. n: effectif ; ES: Erreur standard.

**Tableau 2**  
Moyennes ajustées ( $\pm$ ET) de l'âge au premier vèlage.

Facteurs	n	A1 <sup>er</sup> V $\pm$ ET (mois)	ES
Moyenne générale	292	46,4 $\pm$ 9,1	0,5
Saison de naissance		NS	
Saison des pluies	103	47,6 $\pm$ 10,1 <sup>a</sup>	0,8
Saison sèche froide	106	46,6 $\pm$ 8,7 <sup>a</sup>	0,8
Saison sèche chaude	83	46,6 $\pm$ 8,0 <sup>a</sup>	0,9
Année		**	
1994	21	56,5 $\pm$ 10,12 <sup>a</sup>	1,8
1996	19	53,4 $\pm$ 12,9 <sup>a</sup>	1,8
1997	23	50,0 $\pm$ 8,8 <sup>abc</sup>	1,7
1998	17	48,6 $\pm$ 7,0 <sup>abc</sup>	1,9
1999	23	42,8 $\pm$ 5,9 <sup>bc</sup>	1,7
2000	36	43,6 $\pm$ 7,0 <sup>bc</sup>	1,3
2001	30	41,8 $\pm$ 7,7 <sup>bc</sup>	1,5
2002	38	43,8 $\pm$ 6,0 <sup>bc</sup>	1,3
2003	12	43,0 $\pm$ 5,7 <sup>bc</sup>	1,3
2004	13	47,8 $\pm$ 6,5 <sup>abc</sup>	1,2
2005	11	44,0 $\pm$ 5,7 <sup>bc</sup>	1,4
2006	17	49,2 $\pm$ 12,3 <sup>abc</sup>	2
2007	11	51,0 $\pm$ 7,1 <sup>ab</sup>	2,4
2008	21	41,4 $\pm$ 5,1 <sup>c</sup>	1,7

NS: P = 0,594. \*\* P < 0,01. pour chaque facteur, les moyennes ne partageant aucune lettre sont différentes au seuil de 5%. n: effectif; ES: Erreur standard.

**Tableau 3**  
Moyennes ajustées ( $\pm$ ET) de l'intervalle vèlage-vèlage.

Facteurs	n	IVV $\pm$ ET (mois)	ES
Moyenne générale	585	19,4 $\pm$ 5,7	0,2
Saison du vèlage		NS	
Saison des pluies	194	19,2 $\pm$ 5,7 <sup>a</sup>	0,4
Saison sèche froide	178	19,1 $\pm$ 5,0 <sup>a</sup>	0,4
Saison sèche chaude	213	20,0 $\pm$ 6,1 <sup>a</sup>	0,4
Numéro des IVV		*	
IVV1	217	19,8 $\pm$ 5,7 <sup>a</sup>	0,4
IVV2	167	19,7 $\pm$ 5,6 <sup>a</sup>	0,4
IVV3	102	18,3 $\pm$ 5,5 <sup>b</sup>	0,5
IVV4	64	17,5 $\pm$ 5,2 <sup>b</sup>	0,6
IVV5	27	20,8 $\pm$ 6,0 <sup>a</sup>	1,1
IVV6	8	20,3 $\pm$ 7,5 <sup>a</sup>	2,7

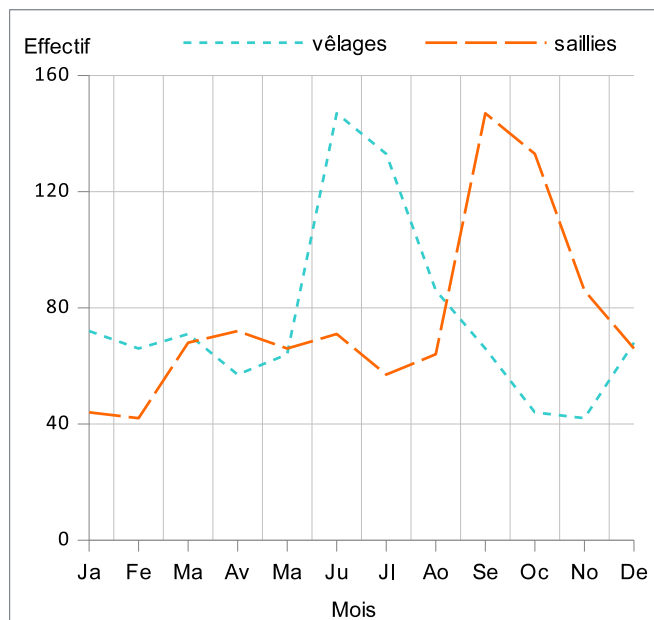
\*P= 0,022; NS P= 0,199. Pour chaque facteur, les moyennes ne partageant aucune lettre sont différentes au seuil de 5%. n: effectif; ES: Erreur standard.

### Distribution des vèlages et des saillies fécondantes

La répartition des vèlages et des saillies fécondantes n'est pas régulière, et se dessine par un pic aux mois de juillet et septembre respectivement (Figure 3). A l'installation de la saison des pluies en juillet, le nombre de saillie était le plus faible, puis augmente rapidement pendant toute la période où le fourrage vert est abondant. A partir de novembre, le nombre de saillie chute de façon linéaire jusqu'en fin de saison sèche froide. Au cours de cette période, l'alimentation constituée que de fourrages secs, devient de plus en plus limitée et en fin de la saison, le nombre de saillie atteint le seuil le plus bas de l'année (Figure 3). A partir de mars, avec l'apport de la complémentation, on remarque une reprise des saillies.

### Le délai post-partum de reprise de l'activité ovarienne

Le délai post-partum (DPP) a varié de 1,2 à 10,5 mois avec une moyenne de  $4,0 \pm 1,8$  mois. Cette variation était liée à la saison de vèlages ( $p=0,03$ ): les vaches ayant mis bas en saison de pluie avaient le délai post-partum le plus court alors qu'un vèlage en saison sèche l'allonge (Tableau 4). Les primipares et les vaches de rang élevé avaient un délai post-partum plus élevé, mais au seuil de 5%, les différences ne sont pas significatives ( $p=0,062$ ).



**Figure 3:** Distribution des saillies et des vèlages selon les mois de l'année.

**Tableau 4**  
Moyennes ajustées ( $\pm$ ET) du délai post-partum (mois).

Facteurs	n	DPP $\pm$ ET (mois)	ES
Moyenne générale	70	$4,0 \pm 1,8$	0,2
Saison de vèlage		*	
Saison des pluies	17	$2,9 \pm 1,4^a$	0,3
Saison sèche froide	34	$4,1 \pm 1,2^{ab}$	0,2
Saison sèche chaude	19	$4,8 \pm 2,6^b$	0,6
Rang de vèlage		NS	
Rang1	18	$5,0 \pm 2,4^a$	0,6
Rang2	10	$2,7 \pm 1,4^a$	0,4
Rang3	8	$3,0 \pm 1,1^a$	0,4
Rang4	13	$4,0 \pm 1,1^a$	0,3
Rang5	10	$3,5 \pm 1,3^a$	0,4
Rang6	6	$4,0 \pm 0,9^a$	0,4
Rang7	5	$5,4 \pm 2,2^a$	1

\*  $P = 0,030$ ;  $P = 0,062$ . les moyennes ne partageant aucune lettre sont différentes au seuil de 5%. n: effectif; ES: Erreur standard

### Durée du cycle sexuel et de l'œstrus

La figure 4b montre que les chaleurs peuvent être extériorisées pendant 10 à 58 heures consécutives, les durées 24h et 10h étant de loin les plus courantes. La durée du cycle quant à elle, peut varier de 16 à 29 jours. Les durées 18 et 20 jours sont les plus représentées (Figure 4a).

Au total 56 cycles ont été observés dans le troupeau pendant la durée de l'étude dont 29 cycles normaux, 20 cycles longs et 7 cycles courts (Tableau 5). La saison d'observation a eu un effet significatif ( $p=0,016$ ) sur la durée du cycle: les cycles étaient longs en saison des pluies et courts pendant les autres saisons. La moyenne des durées de toutes les chaleurs observées dans le troupeau s'élève à  $28,6 \pm 15,7$  heures. Bien que l'effet ne soit pas significatif ( $p=0,084$ ), il faut noter une tendance à des chaleurs plus longues en saison des pluies et des chaleurs plus courtes en saison sèche froide (Tableau 5).



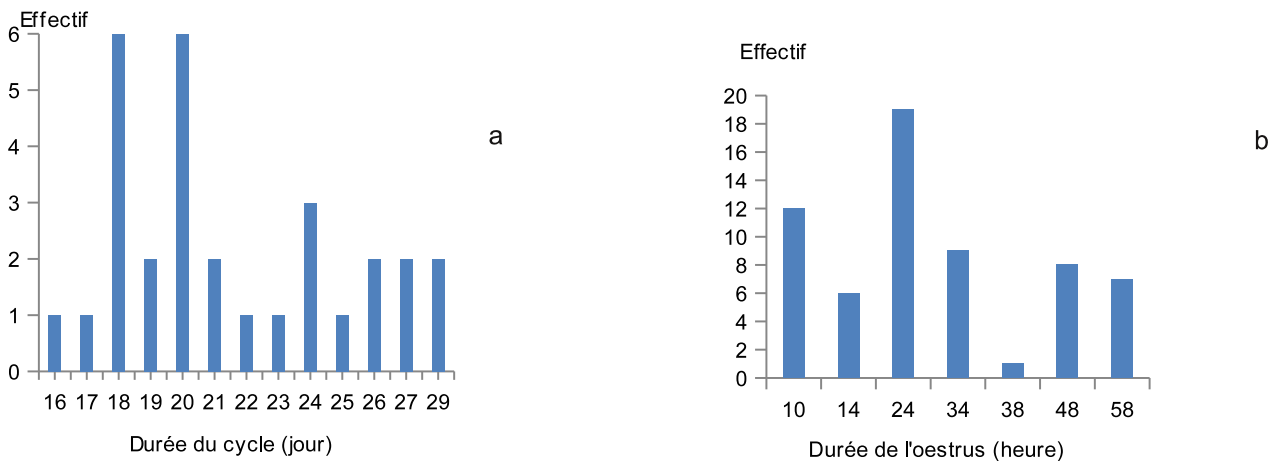


Figure 4: Distribution de la durée du cycle (a) et de la durée de l'œstrus (b).

Tableau 5

Moyennes ( $\pm$ ET) de la durée du cycle sexuel (jours) et de l'œstrus (heures).

Facteurs	Cycles normaux*		Cycle long		Cycle court		Oestrus**	
	n	Durée $\pm$ ET	n	Durée $\pm$ ET	n	Durée $\pm$ ET	n	Durée $\pm$ ET
Saison-pluies	6	19,7 $\pm$ 2,9 <sup>a</sup>	4	41,8 $\pm$ 5,0	3	11,0 $\pm$ 4,2	16	33,8 $\pm$ 17,3 <sup>a</sup>
Saison-froide	11	19,9 $\pm$ 2,5 <sup>a</sup>	4	41,3 $\pm$ 13,4	2	14,5 $\pm$ 0,7	21	21,5 $\pm$ 9,3 <sup>a</sup>
Saison-chaude	12	23,6 $\pm$ 3,8 <sup>b</sup>	12	44,5 $\pm$ 9,7	2	13,7 $\pm$ 2,3	28	30,3 $\pm$ 17,1 <sup>a</sup>
Moyenne	29	21,4 $\pm$ 3,6	20	43,3 $\pm$ 9,4	7	13,1 $\pm$ 2,7	65	28,6 $\pm$ 15,7

\* P= 0,016 \*\*P = 0,084. Les moyennes ne partageant aucune lettre sont différentes au seuil de 5%. n: effectif.

## Discussion

### Les paramètres de reproduction

Il est généralement admis que le poids à la naissance varie en fonction des races, les valeurs extrêmes allant de 12 à 15 kg chez les races taurines de l'Afrique de l'ouest (2, 31), et de 22 à 24 kg chez diverses races zébus locales (24). La kouri (15 à 38 kg) se place donc parmi les races ayant le poids à la naissance le plus élevé, à côté de certains croisés comme les Piémontais x Azawak qui naissent avec un poids variant entre 34 et 39 kg (13).

Le poids à la naissance a des applications pratiques très variées. En insémination artificielle par exemple, sa connaissance est un préalable impératif pour prévenir les dangers de dystocies fœtales provoquées par des veaux trop lourds. Une supériorité de poids à la naissance par rapport à la plupart des races locales offre dès lors à la kouri, des possibilités de croisement sans risque avec les races exotiques à viande et à lait. Cet avantage pourrait permettre d'atteindre un progrès génétique largement supérieur à ceux observés dans les programmes d'amélioration des performances zootechniques de nos races locales (13).

Les facteurs qui influent le poids à la naissance comprennent ici le sexe ( $p=0,011$ ) et le rang de vêlage ( $p<0,001$ ).

Pour le sexe, la différence de poids entre les veaux et les vaches est classique, et est retrouvée par Tellah *et al.* (13) pour la même race. Angel et Poly (4) imputent cette variation à des différences dans la durée de la gestation.

Les résultats sur l'effet du rang de vêlage des mères, comparés aux études antérieures (15, 24), montrent une concordance: les veaux issus des primipares sont moins lourds à la naissance car les génisses n'ont pas encore atteint un développement complet, ce qui crée une compétition entre leur propre croissance et celle du fœtus (16); les vaches âgées ayant cumulé plusieurs vêlages sont aussi dans certains cas épuisées pour donner des veaux lourds.

L'âge au premier vêlage varie aussi beaucoup selon les observations: de 40 à 47 mois chez les taurins (3, 14, 27, 29), de 37 à 55 mois chez les zébus (1, 23, 27). Chez la kouri, la moyenne 46,4 $\pm$ 9,1 mois est associée à une grande variation individuelle qui la rapproche autant des races taurines précoces qu'aux races zébus à activité sexuelle tardive. Tellah *et al.* (30) rapportent une moyenne de 41,43 $\pm$ 0,7 mois pour la même race, ce qui laisse penser à l'existence d'une grande hétérogénéité de leurs populations.

L'âge au premier vêlage dépend fortement de l'année de naissance des vaches ( $p<0,01$ ); par contre la saison n'a pas d'effet ( $p>0,05$ ).

Une année de naissance avec de meilleures conditions alimentaires et climatiques pourrait bien augmenter considérablement la précocité sexuelle. Les moyennes respectives de 43 mois et 41 mois, observés pour les périodes 1999 à 2003 et 2008 à 2011, sont similaires à celle rapporté par Tellah *et al.* (30) sur la même race ( $41,43 \pm 0,7$  mois) et pendant la même période. Le retard sexuel (52 mois) des vaches nées entre 1994 à 1998 et de celles des années 2006 et 2007 pourrait être lié à une réponse adaptative face aux conditions climatiques défavorables de leur milieu pouvant occasionner un fort déséquilibre nutritionnel de leurs mères. Le centre de Sayam a connu en effet, de faible pluviométrie et de sécheresses récurrentes. Le disponible alimentaire, basé essentiellement sur les pâturages naturels, est donc soumis constamment à la variabilité interannuelle de la pluviométrie. Enfin, les faibles performances observées pourraient s'expliquer aussi par les effets des températures élevées du milieu qui entraînent chez la vache une maturité sexuelle retardée (21). L'âge au premier vêlage de 47 mois rapportés par Tellah *et al.* (29) en zone périurbaine de N'Djaména serait un témoin de toute la rigueur que pourrait imposer le climat Sahélien.

L'intervalle vêlage-vêlage (IVV) moyen obtenu dans le présent travail ( $19,5 \pm 5,7$  mois) est supérieur à ceux rapporté pour les taurins de l'Afrique de l'ouest (3, 14, 27). La différence est également perceptible comparé à la plus part des zébus, exception faite pour quelques races Goudali et M'bororo chez lesquelles, des performances similaires ont été observées (23, 27, 30).

La kouri présente, cependant, une grande variabilité de l'IVV qui lui confère un réel avantage comparatif en termes de sélection à mener. Dans l'échantillon, la proportion des vaches ayant 12 mois de l'IVV, tel que rapporté dans certaines données bibliographiques (5, 28), est très faible (10%). La proportion des IVV excessifs supérieurs à deux ans est aussi importante (23%).

Ces faibles performances observées pourraient être expliquées, en grande partie, par une insuffisance alimentaire. La réalité zootechnique observée à la station de Sayam présente en effet, des caractéristiques conformes à celles de l'élevage extensif pratiqué dans les pays subsahariens. Dans la région du Lac-Tchad ou les pâturages herbacés vivaces et les graminées annuelles des îles du bord du lac Tchad offrent une alimentation plus équilibrée, Tellah *et al.* (30) ont rapporté un IVV réduit à  $15,91 \pm 3,95$  mois chez la kouri.

Les variations de l'IVV en fonction de la parité mise en évidence dans cette étude ( $p=0,022$ ) concordent avec celles observée par Coutard (9) chez quelques races européennes: les vaches les plus jeunes et les plus vieilles ont l'IVV plus long. Ce résultat peut s'expliquer par une fréquence plus grande des mises-bas difficiles chez les primipares suivi d'un délai post-partum prolongé. L'influence de la période du vêlage précédent sur la maîtrise de l'IVV de la kouri corrobore également les observations de Coutard (9) même si cet effet n'a pas été significatif ( $p= 0,199$ ): les IVV les plus courts sont obtenus pour des vêlages en saison des pluies et en saison sèche froide où l'alimentation est disponible et les conditions climatiques atténuantes; les vêlages en saison sèche chaude sont les plus pénalisants pour la kouri.

#### Paramètres liés à la cyclicité

Il a été possible de mettre en évidence une tendance de saisonnalité corolaire à une période d'intense activité des saillies centrée sur le mois de septembre. Certes, le facteur le plus souvent évoqué pour rendre compte d'un rythme circannuel de reproduction est la photopériode (6). A Sayam, la différence d'heure entre le jour le plus long et le jour le plus court ne dépassant pas 2 heures d'une part, et d'autre part, la concordance parfaite entre la distribution des vêlages et les variations des ressources alimentaires interdit tout rapprochement avec une saisonnalité tel que observée chez les petits ruminants en zone tempérée. La saisonnalité observée ici semble être essentiellement d'ordre alimentaire.

La durée de chaleur rapportée par les différents auteurs est très variable, en particulier selon la race et la méthodologie employée. Les valeurs moyennes sont de 11 h à 21,6 h chez le Zébu azawak et le Goudali (19, 25, 32), et de 9h à 12h chez les taurins Baoulé et Ndama (22). La moyenne observée dans la présente étude, concorde donc à celles relevées chez la plupart des races. La durée des chaleurs excessives quant à elle, peut être en rapport aux conditions expérimentales, telles que la mise en enclos des vaches et leur séparation permanente d'avec le mâle; les relations sociales se trouvent en effet modifiées. Dans les conditions naturelles non expérimentales, il est donc probable que leur durée soit inférieure. En effet, la durée des chaleurs est réduite à la fois par la présence continue du mâle et par le fait de laisser les animaux en liberté (21).

La durée moyenne de  $21,4 \pm 3,6$  jour du cycle de la kouri est similaire à celles qui sont fréquemment citées: 19,8 jours chez les vaches de race sénégalaise (20), 22,1 jours chez la femelle zébu (18) et 21 jours chez la vache Baoulé (7). Les cycles irréguliers longs de 41 à 43 jours peuvent être les conséquences d'un cycle masqué, non détecté, du fait de l'inefficacité de la méthode de détection utilisée. Ainsi, les femelles à cycles longs ont eu probablement des chaleurs silencieuses ou des chaleurs très fugaces intervenues en des moments inopportuns (nuit) échappant ainsi à l'observation. Les corps jaunes qui s'installent après ces chaleurs non observées empêchent donc le retour de l'œstrus avant leur lyse physiologique.

Les cycles irréguliers courts qui sont plus fréquents au début du post-partum sont aussi la conséquence probable d'une perturbation des sécrétions hormonales ou de situations pathologiques. Le suivi régulier par échographie de l'ovaire ou l'étude du profil endocrinien peuvent permettre de mieux définir ces phénomènes.

Les variations saisonnières n'ont pas affecté la durée de l'œstrus ( $p=0,084$ ). Seule la durée du cycle est influencée par la saison ( $p=0,016$ ). Les races locales endémiques de l'Afrique ne présentent pas en général de variations dans la durée du cycle (7, 11). Les variations que nous avons observées chez la kouri seraient donc probablement, les conséquences d'une part des variations des conditions environnementales et d'autres part des problèmes de détection de l'œstrus.

Après le vêlage, la vache est en repos sexuel jusqu'à l'involution totale de l'utérus. Le délai post-partum moyen pour la reprise du cycle sexuel de la kouri (observation du premier œstrus détecté par le taureau), est de 4 mois, soit le double de la moyenne reconnue pour nos races locales (26).

D'autre part, l'absence d'une différence significative ( $p=0,084$ ) entre les primipares et les vaches de rang de vêlage plus élevé, a été également notée par Gyawu (12). Les variations saisonnières de la reprise post-partum du cycle observées ici, sont à rapprocher de celle relevées par Djabakou *et al.* (10): Les vaches reprennent leur activité ovarienne plus rapidement en début de saison de pluie qu'en saison sèche. L'influence prépondérante de l'alimentation est l'hypothèse la plus probable pour expliquer cette variation.

### Conclusion

Les paramètres de reproduction présentés dans ce travail sont tributaires du disponible alimentaire. Les variations de performances qui en ont résulté montrent clairement que la réputation de précocité et le record d'intervalle vêlage-vêlage classique d'un an, longtemps reconnue chez la Kouri, ne correspondent qu'à des conditions d'élevage favorable sous climat clément. Avec un poids à la naissance élevé, ces aptitudes pourront faire de la kouri, un bovin de choix pour répondre aux enjeux des productions animales au Niger. Cependant, d'autres paramètres élémentaires n'ont pas été envisagés au cours de ce travail en particulier la gestion de la reproduction (effectif des femelles reproductrices par géniteur), les mortalités embryonnaires, les avortements et le comportement sexuel du mâle, et qui peuvent pourtant affecter les performances de reproduction.

Enfin, les paramètres liés à la cyclicité devraient pouvoir être complétés par des expérimentations basées sur l'exploration fonctionnelle et endocrinologique de l'ovaire afin de mieux définir les différentes anomalies physiologique de l'activité cyclique de l'ovaire.

## Références bibliographiques

1. Achard E. & Chanono M., 1997, «Mortalité et performances de reproduction chez le zébu Azaouak à la station de Toukounous, Niger (1986-1992)», *Rev. Élev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **50**, 325-333.
2. Adanlehoussi A., Bassowa H., Defly A., Djabakou K., Adomefa K. & Kouagou N.T., 2003, Les performances de la race taurine Somba en milieu paysan, *Tropicultura*, **21**, 135-141.
3. Alkoiret T.I. & Gbangboche A.B., 2005, «Fécondité de la vache Lagunaire au Bénin: Age au premier vêlage et intervalle entre vêlages», *Rev. Élev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **58**, 61-68.
4. Angel H. & Poly J., 1956, Facteurs affectant le poids à la naissance des veaux, *Ann. Zootech.*, **1**, 81.
5. Bourzat D., Idriss A. & Zeuh V., 1992, La race Kouri une population bovine en danger d'absorption, *Bull. Inf. Ressour. Génét. Anim.*, **9**, 13-21.
6. Chemineau P., Malpaux B., Brillard J.P. & Fostier A., 2009, Saisonnalité de la reproduction et de la production chez les poissons, oiseaux et mammifères d'élevage, *INRA Prod. Anim.*, **22**, 77-90.
7. Chicoteau P., Coulibaly M., Bassinga A. & Cloe C., 1990, Variations saisonnières de la fonction sexuelle des vaches Baoulé au Burkina Faso, *Rev. Elev. Vét. Pays Trop.*, **43**, 387-397.
8. CIRAD, 1996, «Atlas d'élevage du Bassin du Lac Tchad». CTA, 158 pages.
9. Coutard J.P., Menard M., Benoteau G., Lucas F., Henry J.M., Chaigneau F. & Raimbault B., 2007, Reproduction des troupeaux allaitants dans les Pays de la Loire: facteurs de variation des performances, *Renc. Rech. Ruminants*, **14**.
10. Djabakou K., Grundler G. & Lare K., 1991, Involution utérine et reprise de cyclicité post-partum chez les femelles bovines trypanotolérantes: N'dama et Baoulé, *Rev. Elev. Vét. Pays Trop.*, **44**, 319-324.
11. Gwazdauskas F.C., 1985, Effects of climate on reproduction in cattle, *J. Dairy Sci.*, **68**, 1568-1578.
12. Gyawu P., 1988. *A study of some factors affecting the reproductive efficiency (postpartum anoestrus) in N'dama cattle in the Tropics*, Rome, FAO, 34 p.
13. Issa M., 2012. *Mise au point et application de l'insémination artificielle à l'amélioration des productions en lait et viande du zébu au Niger*. Thèse (HDR). Discipline : physiologie de la reproduction. Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey, Niger.
14. Khang'mate A.B., Lahlou-kassi A., Bakana B.M. & Kahungu M., 2000. «Performances de reproduction des bovins N'Dama dans le diocèse d'Idiofa au Congo», *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **6**, 511-516.
15. Lhoste P., 1968, «Comportement saisonnier du bétail zébu en Adamaoua camerounais: la croissance avant sevrage pour les veaux de race locale et les métis demi-sang Brahma», *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **21**, 499-517.
16. Lopez D. & Seitz J.L., 1979, Study on different factors affecting birth weight in Charolais breed, *Cuban J. Agric. Sci.*, **13**, 239.
17. Marichatou H., 2007, «Amélioration génétique des taurins kouri au centre de Sayam». Présentation du projet, 11 diapositives.
18. Marichatou H., Hamidou T. & Amadou T., 2004, *Synchronisation des chaleurs et insémination artificielle bovine*. Fiche technique N°9 INERA-CIRDES, 8p.
19. Marichatou H., Issa M., Hamadou I., Assane M. & Semita C., 2010, «Efficacité de la synchronisation des chaleurs et insémination artificielle chez le bovin Azawak: intérêt du profil de progestérone», *Tropicultura*, **28**, 161-167.
20. Mbaye M., Diop P.E.H. & Ndiaye M., 1989, *Analyse des caractéristiques de la reproduction chez les ruminants: étude du cycle sexuel chez les vaches de race sénégalaise*. In' Deuxième atelier de travail sur la reproduction du bétail trypanotolérant en Afrique occidentale et centrale. Banjul (Gambie), FAO RAF/88/100, 52-53.
21. Meyer C., 2009, Les variations saisonnières de la reproduction des bovins domestiques en zone tropicale, Synthèse. UR18 Systèmes d'élevage et produits animaux, Dep. Environnement et Société, CIRAD, TA C18/A, BP 5035, 34 398, Montpellier Cedex 5, France. 26 p.
22. Meyer C. & Yesso P., 1991, Etude des chaleurs des vaches (trypanotolérantes) N'dama et Baoulé en Cote d'Ivoire. Particularité des composantes comportementales et organiques, *Rev. Élev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **2**, 199-206.
23. Mfopit M.Y., Messine O. & Dandjoum A.K., 2015. «Mortalities and reproductive performances of Gudali cattle at the Wakwa Regional Centre of Agricultural Research, Cameroon (1998 - 2008)», *Int. J. Curr. Adv. Res.*, **4**, 200-203.
24. Njoya A., Bouchel D., Ngotama A.C. & Planchenault D., 1998, «Facteurs affectant le poids à la naissance, la croissance et la viabilité des veaux en milieu paysan au Nord du Cameroun», *Rev. Élev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **51**, 335-343.
25. Pitala W., Zongo M., Boly M., Sawadogo L., Leroy P., Beckers J. & Gbeassor M., 2012. Etude de l'œstrus et de la fertilité après un traitement de maîtrise des cycles chez les femelles zébus, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**, 257-263.
26. Sauveroche B. & Wagner H.G., 1993. *Physiologie de la reproduction des bovins trypanotolérants*. Etude FAO Production et Santé Animales 112, ISBN 92-5-203372-6, Rome, Italie.
27. Sokouri D.P., Yapi-gnaore C.V., N'guetta A.S.P., Loukou N.E., Kouao B.J., Toure G., Kouassi A. & Sangare A., 2010, Performances de reproduction des races bovines locales de Côte d'Ivoire, *J. Appl. Biosci.*, **36**, 2353- 2359.
28. Tawah C.L., Rege J.E.O. & Gertrude S.G., 1997, A close look at a rare African breed. The Kuri cattle of Lake Chad Basin: origin, distribution, production and adaptive characteristics, *S. Afr. J. Anim. Sci.*, **27**, 2.
29. Tellah M., Mbaindingatoloum F.M., Logtene Y.M. & Boly H., 2015B, Age au premier vêlage et intervalle entre vêlage de quatre races bovine en zone périurbaine de N'Djaména, Tchad, *Afr. Sci.*, **11**, 229 – 240.



- 
30. Tellah M., Zeuh V., Mopate L.Y., Mbaindingatoloum F.M. & Bolt H., 2015A, Paramètres de reproduction des vaches kouri au Lac Tchad, *J. Appl. Biosci.*, **90**, 8387-8396.
31. Waladjo A.R.K., 2003, *Performances zootechniques des N'dama et des produits de l'insémination artificielle bovine en république de Guinée*. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies, Option: Productions Animales Tropicales. EISMV de Dakar, Sénégal. 41p.
32. Zongo M., Balaya B., Pitala W., Meyer C., Boly H. & Sawadogo L., 2012, Induction d'œstrus et insémination artificielle chez les zébus Azawak et zébus Goudali au Burkina Faso, *Tropicultura*, **32**, 54-61.
- 

K.I. Adamou, Nigérien, Doctorant, Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences Agronomiques, Département Productions Animales, Niamey, Niger.

H. Mouloul H., Nigérien, Ingénieur, Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences Agronomiques, Département Productions Animales, Niamey, Niger.

M. Issa M., Nigérien, PhD, Enseignant-chercheur, Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département Productions Animales, Niamey, Niger.

A.A. Boubacar, Nigérien, Ingénieur, Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences Agronomiques, Département Productions Animales, Niamey, Niger.

H. Marichatou H., PhD, Enseignant-chercheur, Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département Productions Animales, Niamey, Niger.

# Caractérisation de la croissance spatiale urbaine de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo) entre 1989 et 2014

Y. Useni Sikuzani<sup>1,2\*</sup>, S. Cabala Kaleba<sup>1</sup>, J.-M. Halleux<sup>3</sup>, J. Bogaert<sup>4</sup> & F. Munyemba Kankumbi<sup>1,2</sup>

**Keywords:** Landscape pattern- Urban-rural gradient- Urban growth modes- Urbanization- Lubumbashi- DR Congo

## Résumé

*Une quantification de la dynamique spatio-temporelle de l'urbanisation est nécessaire pour appréhender la morphologie urbaine et ses effets écologiques de manière à fournir des informations détaillées en vue d'une planification urbaine durable. Ce travail a pour objectif de caractériser la croissance spatiale urbaine de la ville de Lubumbashi à partir de l'analyse de six images satellitaires SPOT. Excepté pour la période de 1996 à 2002, la ville de Lubumbashi a enregistré un taux moyen annuel de croissance urbaine élevé par rapport à celui enregistré dans d'autres villes d'Afrique sub-saharienne. Entre 1989 et 2014, la proportion du bâti a triplé dans le paysage en passant de 6% à 20%. Nos résultats indiquent que l'urbanisation à Lubumbashi a présenté un modèle complexe de diffusion-coalescence. Une des principales causes de cette perturbation est la croissance démographique rapide couplée à la gestion inappropriée de l'expansion urbaine.*

## Summary

### Characterization of the Spatial Urban Growth of Lubumbashi City (Upper Katanga, D.R. Congo) between 1989 and 2014

*A quantification of the spatio-temporal dynamics of urbanization is crucial to apprehend urban morphology and its ecological effects, in order to support sustainable urban planning. This study aimed at understanding the spatial urban growth of Lubumbashi city based on the analysis of six SPOT satellites images. With the exception of the 1996-2002 period, Lubumbashi city underwent a high average annual growth rate exceeding that observed for other cities in sub-Saharan Africa. Between 1989 and 2014, the built-up percentage increased from 6% to 20%. Our results suggest that the urbanization of Lubumbashi city followed a complex diffusion-coalescence model. The main reason of this perturbation is the combination of the rapid demographic growth with an inappropriate urban growth management.*

<sup>1</sup>Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage, Lubumbashi, R.D. Congo

<sup>2</sup>Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine, Lubumbashi, R.D. Congo

<sup>3</sup>Université de Liège, Institut de géographie économique, Liège, Belgique

<sup>4</sup>Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique

\*Auteur correspondant: Email: yannickuseni@gmail.com

Reçu le 27.03.17 et accepté pour publication le 06.09.17

## Introduction

Depuis 2014, la population urbaine représente 54% de la population mondiale totale (46) et pourrait augmenter d'environ 3 milliards d'individus entre 2000 et 2050 (5). Ainsi, 90% de cette croissance sera localisée en Afrique et en Asie où les taux d'urbanisation avoisineraient 56 et 64% respectivement (46). L'expansion spatiale rapide des zones urbaines qui en résulte est susceptible d'induire une série d'impacts socio-économiques et environnementaux défavorables, telle que la perte des terres arables, l'insécurité foncière persistante, l'insuffisance d'équipements ainsi que la dégradation des services écosystémiques (15, 16).

Dans le contexte des villes africaines, les changements rapides de l'occupation du sol constituent une manifestation de l'absence de planification (47) qui contribue à la détérioration de la qualité de l'environnement urbain (3). Cette situation se pose avec acuité en Afrique subsaharienne où l'étendue des terres urbanisées est attendue d'être multipliée par 12 dans la période de 2000 à 2050, pendant que la population urbaine sera multipliée par 5 (5). Ainsi, un des impacts les plus critiques de cette situation pourra être la suppression de la couverture végétale originelle dont dépendent beaucoup des populations majoritairement pauvres (9, 15).

La compréhension des effets de la croissance spatiale urbaine sur les structures paysagères et les processus écologiques implique une connaissance des dynamiques de l'occupation du sol (16). Avec le développement de la télédétection, des systèmes d'information géographiques et de l'écologie du paysage, la croissance spatiale urbaine peut être cartographiée et quantifiée (19, 26, 49). Par ailleurs, il a été émis l'hypothèse que la croissance spatiale urbaine présente deux phases alternantes, à savoir une phase de diffusion (expansion des zones urbaines à partir des centres existants) suivie d'une phase de coalescence (le remplissage des espaces interstitiels). Des outils d'analyse de l'écologie du paysage sont utilisés pour mettre en évidence ce développement séquentiel (14).

La ville de Lubumbashi a enregistré une expansion spatiale urbaine rapide et non planifiée, provoquée par une croissance rapide de sa population liée à l'exode rural (17, 25, 33). Cela a amplifié la pression anthropique sur les ressources naturelles (forêts, marécages) et pose de nombreux défis socio-économiques que les planificateurs et les décideurs résolvent avec difficultés (17). En dépit d'une telle situation alarmante qui devrait recevoir une attention particulière, des recherches orientées vers la quantification de la dynamique de l'occupation du sol à Lubumbashi sont cependant limitées (31, 32). Ainsi, des informations détaillées sur la vitesse, les modes et la structure spatiale de l'urbanisation s'avèrent indispensables en vue de permettre l'élaboration des

outils efficaces d'aménagement du territoire et de gestion rationnelle des ressources naturelles. La présente étude cherche à tester l'hypothèse selon laquelle la ville de Lubumbashi enregistre une périurbanisation qui s'accélère avec le temps. Dans ce contexte, il sera également question d'analyser si le mode de croissance urbaine y observé serait conforme à l'hypothèse de la diffusion-coalescence.

## Matériels et méthodes

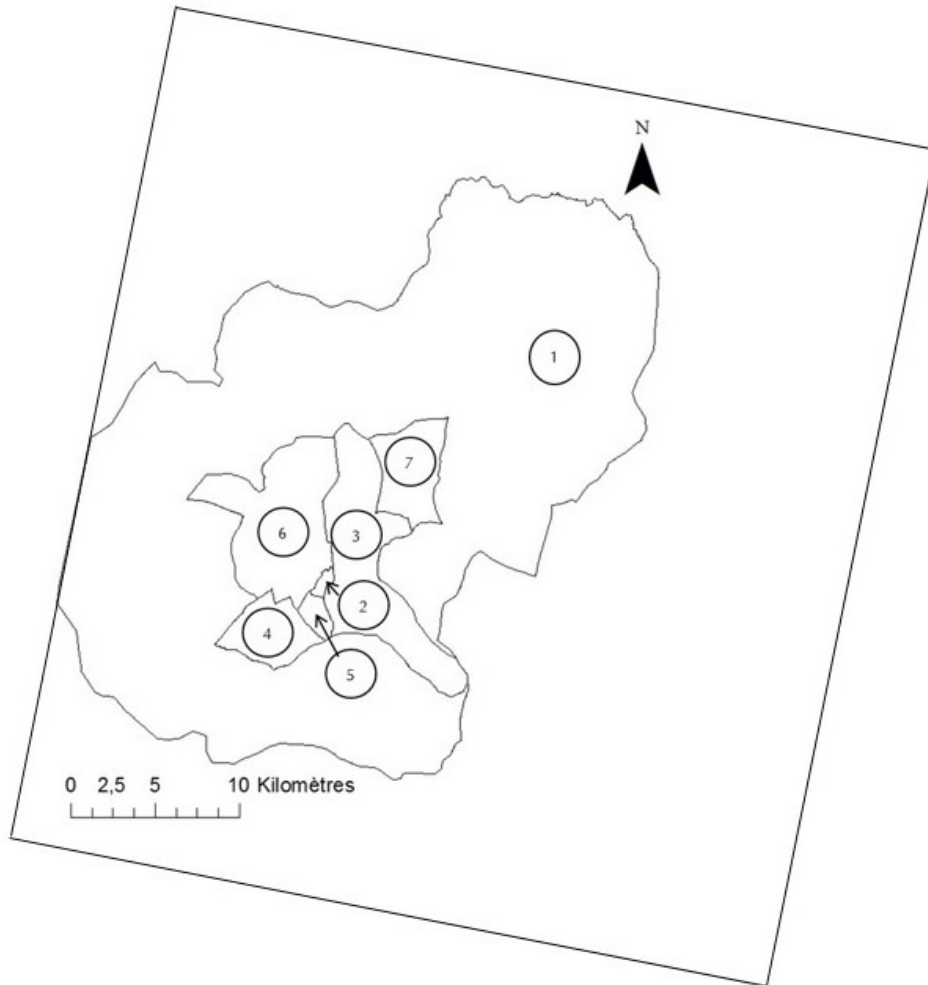
### Description de la zone d'étude

La zone d'étude, d'une superficie de 1632,4 km<sup>2</sup>, comprend 7 communes (Figure 1) couvrant la ville de Lubumbashi et une partie du territoire de Kipushi au sud-est de la RD Congo (11°27'-11°47'S et 27°19'-27°40' E). La population est passée de 0,6 million d'habitants en 1984 à 1 million en 2001 (33), 2 millions en 2015 et devrait atteindre 2,5 millions d'habitants d'ici 2025 (46). Avec le développement économique rapide connu au cours des dernières décennies, plusieurs nouveaux sites ont été lotis et il n'y a aucun signe que cette situation ralentirait dans un futur proche (17, 33).

Le climat de Lubumbashi est de type Cw selon la classification de Köppen. Il est caractérisé par cinq mois de saison des pluies (de novembre à mars) et cinq mois de saison sèche (mai à septembre) séparés par deux mois de transition (octobre et avril) (25). Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 1300 mm tandis que la température annuelle moyenne avoisine 20°C (25). Le paysage de la ville de Lubumbashi comprend principalement un noyau urbanisé, séparé des lambeaux de forêts par des sols nus, des cultures et de la végétation anthropisée (31).

### Pré-traitement d'images

Une approche cartographique a été adoptée pour évaluer la croissance spatiale urbaine à partir de six scènes d'images SPOT issues des capteurs HRV2 (12 juillet 1989 et 29 août 1996; 3 bandes, 20 m de résolution), HRG2 (16 juillet 2002, 18 juin 2008 et 20 juin 2014; 4 bandes, 10 m de résolution) et HRVIR2 (13 août 2005, 4 bandes, 20 m de résolution). Un géoréférencement, selon le système de projection UTM Zone 35S, et basée sur l'ellipsoïde de référence WGS 84, a été effectué. La correction géométrique des images SPOT à partir de 40 points de contrôle de terrain, et utilisant l'image SPOT 2008 comme référence, a été appliquée. Afin d'homogénéiser la résolution spatiale, les pixels des images SPOT HRV2 et HRVIR2 ont été ramenés à 10 m de résolution par la méthode de ré-échantillonnage cubique, reconnue pour son aptitude à améliorer la netteté des images sans affecter leur radiométrie (28).



1: commune Annexe; 2: commune Kamalondo; 3: commune Kampemba; 4: commune Katuba; 5: commune Kenya; 6: commune Lubumbashi; 7: commune Ruashi. Le cadre noir correspond aux limites du paysage étudié.

**Figure 1:** La zone d'étude: la ville de Lubumbashi et ses sept communes.

### Classifications

La composition colorée des images, réalisée à travers la combinaison des bandes spectrales dans l'ordre 4 (proche infra-rouge) - 3 (rouge) - 2 (vert), a été suivie d'une classification automatique sur base de laquelle a été réalisée une interprétation visuelle et l'identification des zones d'entraînement. Lors des missions de terrain, 760 points de contrôle au sol, représentatifs de l'occupation des sols de la zone d'étude et préalablement choisis, ont été collectés. L'algorithme du maximum de vraisemblance (29) a été utilisé durant la classification supervisée des images et 9 classes d'occupation du sol ont été retenues (bâti, sol nu, terril et zone brûlée, champ, savanes herbeuses, savanes boisées/ arbustives/ arborées, marécage, forêt, plan d'eau). Pour comprendre la dynamique spatiale de l'urbanisation, une reclassification a permis de regrouper les 9 classes en deux classes plus pertinentes: le «bâti» (occupations du sol associées au développement urbain, à savoir les constructions

et le sol nu) et le «non-bâti» (des zones non développées pour le logement, le commerce, l'industrie, etc.). Les images classifiées ont été ensuite filtrées, avec une taille de fenêtre de 8 x 8 pixels, pour résorber les pixels isolés. La validation de la classification a été réalisée à partir de l'indice de Kappa et de la précision globale, issus de la matrice de confusion et appropriés pour la validation des classifications thématiques (26, 29). Il convient de signaler que les logiciels ENVI 4.5 et ArcGIS 10.1 ont été utilisés pour les traitements d'images.

### Analyses spatiales

Quatre indices de structure spatiale ont été calculés pour caractériser la structure spatiale de l'urbanisation: le nombre de taches, l'aire totale des taches, la densité de taches (le rapport du nombre de taches par l'aire totale de la zone tampon considérée) et la proportion du bâti dans le paysage (rapport de l'aire totale du bâti par l'aire totale du paysage). Ces indices sont souvent un indicateur de l'impact humain sur la morphologie du paysage (9).



La dynamique structurale de l'urbanisation a été caractérisée à l'aide des processus de transformation spatiale. Cette méthode est basée sur la comparaison de l'aire totale, du périmètre et du nombre de taches avant et après la transformation (8, 9, 28, 40, 48). A partir de l'aire totale du bâti, le taux moyen annuel de croissance a été calculé (24). Pour identifier les modes de croissance urbaine le long d'un gradient urbain-rural, à partir de la densité de taches et de la proportion du bâti, des zones tampons concentriques (27) distantes de 4 km ont été appliquées jusqu'à 20 km du centre-ville géométrique (centroïde). Cette distance est censée couvrir le noyau urbain et la zone périurbaine dans le milieu d'étude sur base des critères morphologiques établis par l'organigramme d'André *et al.* (4). Pour tester la possibilité d'existence d'un effet de distances et années sur la densité de taches et la proportion du bâti, une ANOVA unifactorielle avec test post hoc de Tukey a été effectuée avec l'aide du logiciel R © (version 2.15.0).

## Résultats

### Classifications et cartographie

Le tableau 1 montre les résultats de la matrice de confusion des images SPOT classifiées, pour lesquelles les valeurs de la précision globale et de l'indice Kappa se rangent respectivement entre 88,9% - 98,2% et 87,1% - 97,9%. Cela suggère une discrimination statistiquement fiable entre les différentes classes d'occupation du sol (38). De manière globale, l'analyse visuelle révèle une conversion importante entre classes d'occupation du sol. Il est évident que le bâti était en constante progression entre 1989 et 2014, spécialement vers le Nord-ouest, Nord-est et Sud-est. De plus, la classe « bâti » est entourée d'une ceinture de non-bâti qui a enregistré une dynamique régressive (Figures 2 et 3).

**Tableau 1**

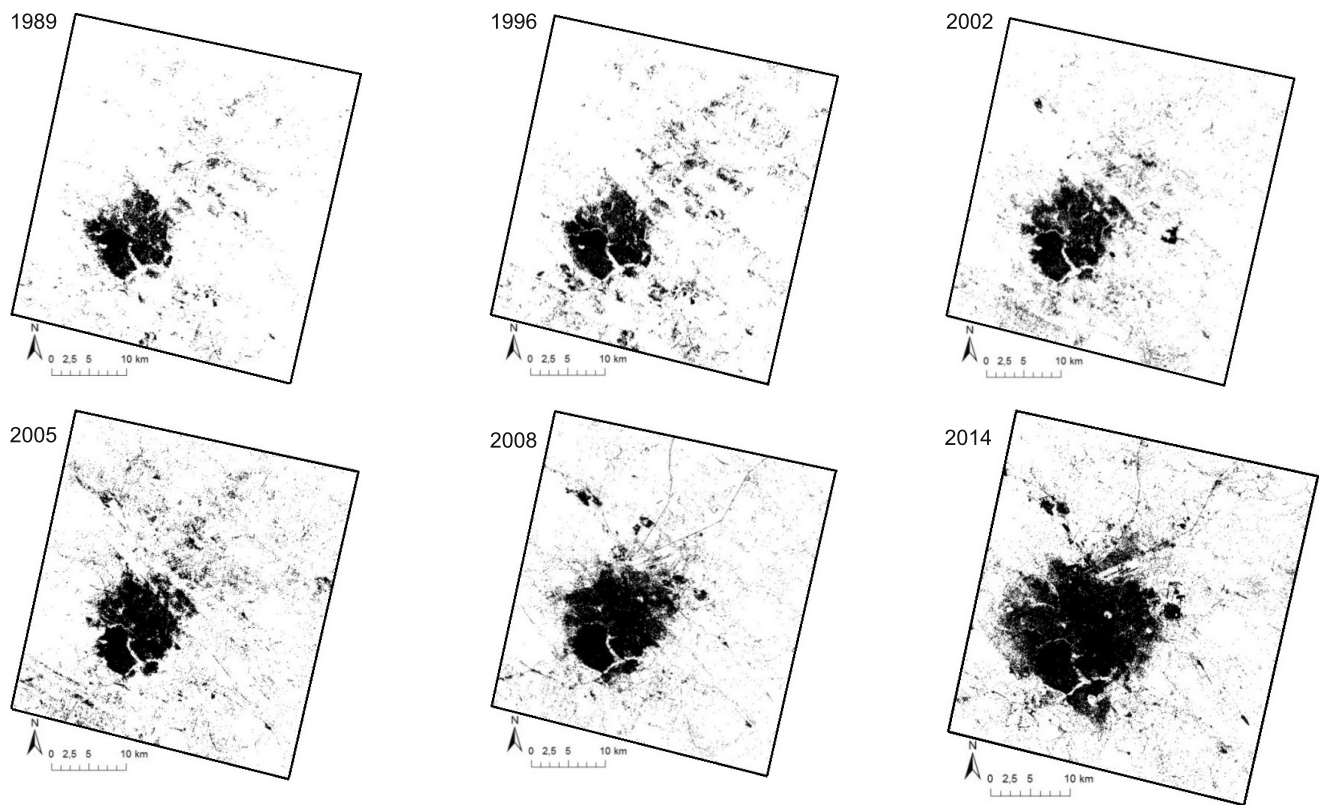
Précisions des classifications supervisées des images SPOT de 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 appuyées sur l'algorithme de maximum de vraisemblance.

Indices	1989	1996	2002	2005	2008	2014
Précision globale (%)	89,2	89,5	88,9	92,4	93,7	98,2
Kappa (%)	87,5	87,7	87,1	91,1	92,7	97,9

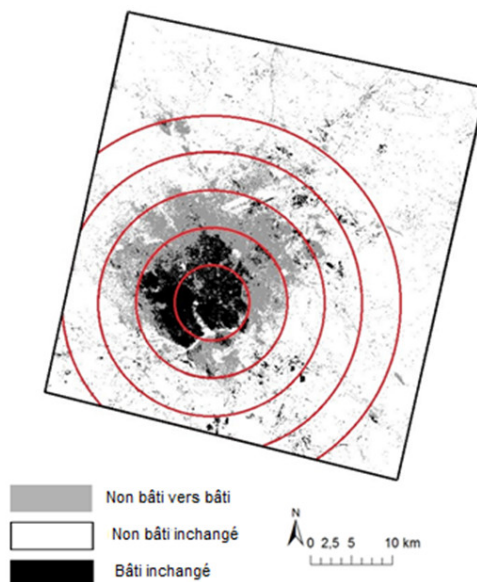
### Dynamique spatiale de l'urbanisation

Comme l'urbanisation a progressé entre 1989 et 2014, la structure spatiale du paysage a été sensiblement affectée. L'application de l'arbre de décision de Bogaert *et al.* (8) a permis d'identifier le processus de création de taches entre 1989-1996, 1996-2002, 2002-2005, 2005-2008 et 2008-2014. L'augmentation du nombre de taches s'est accompagnée en effet d'une augmentation de leur aire totale (Figure 4A). Ceci semble suggérer que l'urbanisation a été caractérisée par la diffusion comme mode de croissance à l'échelle globale de la ville.

Par ailleurs, des différences évidentes dans la proportion du bâti ont été notées en ce qui concerne les distances des zones tampons au centre-ville ( $P < 0,05$ ). La proportion du bâti est la plus élevée jusqu'à 4 km du centre-ville pendant que les valeurs les plus faibles ont été observées entre 12 et 20 km (Figure 4B). Cependant, aucune différence significative n'a pu être détectée dans la proportion du bâti à travers les années ( $P > 0,05$ ). Par contre, l'analyse de la densité de taches de bâti a montré des différences significatives entre les années et les distances ( $P < 0,05$ ). Pendant que la densité de taches diminue pour la distance de 0-8 km entre 1989 et 2014, la zone comprise entre 8-20 km affiche un patron inverse (Figure 4C). Ce constat est une indication d'une agrégation des taches de bâti dans le noyau urbain et de leur création au de-là de celui-ci, suggérant ainsi une coexistence de ces deux phénomènes apparemment contradictoires. Cela illustre l'existence simultanée de la diffusion (dans le noyau urbain) et de la coalescence (au de-là du noyau urbain) comme modes de croissance urbaine. Le taux moyen annuel de croissance spatiale urbaine observé sur la période de 1989-2014 pour Lubumbashi (8,7%) est nettement plus élevé par rapport aux autres villes, notamment Nairobi, Harare, Chingola, Kinshasa etc. Il convient de souligner cependant que ce taux est sensiblement inférieur à celui observé dans certaines autres villes africaines, notamment Lusaka, Kampala ou Abuja (Tableau 2).

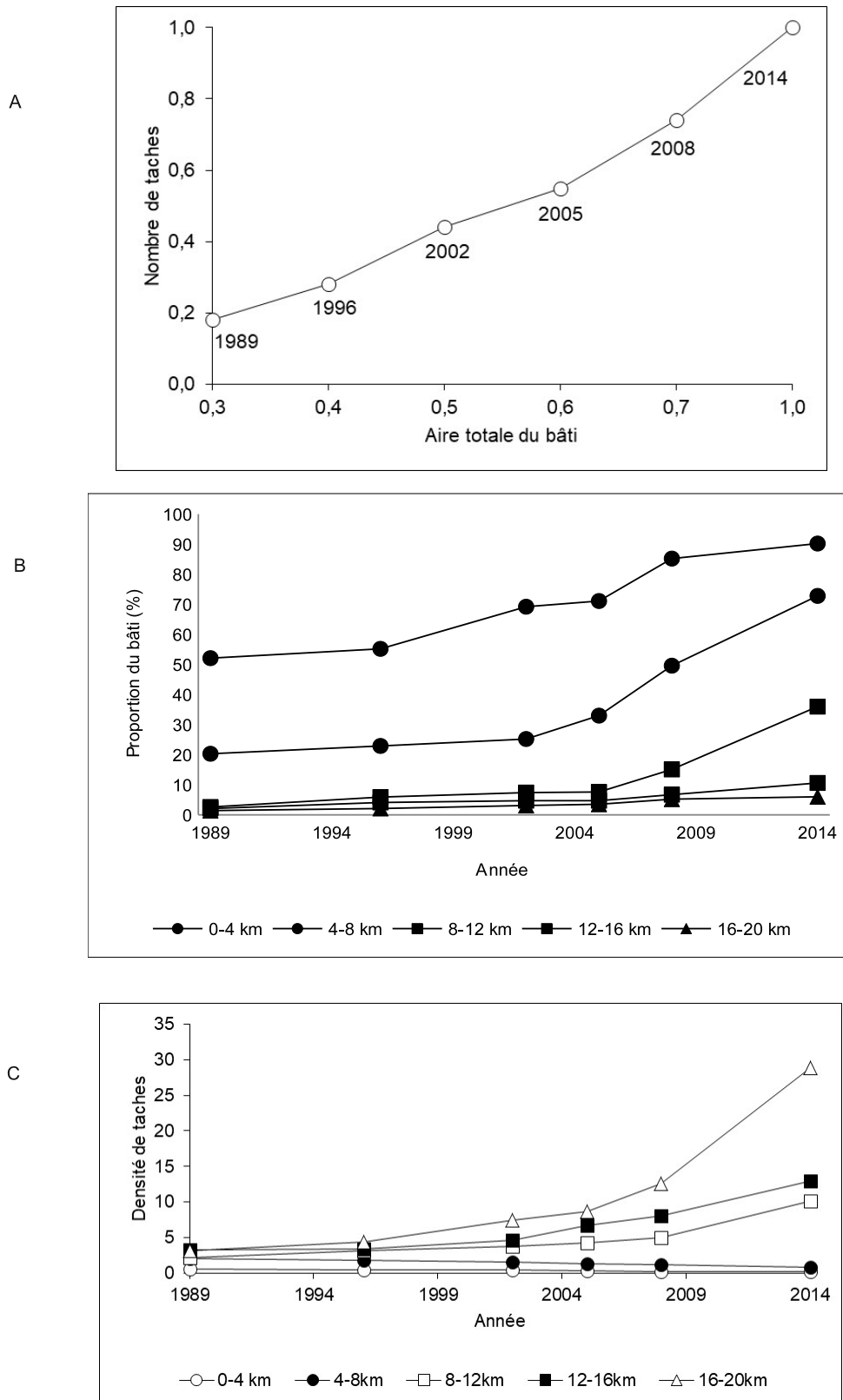


**Figure 2:** Cartes d'occupation du sol de la ville de Lubumbashi et sa zone périphérique issues des classifications supervisées des images SPOT de 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 appuyées sur l'algorithme de maximum de vraisemblance.



Les zones concentriques rouges sont distantes du centre géométrique de la ville (centroïde) de 4 km, 8 km, 12 km, 16 km et 20 km respectivement. Le cadre noir correspond aux limites de la zone étudiée.

**Figure 3:** Cartographie des changements majeurs de l'occupation du sol de la ville de Lubumbashi entre 1989 et 2014 à partir des classifications supervisées des images SPOT appuyées sur l'algorithme de maximum de vraisemblance.



**Figure 4:** (A) Evolution des valeurs relatives du nombre (valeur maximale = 88971) et de l'aire totale (valeur maximale=322,4 km<sup>2</sup>) des taches du bâti dans la zone d'étude entre 1989 et 2014. Les processus de transformation qui sous-tendent la dynamique spatio-temporelle du bâti ont été identifiés sur base de l'arbre de décision de Bogaert *et al.* (8). Evolution de la proportion (B) et de la densité de taches du bâti (C) à différentes distances du centre-ville géométrique.

**Tableau 2**

Comparaison entre le taux moyen annuel de croissance urbaine de la ville de Lubumbashi et celui des autres villes d'Afrique subsaharienne.

Villes	Pays	Localisation	Périodes	Temps (années)	$\alpha_i$	T	Références
Abuja	Nigeria	9°06' N 7°27' E	1987-2007	20	7,9-41,6	21,4	(2)
Addis Ababa	Ethiopie	8°59' N 38°42' E	1986-2000	14	77,2-114,6	3,5	(7)
Asmara	Erythrée	15°22' N 38°55' E	1989-2009	20	14,6-59,1	15,2	(42)
Bahir Dar	Ethiopie	11°38' N 37°10' E	1984-2009	25	11,6-48,3	12,3	(18)
Bamako	Mali	12°40' N 8°03' O	1986-2006	20	41,3-102,5	7,4	(13)
Benin City	Nigeria	6°20' N 5°36' E	1987-2013	26	220,0-358,9	2,4	(36)
Chingola	Zambie	12°32' S 27°51' E	1972-2002	30	59,7-106,8	2,6	(32)
Dar-Es-Salaam	Tanzanie	6°46' S 39°12' E	2002-2011	9	16,5-38,5	14,8	(12)
Gaborone	Botswana	24°40' S 25°59' E	1989-2006	17	17,5-45,0	9,2	(41)
Harare	Zimbabwe	17°49' S 31°03' E	1984-2013	29	118,6-302,7	5,4	(22)
Kampala	Uganda	0°21' N 32°31' E	1989-2010	21	71,0-386,0	21,1	(47)
Kinshasa	RD Congo	4°17' S 15°20' E	1995-2005	10	310,1-434,1	4,0	(23)
Lubumbashi	RD Congo	11°39' S 27°28' E	1989-2014	25	101,4-322,4	8,7	Cette étude
Lusaka	Zambie	15°24' S 28°16' E	1986-2014	28	14,5-17,1	38,6	(37)
Nairobi	Kenya	1°18' S 36°49' E	1986-2010	24	35,2-79,4	5,2	(30)
Niamey	Niger	13°31' N 2°02' E	1975-2013	38	3,7-14,8	7,8	(20)
Port Elizabeth	Afrique du Sud	33°57' S 25°36' E	1990-2000	10	235,8-373,7	5,8	(35)

T: Taux moyens annuels de croissance (spatiale) urbaine (%);  $\alpha_i$ : aire totale (km<sup>2</sup>).

## Discussion

### Approche méthodologique

Selon les échelles proposées par Pontius (38), les valeurs de Kappa obtenues dans notre étude (>80%) montrent que les classifications réalisées ont été fiables (27, 28). La caractérisation de la structure spatiale du paysage à travers une classification binaire (bâti et non bâti) aurait fait immerger certains détails écologiques (par exemple une augmentation de l'aire d'une sous-classe pendant que la grande classe non bâti régresse) (27), mais l'analyse réalisée dans notre étude n'a pas entaché les résultats obtenus. La structure spatiale de l'urbanisation a été évaluée à travers différents indices, considérés par ailleurs comme un compromis idéal dans la caractérisation de la structure spatiale des paysages (34). Aucun indice unique ne peut renseigner toute la complexité de la configuration paysagère (10). L'arbre de décision de Bogaert *et al.* (8) pourrait être critiqué à cause de l'importance accordée à la comparaison du nombre de taches entre différentes périodes, cela ayant conduit à l'identification d'un processus unique de création de taches de bâti à l'échelle du paysage. Pourtant, une tendance à l'agrégation des taches individuelles de bâti, notamment dans le noyau urbain, a été mise en évidence grâce au calcul de la proportion du bâti.

### Dynamique spatiale de l'urbanisation

La population africaine préfère généralement l'habitat non planifié et informel pour la fourniture en logements en raison de la pauvreté galopante notamment (47).

L'expansion spatiale urbaine rapide que cela entraîne pourrait être le principal facteur induisant des changements dans la composition et la configuration du paysage (16) notamment au sein et autour de la ville de Lubumbashi. Cette tendance est typique pour la plupart des villes congolaises (6, 39, 48). Toutefois, l'expansion de Lubumbashi vers la zone péri-urbaine, où les prix des parcelles sont relativement abordables par rapport au centre-ville, suggère que cette zone serait considérée comme la réserve foncière pour la fourniture en logements. Cela a entraîné de nombreux problèmes socio-économiques et physiques (insuffisance d'équipements et infrastructures de base, présence des tourbillons de poussières en saison sèche...) (17) qui se répercutent sur les modes de croissance urbaine. Au niveau de la ville, il a été observé que la diffusion et la coalescence n'alternent pas au fil du temps, ce qui n'est pas en accord avec l'hypothèse selon laquelle la croissance spatiale des villes est caractérisée par l'alternance de la diffusion et de la coalescence (14). Par contre, ce résultat est en accord avec les récentes conclusions de plusieurs auteurs selon lesquelles les deux phases opèrent simultanément (21, 26, 27, 43, 49, 50). Cela pourrait être expliqué par la différence dans la vitesse de la croissance spatiale entre villes, mais beaucoup plus par la différence dans la résolution temporelle des images utilisées. Pour certains auteurs, la dichotomie de diffusion-coalescence représente des extrémités plutôt que des états alternatifs de croissance urbaine (43). Cette hypothèse est également confirmée par les observations réalisées le long du gradient d'urbanisation à Lubumbashi.



Dans la caractérisation du processus d'urbanisation, nos observations révèlent une correspondance entre les processus de transformation spatiale définis par Bogaert *et al.* (8) et les hypothèses de Dietzel *et al.* (14). La diffusion correspond en effet au processus de création de taches de bâti tandis que la coalescence est liée aux processus d'agrégation/agrandissement des taches de bâti. En revanche, la correspondance entre l'arbre de décision (8), les modes de croissance urbaine (14) avec la théorie de (dé)densification d'Angel *et al.* (5) reste moins claire à établir. En effet, cette dernière théorie est basée sur la densité des parcelles et non celle des taches qui pourraient être constituées d'un ensemble des parcelles.

Le morcellement des parcelles, de même que l'invasion des espaces interstitiels, amplifie la coalescence du bâti dans le noyau urbain et suggère d'une tendance à la saturation foncière qui devrait conduire à une anthropisation complète (40).

L'urbanisation entraîne une homogénéisation de la structure du paysage dans le noyau urbain, ce qui s'apparente à l'hypothèse d'une homogénéisation biotique par l'urbanisation (21). Par conséquent, les paysages les plus fragmentés seraient situés en zone périurbaine où l'un des impacts humains les plus remarquables est la suppression de la couverture végétale suivie de la création de nombreuses taches de bâti (5, 11). Cette dernière tendance est en désaccord avec la conclusion d'Acioly et Forbes (1) selon laquelle les villes des pays en développement tendent à devenir plus compactes; mais s'apparente tout de même aux récentes conclusions sur la ville de Tripoli en Lybie (3). Il importe de souligner que plusieurs auteurs reconnaissent que les formations végétales autour de Lubumbashi sont parmi les plus perturbées dans la zone de l'arc cuprifère Katangais (32, 39, 48).

La croissance démographique demeure le principal moteur de l'expansion spatiale urbaine à l'échelle mondiale (5), de même qu'à Lubumbashi où le taux de croissance démographique reste supérieur à celui enregistré au niveau national (environ 4%) (45). Toutefois, d'autres facteurs notamment le contexte politico-économique, pourraient également affecter la croissance spatiale urbaine. La tendance observée entre 1996 et 2002 à Lubumbashi pourrait être attribuée à la crise économique et socio-politique qui y a prévalu (33). Cette hypothèse est fondée sur le fait que les villes des pays en développement sont dans une phase où les conditions démographiques et économiques influent sensiblement sur la structure et les taux d'expansion urbaine (24).

Ce phénomène a été également observé à Niamey et à Kampala (20, 47). A Lubumbashi, la vitesse de l'expansion urbaine serait également liée à l'inefficacité des services administratifs et techniques, suite à l'insuffisance des financements accordés à la gestion foncière (17).

Sous l'influence de la croissance démographique rapide, la configuration et la composition de l'occupation du sol ont changé dans la zone d'étude. Les résultats obtenus concordent bien avec la réalité des tendances de la dynamique paysagère à Lubumbashi (31). La forte pression anthropique liée à l'inhérente croissance spatiale urbaine non planifiée a entraîné la dégradation du paysage (44). Sans mesures appropriées, la situation susmentionnée pourrait avoir un impact négatif au point de vue environnemental et socio-économique.

## Conclusion

L'usage combiné de la télédétection, des systèmes d'informations géographiques et de l'écologie du paysage a permis de démontrer que la ville de Lubumbashi a connu une expansion spatiale rapide. La proportion du bâti ayant été multipliée par trois entre 1989 et 2014, cela représente un rythme de croissance très élevé comparativement à celui observé dans la plupart des villes africaines. Il ressort de l'augmentation simultanée de l'aire totale et du nombre de taches de bâti que le processus de création de taches a prédominé pendant la période d'étude. Cela pourrait suggérer une fragmentation accrue du paysage environnant à moyen terme et une plus grande complexité en termes de composition du paysage. Les modes de croissance urbaine observés à Lubumbashi, la diffusion et la coalescence, sont complexes dans l'espace. L'étude a démontré une accélération de la régression du non bâti composé majoritairement de la végétation comme corolaire de l'expansion urbaine. Des lois plus efficaces, couplées à une meilleure compréhension de la dynamique spatio-temporelle de la croissance urbaine, s'avèrent indispensables pour une meilleure planification du développement futur de la ville de Lubumbashi.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ARES-CCD (PRD Création d'un Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine à l'Université Lubumbashi) pour l'appui financier.

## Références bibliographiques

1. Acioly C. & Forbes D., 1996, *Density in Urban Development*, Building Issues, 3, 8, Lund Centre for Habitat Studies, Lund University, Sweden.
2. Ade M.A. & Afolabi Y.D., 2013, Monitoring urban sprawl in the federal capital territory of Nigeria using remote sensing and GIS techniques, *Ethiop. J. Environ. Stud. Manage.*, **6**, 1, 82-95.
3. Al Sharif A.A.A. & Pradhan B., 2014, Monitoring and predicting land use change in Tripoli Metropolitan area city using an integrated Markov Chain and Cellular automata models in GIS, *Arabian J. Geosci.*, **7**, 4291-4301.
4. André M., Mahy G., Lejeune P. & Bogaert J., 2014, Vers une synthèse de la conception et d'une définition des zones dans le gradient urbain-rural, *Biotechnol. Agron., Soc. Environ.*, **18**, 1, 61-74.
5. Angel S., Civco D.L., Blei A. & Potere D., 2011, The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000-2050, *Prog. Plan.*, **75**, 2, 53-107.
6. Bamba I., Yedmel M.S. & Bogaert J., 2010, Effets des routes et des villes sur la forêt dense dans la province orientale de la République Démocratique du Congo, *Eur. J. Sci. Res.*, **43**, 3, 417-429.
7. Bekalo M.T., 2009, *Spatial metrics and Landsat data for urban land use change detection in Addis Ababa, Ethiopia*. Master thesis: Universitat Jaume I, Castellon (Spain).
8. Bogaert J., Ceulemans R. & Salvador-van Eysenrode D., 2004, Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation, *Environ. Manage.*, **33**, 1, 62-73.
9. Bogaert J., Bamba I., Koffi K.J., Sibomana S., Djibu K.J-P., Champluvier D., Robbrecht E., De Cannière C. & Visser M., 2008, *Fragmentation of forest landscapes in Central Africa: causes, consequences and management*. In: Laforteza R., Chen J., Sanesi G. & Crow T.R. (Eds). *Pattern and processes in forest landscapes. Multiple use and sustainable management*. Springer, New York, pp 67-87.
10. Bogaert J. & Mahamane A., 2005, Ecologie du paysage: cibler la configuration et l'échelle spatiale, *Ann. Sci. Agron. Bénin*, **7**, 1, 39-68.
11. Bogaert J., Biloso A., Vranken I. & André M., 2015, Periurban dynamics: landscape ecology perspectives. In: Bogaert J. & Halleux J-M. (Eds). *Territoires périurbains: développement, enjeux et perspectives dans les pays du sud*. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, pp 63-73..
12. Congedo L. & Munafo M., 2014, *Urban sprawl as a factor of vulnerability to climate change: monitoring land cover change in Dar-Es-Salaam*. In: Macchi S., Tiepolo M. (Eds). *Climate change vulnerability in southern Africa cities*. Springer International Publishing, Switzerland, pp 73-88.
13. Diallo B.A. & Bao Z., 2010, Land cover change assessment using remote sensing: case study of Bamako, Mali. *Res.*, **2**, 4, 7-17.
14. Dietzel C., Oguz H., Hemphill J.J., Clarke K.C. & Gazulis N., 2005, Diffusion and coalescence of the Houston Metropolitan Area: evidence supporting a new urban theory, *Environ. Plan. B: Plan. Design*, **32**, 2, 231-246.
15. Egho B.N., O'Farrell P.J., Charef A., Gurney L.J., Koellner T., Abi H.N., Egho M. & Willemen L., 2012, An African account of ecosystem service provision: Use, threats and policy options for sustainable livelihoods, *Ecosyst. Serv.*, **2**, 71-81.
16. Grimm N.B., Faeth S.H., Golubiewski N.E., Redman C.L., Wu J., Bai X. & Briggs J.M., 2008, Global change and the ecology of cities, *Sci.*, **319**, 756-760.
17. GROUPE HUIT, 2009, *Elaboration du plan urbain de référence de Lubumbashi*. Rapport final, BEAU, Ministère infrastructures, travaux publics et reconstruction, RD Congo.
18. Haregeweyn N., Fikadu G., Tsunekawa A., Tsubo M. & Meshesha D.T., 2012, The dynamics of urban expansion and its impacts on land use/land cover change and small-scale farmers living near the urban fringe: a case study of Bahir Dar, Ethiopia, *Landscape Urban Plan.*, **106**, 149-157.
19. Herold M., Scepan J. & Clarke K.C., 2002, The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses, *Environ. Plan. A*, **34**, 8, 1443-1458.
20. Illiassou S.A., Diouf A., Mamadou B.M., Satta A.-S., Mahamane A. & Saadou M., 2015, Dynamics of a third world city: case of Niamey, Niger, *J. Geogr. Reg. Plan.*, **8**, 5, 120-130.
21. Jenerette D.G. & Potere D., 2010, Global analysis and simulation of land-use change associated with urbanization, *Landscape Ecol.*, **25**, 5, 657-670.
22. Kamusoko C., Gamba J. & Murakami H., 2013, Monitoring urban spatial growth in Harare metropolitan province, Zimbabwe, *Adv. in Remote Sens.*, **2**, 322-331.
23. Kayembe K.M., De Maeyer M. & Wolff E., 2009, Cartographie de la croissance urbaine de Kinshasa (R.D. Congo) entre 1995 et 2005 par télédétection satellitaire à haute résolution, *Belgeo*, **3-4**, 439-455.
24. Kuang W., Chi W., Lu D. & Dou Y., 2014, A comparative analysis of megacity expansion in China and U.S.: Patterns, rates and driving forces, *Landscape Urban Plan.*, **132**, 121-135.
25. Leblanc M. & Malaisse F., 1978, *Lubumbashi, un écosystème urbain tropical*. Centre international de sémiologie. Université nationale du Zaïre.
26. Li C., Li J. & Wu J., 2013, Quantifying the speed, growth modes and landscape pattern change of urbanization: a hierarchical patch dynamics approach, *Landscape Ecol.*, **28**, 1875-1888.
27. Li X., Li C., Zhu F., Song C. & Wu J., 2013b, Spatio-temporal pattern of urbanization in Shanghai, China between 1989 and 2005, *Landscape Ecol.*, **28**, 1545-1565.
28. Mama A., Sinsin B., De Cannière C. & Bogaert J., 2013, Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au Nord du Bénin, *Tropicultura*, **31**, 1, 82-92.
29. Mas J.F., 2000, Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement, *Can. J. Remote Sens.*, **26**, 349-362.
30. Mubea K.W., Goetzeke R. & Menz G., 2014, Applying cellular automata for simulating and assessing urban growth scenario based in Nairobi, Kenya, *Int. J. dv. Computer Sci. Appl.*, **5**, 2, 1-13.

31. Munyemba K.F. & Bogaert J., 2014, Anthropisation et dynamique de l'occupation du sol dans la région de Lubumbashi de 1956 à 2009, *E-revue Unilu*, **1**, 1, 1-23.
32. Mwitwa J., German L., Mwimba-Kankolongo A. & Puntodewo A., 2012, Governance and sustainability challenges in Landscape shaped by mining: Mining-forestry linkages and impacts in the Copper Belt of Zambia and the DR. Congo, *For. Pol. Econ.*, **25**, 19-30.
33. Nkuku, K.C. & M. Rémon, 2006, *Stratégies de survie à Lubumbashi (R.D. Congo)*. Enquête sur 14000 ménages urbains. Mémoires lieux de savoir : Archive congolaise, l'Harmattan, Paris.
34. O'Neill R.V., Krummel J.R., Gardner R.H., Sugihara G., Jackson B., DeAngelis D.L., Milne B.T., Turner M.G., Zygmunt B., Christensen S.W., Dale V.H. & Graham R.L., 1988, Indices of landscape ecology, *Landscape Ecol.*, **1**, 3, 153-162.
35. Odindi J., Mhangara P., Kakembo V., 2012, Remote sensing land-cover change in Port Elizabeth during South Africa's democratic transition, *South Afr. J. Sci.*, **108**, 5-6, 7. doi:10.4102/sajs.v108i5/6.886
36. Odjugo P.A.O., Enaruvbe G.O. & Isibor H.O., 2015, Geospatial approach to spatio-temporal pattern of urban growth in Benin City, Nigeria, *Afr. J. Environ. Sci. Technol.*, **9**, 3, 166-175.
37. Phiri L. & Nyirenda E., 2015, *Urban growth analysis for Lusaka city using remote sensing and GIS*. DII-2015 Conference.
38. Pontius R.G.Jr., 2000, Quantification error versus location in comparison of categorical maps, *Photogram. Eng. Remote Sens.*, **66**, 1011-1016.
39. Potapov P.V., Turubanova S.A., Hansen M.C., Adusei B., Broich M., Altstatt A., Mane L. & Justice C.O., 2012, Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000-2010, with Landsat ETM+ data, *Remote Sens. Environ.*, **122**, 106-116.
40. Sadda A.-S., Diouf A., Lawali S., Ouedraogo M., Bogaert J. & Mahamane A., 2016, Pressions anthropiques et dynamique paysagère en zone rurale semi-aride: cas de la commune de Tibiri, région de Maradi (Niger), *Tropicultura*, **34**, 2, 127-139.
41. Sebege R.J. & Gwebu T.D., 2013, Patterns, determinants, impacts and policy implications of the spatial expansion of an African capital city: the greater Gaborone example, *Int. J. Sust. Built Environ.*, **2**, 193-208.
42. Tewolde M.G. & Cabral P., 2011, Urban sprawl analysis and modeling in Asmara, Eritrea, *Remote Sens.*, **3**, 2148-2165.
43. Tian G., Jiang J., Yang Z. & Zhang Y., 2011, The urban growth, size distribution and spatio-temporal dynamic pattern of the Yangtze River Delta megalopolitan region, China, *Ecol. Model.*, **222**, 3, 865-878.
44. Trefon T. & Kabuyaya N., 2015, Les espaces périurbains en Afrique centrale. In: Bogaert J. & Halleux J.-M. (Eds). *Territoires périurbains: développement, enjeux et perspectives dans les pays du sud*. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, pp 33-42.
45. UN-Habitat, 2014, *The state of African cities 2014. Re-imagining sustainable urban transition*. United Nations, Human Settlements programs, 273p.
46. *United Nations*, 2014, *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*, New York: Department of Economic and social Affairs, Population Division.
47. Vermeiren K., Van Rompaey A., Loopmans M., Serwajja E. & Mukwaya P., 2012, Urban growth of Kampala, Uganda: Pattern analysis and scenario development, *Landscape Urban Plan.*, **160**, 199-206.
48. Vranken I., Djibu K.J.-P., Munyemba K.F., Mama A., Iyongo W.M.L., Bamba I., Laghmouch M. & Bogaert J., 2011, Ecological impact of habitat loss on African landscapes and biodiversity. In: Daniels J.A. (Ed). *Advances in environmental research*. Nova Science Publishers, New York, pp 365-388.
49. Wu J.G., Jenerette G.D., Buyantuyev A. & Redman C.L., 2011, Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: the case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States, *Ecol. Complexity*, **8**, 1, 1-8.
50. Yu X.J. & Ng C.N., 2007, Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: a case study of Guangzhou, China, *Landscape Urban Plan.*, **79**, 96-109.

Y. Useni Sikuzani, Congolais, PhD, Professeur Associé, Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage; Campus Universitaire; Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine, Lubumbashi, R.D. Congo.

S. Cabala Kaleba, Congolais, PhD, Professeur Associé, Unité Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage, Campus Universitaire; Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, Campus Universitaire, Lubumbashi, R.D. Congo.

J.-M. Halleux, Belge, PhD, Professeur, Université de Liège, Institut de Géographie Economique, Liège, Belgique

J. Bogaert, Belge, PhD, Professeur ordinaire, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique.

F. Munyemba Kankumbi, Congolais, PhD, Professeur, Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage; Campus Universitaire; Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine, Lubumbashi, R.D. Congo.



## Contribution to the Identification of a Local and Available Food Source for Sustainable Production of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) in the Democratic Republic of Congo

A.Tshinyama<sup>1,2\*</sup>, E. Proulx<sup>1</sup>, M.-H.Deschamps<sup>1</sup>, F. Okitayela<sup>2</sup>, D. Khasa<sup>3</sup> & G.W. Vandenberg<sup>1</sup>

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*- Feed- Digestibility- Production cost- By-products- DR Congo

### Summary

*This experiment was conducted in parallel with work in the Democratic Republic of the Congo (DR-Congo) with the objective to evaluate the growth performance and production costs of Nile tilapia fed diets formulated using local plant protein sources, and to compare them to those obtained with an optimized commercial fish feed. Ninety monosex male tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*; mean weight 17.3±0.2 g; mean length 9.6±0.1 cm) were reared in 9 acrylic aquaria supplied by closed water recirculation system. Three diets were tested in triplicate: 1) Rcongo, the test diet formulated by using local feed ingredients collected in the DR-Congo; 2) Rcanada, the diet formulated with the same ingredient composition as the first one, but sourced in Canada; and 3) Rcommercial, a fishmeal-based commercial control diet. In vivo feed digestibility and biochemical analysis of samples were carried out. The effects of diet and rearing time were measured on fish performance, including fish biomass, K coefficient, weight gain (WG), feed efficiency (FE), feed conversion rate (FCR), specific growth rate (SGR), protein efficiency ratio (PER), apparent digestibility coefficient (ADC) and on nutrient budget and fish biochemical composition. After four weeks, the fish achieved weight gains of 52% for Rcongo diet (17.2±0.4 to 26.2±2.6 g), 59% for Rcanada diet (17.4±0.1 to 27.6±3.2 g) and 153% for the commercial diet (17.3±0.2 to 43.8±2.0 g). The cost-benefit analysis has indicated that the Rcongo diet was economically advantageous, reducing fish production cost up to 36% compared to commercial feed.*

### Résumé

**Contribution à l'identification d'un aliment local et disponible pour une production durable du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) en République Démocratique du Congo**

*Cette étude a été conduite en parallèle à des recherches menées en République Démocratique du Congo (RD-Congo) avec l'objectif d'évaluer les performances de croissance du tilapia du Nil et les coûts de production d'un aliment produit à partir de sources de protéines végétales locales et de les comparer à ceux obtenus avec un aliment commercial optimisé. Quarante-dix tilapias juvéniles monosexes mâles de *Oreochromis niloticus* (poids moyen 17,3±0,2 g; longueur moyenne 9,6±0,1 cm) ont été élevés dans 9 aquariums en recirculation d'eau fermée et distribués de manière aléatoire. Trois rations ont été testées en triplicate: 1) la ration Rcongo, principal aliment test formulé à partir d'ingrédients locaux en RD-Congo; 2) Rcanada, aliment de même formulation que Rcongo mais dont les ingrédients ont été acquis au Canada; et 3) Rcommercial moulée commerciale et aliment témoin. L'étude de digestibilité des aliments et les analyses biochimiques des échantillons ont été réalisées. Les effets des rations et de la période d'élevage ont été évalués sur les performances zootechniques (biomasse, coefficient K, gain de poids (GP), efficacité alimentaire (EA), taux de consommation alimentaire (TCA), taux de croissance spécifique (TCS), coefficient de l'efficacité protéique (CEP), coefficient de digestibilité apparente (CDA) et sur le flux des nutriments et la composition biochimique des poissons. Au terme de 4 semaines d'essai, les poissons ont réalisé des gains de poids de 52% (17,2±0,4 à 26,2±2,6 g) pour la ration Rcongo, 59% (17,4±0,1 à 27,6±3,2 g) pour la ration Rcanada et 153% (17,3±0,2 à 43,8±2,0 g) pour la ration Rcommercial. L'analyse du rapport coût/bénéfice a indiqué que la ration Rcongo a été économiquement meilleure, car elle a permis une réduction de 36% du coût de production par rapport à Rcommercial.*

<sup>1</sup>Université Laval, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Département des sciences animales, Québec, Canada.

<sup>2</sup>Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Kinshasa, RD-Congo

<sup>3</sup>Université Laval, Centre for Forest Research and Institute for Systems and Integrative Biology, Québec, Canada

\*Corresponding author: Email: albert.tshinyama-ntumba.1@ulaval.ca



## Introduction

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) is the main farmed fish in Africa and constitutes a major source of animal protein and income in developing countries. It is recognized as the most suitable fish species for tropical aquaculture having advantages such as: relative rapid growth, disease resistance, ability to adapt to a variety of environmental conditions, ability to thrive under extensive and intensive farming, and good quality flesh highly appreciated by consumers (23, 39). Among the most produced fish around the world, *Tilapia* spp represent the second highest group with 3.49 million tons (Mt) after carp (24 Mt), followed by Clariidae with 2.97 Mt and Salmonidae with 2.36 Mt (8, 17). Thus, the improvement of tilapia farming productivity is a promising alternative as animal protein source for human consumption that can contribute to alleviate food insecurity in DR-Congo and in Africa as a whole, owing to the aforementioned advantages and its remarkable adaptation to various conditions (16, 23, 32).

However, increasing tilapia yield is highly dependent on feed ingredient quality, which also depends on diet cost and its inputs (9, 15, 16). Unfortunately, the use of optimized feeds based on fishmeal or animal by-products at elevated levels, is one of the major constraints for fish farming, given their high costs and limited availability. Additionally, the use of compounded feeds represents 50-70% of production costs in intensive fish farming (15, 16, 37). Nevertheless, the use of local and readily-available ingredients, mainly identified as agricultural by-products, could improve availability and reduce production costs. Currently, this is in agreement with many efforts identifying less expensive protein sources for total or partial replacement of fishmeal, which could contribute to optimize growth rates of fish fed these diets (16, 23, 27).

To date, a number of inexpensive by-products that can be sourced locally have been used as fish feed ingredients able to reduce production costs (15, 19, 39). Previous work has reported that the replacement of fishmeal by certain by-products from oilseeds or cereals such as wheat bran, rice bran, soybean meal (SBM), brewers grain, has supported adequate fish growth performance (7, 14, 19, 22). The use of these by-products can therefore be adapted in the DR-Congo particularly and the surrounding sub-region in general, with the ultimate aim of contributing to increasing aquaculture productivity and sustainably (3, 7, 15, 17, 22, 39).

Therefore, this study was aimed to measure digestibility, growth performance, and to evaluate nutrient budgets of tilapia fed typical agricultural by-products. Additionally, the production costs of fish and feed formulated from local vegetable protein sources were analyzed and compared to those obtained with a conventional commercial fish feed.

## Material and methods

### Fish and experimental conditions

This experiment was conducted at the Laboratoire de Recherche des Sciences Aquatiques (LARSA) at Université Laval (Québec, Canada). It was carried out in accordance with the requirements of the Animal Protection Committee of Université Laval. Ninety monosex male tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*; mean weight  $17.3 \pm 0.2$  g; mean length  $9.6 \pm 0.1$  cm) were obtained from Sand Plains Aquaculture (Ontario, Canada) and reared in nine acrylic tanks supplied by a recirculating aquaculture system. Upon arrival, fish were subjected to a two-week acclimation period. All fish were weighed, measured for total (TL) and standard lengths (SL) and transferred to 9 rectangular aquaria randomly assigned, each having a 10 liters water volume. Each aquarium was stocked with 10 juveniles, giving a density of 17 g/L. During the acclimation period, the fish were fed to satiety with a commercial feed (Corey Optimum, 2 mm dia, Fredericton, NB, Canada). The physicochemical parameters of water were regularly verified and maintained within tolerable limits for tilapia *O. niloticus* (16, 35). Temperature ( $26 \pm 0.5$  °C), dissolved oxygen ( $9.2 \pm 1.6$  mg/L), and pH ( $7.1 \pm 0.4$ ) were continuously monitored. Ammonia ( $\text{NH}_3 \leq 0.01$  mg/L), nitrites ( $\text{NO}_2 \leq 0.01$  mg/L), and dissolved  $\text{CO}_2$  ( $\leq 0.01$  mg/L) were measured weekly using a Hach® Spectrophotometer; conductivity ( $117.8 \pm 1.2$   $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), alkalinity ( $9.2 \pm 0.1$  mg/L  $\text{CaCO}_3$ ), and water hardness ( $424$  mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) were also verified weekly. The photoperiod (14 h: 10 h light: dark) was maintained using incandescent lights. A water flow of 1 L/min, corresponding to 6 tank water renewals per hour, was verified and adjusted daily. A permanent supply of freshwater and demineralised water in every aquarium was ensured according to the ratio (75: 25 w:w) in order to maintain pH 7, tolerable for tilapia (16). The behavior of fish was observed twice a day; mortalities and all anomalies observed in aquariums were recorded (decreased feed intake, incidence of disease, water flows changes...). Every day before the morning feeding, the aquaria were cleaned and siphoned off to remove biofilm and feed and fecal waste.

### Feeding and diet formulation

Diet composition and nutrient content are presented in Table 1. Three experimental diets were tested in triplicate:

- *Rcongo*, a feed formulated from local ingredients from the Democratic Republic of the Congo,
- *Rcanada*, a feed formulated with the same ingredients as the first one, but acquired in Canada and,
- *Rcommercial*, a fishmeal-based commercial feed (Corey Optimum 2 mm, Fredericton, NB, Canada).

**Table 1**  
Biochemical composition, production costs and analysis of experimental diets in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*<sup>1</sup>.

Ingredients and production costs	Experimental diets		
	Rcongo	Rcanada	Rcommercial
Wheat bran (%)	46,7	46,7	-
Wheat rice (%)	5	5	-
Corn (%)	5	5	-
Brewers grain (%)	5	5	-
Soybean meal (%)	23,3	23,3	-
Blood meal (%)	10	10	-
Bone meal (%)	2	2	-
African palm oil (%)	2	2	-
Sipernat <sup>TM</sup> 50 marker (%)	1	1	1
Feed cost USD/kg diet	0,38	0,50	1
Production costs USD/kg fish	1,45	1,81	2,28
Biochemical analysis			
Dry matter (%)	89,6	89,1	90,4
Crude protein (%)	32,2	32,0	51,5
Lipid (%)	5,0	6,3	18,3
Gross energy, Mj/kg (kcal/kg)	19,7 (4541)	19,9 (4541)	23 (5497)
Phosphorus (%)	1,0	1,0	1,4
Crude fiber (%)	9,7	9,3	1,2
Ash (%)	9,0	7,5	11,7

<sup>1</sup>Values are means of three fish in triplicate.

An indigestible silicon dioxide marker (Sipernat<sup>TM</sup>50<sup>®</sup> Evonik, Piscataway, NJ) was added to all three feeds (1% w: w).

These diets were formulated according to the methods and recommendations of nutritional requirements of Nile tilapia and the apparent digestibility of the ingredients for the species (18, 34, 35). To prepare the feed, every dry ingredient was finely ground (appx. 120  $\mu$ m) using a grinding mill (Foss CT 193 Cyclotech<sup>TM</sup>, Sweden), then weighed and homogeneously mixed. Palm oil and Sipernat<sup>TM</sup>50<sup>®</sup> were mixed together before being added to the dry ingredient mix. Distilled water was added to 45% in the final mixture to form a homogeneous dough. The commercial feed, which had been previously prepared, was milled as above and mixed (Retsch<sup>®</sup>, Düsseldorf, Germany) in order to be able to integrate the Sipernat. Using an extrusion machine with a helical screw, the dough was pressed through the 1.9 mm mesh of matrix # 9. The knife attached to the output of the granular produced 2 mm long granules. The resulting granules were spheronized to standardize the particle size, according to the Tilapia Nutritional Requirements guidelines (18). The feed produced was then dried overnight at room temperature (25 °C) under a fume hood, sieved and stored at -20 °C in sealed plastic bags until used. Feeds were allocated to three different randomly-selected aquaria. The fish were fed twice daily at 8:00 a.m. and 4:00 p.m.

In order to avoid any waste or loss of feed, the diet (4% of the body weight/day) was distributed in small meals that lasted one hour. The amount of ingested and uneaten feed was recorded daily.

#### Digestibility assays in Nile tilapia fish

The faeces collection started 3 days following initiation of feeding of experimental feed intake. This has been facilitated by self-cleaning aquariums connected to the plastic collection vessels, with a conical end facilitating collection of faeces in a timely manner. The faeces were collected twice a day before each meal in order to avoid any faeces contamination by feed. To harvest the faeces, bottles were removed from aquariums and suspended before being carefully siphoned and emptied of their contents. The faeces were stored at -20 °C, lyophilized, dried at room temperature and finely ground for biochemical analysis.

#### Experimental sampling

One day prior each sampling ( $T_0$ : initial,  $T_1$ : intermediate and  $T_2$ : final), the fish were subjected to a 24-hour fast. The initial sampling ( $T^0$ ) started on 15<sup>th</sup> day since reception of fish. All fish were anesthetized by 3-4 minute bath in tricaine methanesulfonate (MS-222) and sodium bicarbonate solution (100 mg of MS-222 + 200 mg of sodium bicarbonate/liter of water), according to the protocol described by Popovic *et al.* (38).

Anesthetized fish were counted, individually weighed (Mettler Toledo®, Switzerland), measured for TL and SL and kept by groups of 10 randomly-sampled fish in each aquarium for experiment.

Fifteen additional fish served as an initial sample ( $T_0$ ) for proximal analyses. Individual fish were weighed and measured for length. The intermediate sampling ( $T_1$ ) carried out on 29<sup>th</sup> day and all fish were counted, weighed, measured for TL and SL and 3 fish/aquarium were randomly sampled for proximal analyses. Finally, the final harvest ( $T_2$ ) carried out on 43<sup>th</sup> day; all fish were sampled counted, individually weighed, measured for length and 3 randomly sampled fish in each aquarium were retained for proximal analyses. The sampling data were used to calculate fish survival rate and growth parameters, such as, weight gain (*WG*), daily weight gain (*DWG*), specific growth rate (*SGR*), feed conversion rate (*FCR*), protein efficiency ratio (*PER*), feed efficiency (*FE*), feed intake (*FI*) and *K* coefficient, as indicated in equations I, II, III, IV, V, VI, VII and VIII.

- Survival rate (%) = (final number of fish/initial number) x 100; (I)
- *DWG* (g/d) = (mean final weight (g) – mean initial weight (g)) / day; (II)
- *WG* (g/fish) = final body weight (g/fish) – initial body weight (g/fish); (III)
- *SGR* (%/d) = [(ln final weight – ln initial weight) / time (d)] x 100; (VI)
- *FCR* = (total quantity of dry feed ingested (g) / dry weight gain of fish (g)); (V)
- *PER* = weight gain (g) / protein ingested (g); (VI)
- *FE* = weight gain (g/fish) / feed intake (g/fish); (VII)
- *K* coefficient = (body weight / body length<sup>3</sup>) x 100 (VIII)

After each sampling event ( $T_0$ ,  $T_1$  and  $T_2$ ) and digestibility assays, sampled fish were euthanized by an overdose of MS-222 according to Popovic *et al.* (38) and stored at -20°C. Individuals were autoclaved at 100 °C for 1 h 30 min, and ground using a homogenizer (Turrax® or Tissumizer®, Cologne, Germany) to obtain a homogeneous dough which was stored at -20 °C. Before use, the frozen dough was then lyophilized, dried at room temperature and finely ground to a homogeneous powder for biochemical analyses.

### Biochemical and nutrient budget analysis

Biochemical analyses of diets and tilapia carcasses (% of dry matter) were carried out at the Laboratoire du Département des sciences animales at the Université Laval, according to the Official Methods of AOAC International developed by Thiex *et al.* (47). Crude protein (N x 6.25) was determined using the Kjeldahl method, using a titration with acid ( $H_2SO_4$  95-98%) solution. Lipid and crude fiber contents were determined using the ANKOM technology (New York,

USA); lipid by extraction using diethyl ether at 90 °C for 120 minutes; and crude fiber by digestion with acid (0.255N  $H_2SO_4$ ) and base (0.313N NaOH) solutions. Gross energy was determined using the calorimetric bomb method (Parr 6300®, Illinois, USA). Moisture content was determined by drying to a constant weight overnight at 100 °C. The total ash content was determined by combustion overnight at 600 °C. The acid-insoluble ash (AIA) content was determined by using a digestion with hydrochloric (6N HCl) and nitric ( $HNO_3$ ) acid (4, 5). The apparent digestibility coefficient (ADC) of diets was determined using the indirect method of NRC (34) and Cho *et al.* (11), using Sipernat™50 as an indigestible marker found in diets. Thus, the ADC for dry matter, ash, phosphorus, nitrogen, lipids, gross energy and crude fibers were calculated according to the equation IX.

$$ADC = [1 - (F/D \times D_i/F_i)] \times 100 \quad (IX)$$

Where:

- *D* = % nutrient or kJ/g gross energy of diet;
- *F* = % nutrient or kJ/g gross energy of faeces;
- *D<sub>i</sub>* = % (digestion indicator) AIA of diet;
- *F<sub>i</sub>* = % (digestion indicator) AIA of faeces

The budget or nutrient retention by fish (*NRF*) was estimated for nitrogen (g/kg), phosphorus (g/kg) and gross energy (Mj/kg) according to Ma *et al.* (29), by the equation X.

$$NRF \text{ (g/kg or Mj/kg)} = 100 \times [NFB \times WFB] - (NIB \times WIB) / (NF \times FI) \quad (X)$$

Where:

- *NFB* = Nutrient content in final biomass (g/kg or Mj/kg);
- *NIB* = nutrient content in initial biomass (g/kg or Mj/kg);
- *WFB* = weight of final biomass (kg);
- *WIB* = weight of initial biomass (kg);
- *NF* = nutrient content in feed (g/kg or Mj/kg);
- *FI* = feed intake (g)

### Evaluation of diet and fish production cost

In this study, the economic assessment of experimental diets was focused on a cost-benefit analysis (7, 15), based on the cost per kilogram of feed consumed by fish to produce one kilogram of final biomass. The calculation has only targeted the direct costs related to the acquisition of ingredients until a product or final food (transport and inputs costs). However, indirect costs (electricity, water, manpower) usually associated with fish production and diet manufacturing were not taken into account because of the experimental design. All monetary values were then converted into US dollars (USD).



To estimate the production costs, the equations XI, XII and XIII were used.

- Diet cost (USD/kg)= amount of ingredient incorporated x ingredient cost per kg (USD); (XI)
- Fish production cost (USD/kg)= diet cost (USD/kg) / fish biomass (kg); (XII)
- Production cost reduction rate (%)= [100 x (control diet – test diet)] / control diet (XIII)

### Statistical analysis

The software statistical package SPSS Statistics 21 was used to perform statistical analyses. The parameters measured, using a completely randomized design, were subjected to an analysis of variance (two-way ANOVA) according to the multivariate or univariate linear model. In the case of significant differences ( $P < 0.05$ ), the results were subjected to Tukey's multiple comparison test ( $P < 0.05$ ) to determine the differences between treatment means, and to determine the factor effects and their interactions.

## Results

### Evaluation of nutritional and growth performance in fish

The results of this experiment revealed a highly significant interaction ( $P < 0.0001$ ) between the feeding ( $P < 0.0001$ ) and the rearing time ( $P < 0.0001$ ) regarding fish biomass and lengths (TL and SL) (Table 2). At the end of the experiment, fish achieved a mean weight gain of 52% ( $17.2 \pm 0.4$  to  $26.2 \pm 2.6$  g) for the *Rcongo* test group, 59% ( $17.4 \pm 0.1$  to  $27.6 \pm 3.2$  g) for the *Rcanada* group and 153% ( $17.3 \pm 0.2$  to  $43.8 \pm 2.0$  g) for the *Rcommercial* control group. Indeed, diet exerted a significant effect on the fish length-weight ratio (K coefficient) ( $P = 0.019$ ). However, the Tukey's multiple comparison test ( $P < 0.05$ ) did not reveal any significant difference between the *Rcongo* and *Rcanada* diets on the biomass and fish lengths. As illustrated in Table 3, the feeding ( $P = 0.602$ ) and the rearing time ( $P = 0.810$ ) did not have a significant effect on fish survival rate, because no difference was observed for this variable. However, the feeding alone influenced very significantly all measured growth variables ( $P < 0.0001$ ), such as weight gain, feed intake, feed efficiency, FCR, SGR and PER. The commercial diet was significantly higher than the *Rcongo* and *Rcanada* test-diets for these parameters. Table 3 also showed that the rearing time resulted in a very significant effect on weight gain ( $P < 0.0001$ ) but slightly significant on SGR ( $P = 0.036$ ). The interaction between the feeding and rearing time influenced highly a fish weight gain ( $P < 0.0001$ ), while it had a low impact on food consumption ( $P = 0.055$ ).

### Apparent digestibility of nutrients in tilapia

The results of nutrient digestibility experiments are summarized in Table 4. The apparent digestibility coefficients (ADC) of nutrients analyzed (dry matter, ash, phosphorus, crude protein, lipids and energy) were significantly affected by the feeding ( $P < 0.0001$ ). Tilapia fed with *Rcongo* test-diet showed a higher phosphorus ( $P < 0.0001$ ) and protein ( $P = 0.001$ ) ADC than those of the *Rcommercial* control group. In contrast, the ADC of dry matter, ash, energy and lipids were higher in tilapia of control group compared to those of the test group ( $P < 0.0001$ ). The rearing time influenced only the digestibility of crude ash ( $P = 0.003$ ), phosphorus ( $P = 0.011$ ), proteins ( $P = 0.033$ ) and lipids ( $P = 0.010$ ). A positive interaction was observed only on the digestibility of crude ash and phosphorus ( $P = 0.001$ ). In addition, the Tukey test revealed significant effects of three diets on the digestibility of dry matter, phosphorus, energy and lipids ( $P < 0.0001$ ). However, no differences were recorded between the *Rcongo* and *Rcommercial* diets on protein digestibility ( $P = 0.339$ ).

### Nutrient budget in tilapia

The present experiment showed a very significant effect of feeding on intake and nutrient excretion (Table 5), including nitrogen ( $P = 0.001$ ), phosphorus ( $P < 0.0001$ ) and energy ( $P < 0.0001$ ). Nutrient excretion was higher in the fish fed with both *Rcongo* and *Rcanada* test diets than control diet. However, the nitrogen ( $P = 0.817$ ) and phosphorus ( $P = 0.139$ ) retention was not affected by the diet, except for energy ( $P < 0.004$ ), which was significantly higher in the fish of control group compared to the test group. The interaction between the feeding and the rearing time did not influence the nutrient budget in fish.

### Biochemical composition of fish

The results of the biochemical analyses performed at the initial ( $T_0$ ), intermediate ( $T_1$ ) and final time ( $T_2$ ) are shown in Table 6. Diet affected the biochemical composition of tilapia ( $P < 0.001$  to  $P = 0.036$ ). The crude ash and protein contents were higher in carcasses of the *Rcongo* test group than those of the *Rcommercial* control group ( $P = 0.001$ ). The inverse situation was observed with lipids ( $P < 0.003$ ) and energy ( $P < 0.001$ ), whose contents were higher in the carcasses of the control group than in the test batch. However, the interaction effect between the two factors did not generally affect the biochemical composition of tilapias, except for dry matter ( $P = 0.042$ ) and energy ( $P = 0.024$ ), which were slightly affected by rearing time. In general, for all variables measured in the present experiment, the Tukey test ( $P < 0.05$ ) did not reveal any significant difference between the *Rcongo* and *Rcanada* test diets, except when they were compared with the commercial diet.



**Table 2**  
Effects of diets and rearing time (4 weeks) on the biomass, total and standard length and K coefficient in Nile tilapia<sup>1</sup>.

Parameters	Experimental diets									SE	P value <sup>2</sup>		
	Rcongo			Rcanada			Rcommercial				Diet	Time	D x T
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>				
Biomass (g)	17,2 <sup>a</sup>	21,2 <sup>b</sup>	26,2 <sup>c</sup>	17,4 <sup>a</sup>	21,7 <sup>b</sup>	27,6 <sup>c</sup>	17,3 <sup>a</sup>	26,9 <sup>c</sup>	43,8 <sup>d</sup>	1,6	<0,001	<0,001	<0,001
Total length (cm)	9,7 <sup>a</sup>	10,5 <sup>b</sup>	11,1 <sup>c</sup>	9,6 <sup>a</sup>	10,5 <sup>b</sup>	11,3 <sup>c</sup>	9,6 <sup>a</sup>	11,2 <sup>bc</sup>	13,0 <sup>d</sup>	0,2	<0,001	<0,001	<0,001
Standard length (cm)	8,1 <sup>a</sup>	8,8 <sup>b</sup>	9,4 <sup>c</sup>	8,1 <sup>a</sup>	8,9 <sup>b</sup>	9,4 <sup>c</sup>	8,1 <sup>a</sup>	9,4 <sup>bc</sup>	11,0 <sup>d</sup>	0,2	<0,001	<0,001	<0,001
K coeff. (kg/cm <sup>3</sup> )	1,90 <sup>b</sup>	1,83 <sup>a</sup>	1,93 <sup>bc</sup>	1,95 <sup>c</sup>	1,87 <sup>ab</sup>	1,89 <sup>b</sup>	1,96 <sup>c</sup>	1,96 <sup>c</sup>	1,98 <sup>c</sup>	0,1	0,019	0,128	0,480

<sup>1</sup>Values are means of three fish in triplicate; <sup>2</sup>Two-way ANOVA (P<0.05); Values with the different letters within the same row are significantly different according to the Tukey's test (P<0.05); SE: Standard error. T<sub>0</sub>: initial sampling; T<sub>1</sub>: intermediate sampling; T<sub>2</sub>: final sampling.

**Table 3**  
Effects of diets and rearing time (4 weeks) on some nutritional and zootechnical performances in Nile tilapia<sup>1</sup>.

Parameters	Experimental diets						SE	P value <sup>2</sup>		
	Rcongo		Rcanada		Rcommercial			Diet	Time	D x T
	T <sub>0</sub> -T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub> -T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub> -T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>				
DWG (g/d)	0,3 <sup>a</sup>	0,4 <sup>b</sup>	0,3 <sup>a</sup>	0,4 <sup>b</sup>	0,7 <sup>c</sup>	1,2 <sup>d</sup>	0,1	<0,001	0,002	0,025
WG (g/fish)	4,0 <sup>a</sup>	5,5 <sup>b</sup>	4,3 <sup>a</sup>	6,4 <sup>c</sup>	9,6 <sup>d</sup>	15,8 <sup>e</sup>	1,0	<0,001	<0,001	<0,001
FI (g/fish)	6,6 <sup>a</sup>	8,9 <sup>b</sup>	6,9 <sup>a</sup>	10,5 <sup>b</sup>	8,6 <sup>b</sup>	14 <sup>c</sup>	0,6	<0,001	<0,001	0,055
FE	0,6 <sup>a</sup>	0,6 <sup>a</sup>	0,6 <sup>a</sup>	0,6 <sup>a</sup>	1,1 <sup>b</sup>	1,1 <sup>b</sup>	0,1	<0,001	0,574	0,723
FCR	1,7 <sup>a</sup>	1,7 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	1,7 <sup>a</sup>	0,9 <sup>b</sup>	0,9 <sup>b</sup>	0,1	0,001	0,471	0,428
SGR <sub>(%/d)</sub>	1,5 <sup>a</sup>	1,7 <sup>b</sup>	1,3 <sup>a</sup>	1,9 <sup>b</sup>	3,2 <sup>d</sup>	3,2 <sup>d</sup>	0,2	<0,001	0,036	0,218
PER	2,1 <sup>a</sup>	2,2 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	2,4 <sup>b</sup>	2,4 <sup>b</sup>	0,1	0,003	0,534	0,874
Survival (%)	100	95,2	96,7	100	100	100	0,9	0,602	0,810	0,269

<sup>1</sup>Values are means of three fish in triplicate; <sup>2</sup>Two-way ANOVA (P<0.05); Values with the different letters within the same row are significantly different according to the Tukey's test (P<0.05); SE: Standard error. T<sub>0</sub>-T<sub>1</sub>: rearing from initial to intermediate sampling; T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>: rearing from intermediate to final sampling. DWG: Daily weight gain; WG: Weight gain; FI: feed intake; FE: feed efficiency; FCR: feed conversion rate; SGR: specific growth rate; PER: protein efficiency ratio.

**Table 4**  
Effects of diets and rearing time (4 weeks) on the apparent digestibility coefficient (ADC) of nutrients and energy in Nile tilapia<sup>1</sup>.

Nutrients	Experimental diets						SE	P Value <sup>2</sup>		
	Rcongo		Rcanada		Rcommercial			Diet	Time	D x T
	T <sub>0</sub> -T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub> -T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub> -T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>				
Dry matter (%)	55,1 <sup>a</sup>	53,7 <sup>a</sup>	45,1 <sup>b</sup>	45,5 <sup>b</sup>	80,4 <sup>c</sup>	79,3 <sup>c</sup>	3,6	<0,001	0,578	0,816
Ash (%)	40,1 <sup>bc</sup>	31,4 <sup>a</sup>	37,0 <sup>b</sup>	31,0 <sup>a</sup>	42,4 <sup>c</sup>	45,6 <sup>d</sup>	1,4	<0,001	0,003	0,001
Phosphorus (%)	59,1 <sup>a</sup>	47,4 <sup>ab</sup>	38,1 <sup>b</sup>	31,6 <sup>c</sup>	43,0 <sup>d</sup>	48,2 <sup>e</sup>	2,2	<0,001	0,011	0,001
Crude protein (%)	90,8 <sup>a</sup>	88,9 <sup>b</sup>	87,2 <sup>c</sup>	87,2 <sup>c</sup>	89,7 <sup>a</sup>	88,6 <sup>b</sup>	0,4	0,001	0,033	0,186
Energy (MJ/kg)	61,5 <sup>a</sup>	61,3 <sup>a</sup>	49,7 <sup>b</sup>	50,5 <sup>b</sup>	87,3 <sup>c</sup>	86,2 <sup>c</sup>	3,8	<0,001	0,876	0,809
Lipid (%)	77,8 <sup>a</sup>	71,7 <sup>b</sup>	60,5 <sup>c</sup>	54,5 <sup>d</sup>	94,4 <sup>e</sup>	94,0 <sup>e</sup>	3,7	<0,001	0,010	0,193

<sup>1</sup>Values are means of three fish in triplicate; <sup>2</sup>Two-way ANOVA (P<0.05); Values with the different letters within the same row are significantly different according to the Tukey's test (P<0.05); SE: Standard error. T<sub>0</sub>-T<sub>1</sub>: rearing from initial to intermediate sampling; T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>: rearing from intermediate to final sampling.

**Table 5**  
Effects of diets and rearing time (4 weeks) on the nutrient budget (nitrogen, phosphorus) and energy in Nile tilapia<sup>1</sup>.

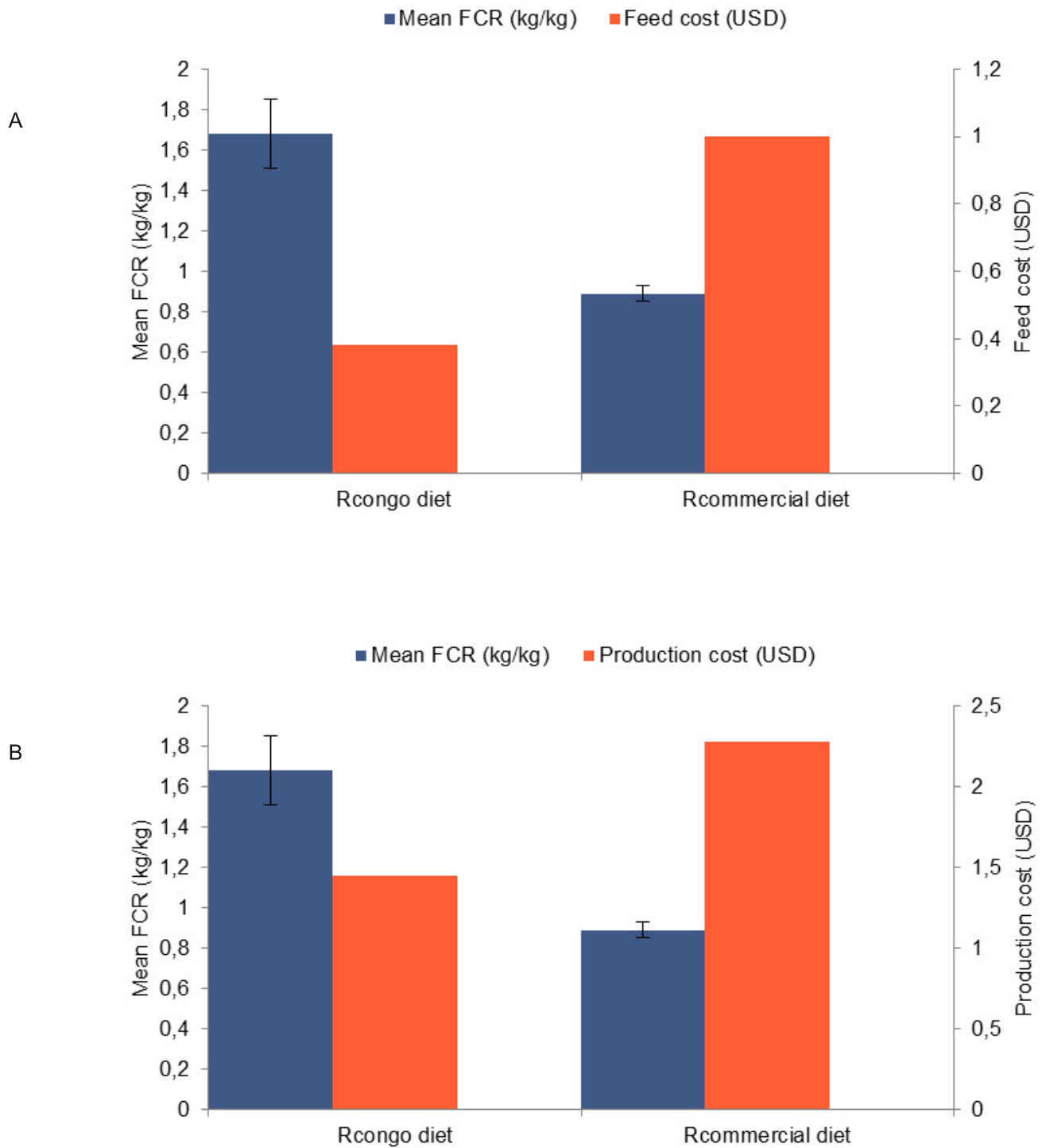
Nutrients	Experimental diets						SE	P Value <sup>2</sup>		
	Rcongo		Rcanada		Rcommercial			Diet	Time	D x T
	T <sub>0</sub> -T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub> -T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>	T <sub>0</sub> -T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>				
Nitrogen (N) (g/kg)										
Intake N	76,3 <sup>a</sup>	74,4 <sup>a</sup>	75,4 <sup>a</sup>	75,5 <sup>a</sup>	66,9 <sup>b</sup>	65,9 <sup>b</sup>	1,2	0,001	0,585	0,878
Retained N	16,5	15,3	15,3	17,1	16,1	17,2	0,4	0,817	0,552	0,446
Rejected N	59,8 <sup>a</sup>	59,1 <sup>a</sup>	60,1 <sup>a</sup>	58,4 <sup>a</sup>	50,8 <sup>b</sup>	48,8 <sup>b</sup>	1,3	0,001	0,402	0,949
Phosphorus (P) (g/kg)										
Intake P	14,5 <sup>a</sup>	14,1 <sup>a</sup>	15,3 <sup>b</sup>	15,3 <sup>b</sup>	11,6 <sup>c</sup>	11,4 <sup>c</sup>	0,4	<0,001	0,587	0,902
Retained P	5,2	5,3	5,2	4,3	6	5,9	0,2	0,139	0,484	0,623
Rejected P	9,3 <sup>a</sup>	8,9 <sup>a</sup>	10,1 <sup>a</sup>	11,1 <sup>a</sup>	5,5 <sup>b</sup>	5,5 <sup>b</sup>	0,6	<0,001	0,740	0,573
Energy (E) (MJ/kg)										
Intake E	29,3 <sup>a</sup>	28,5 <sup>a</sup>	29,3 <sup>a</sup>	29,4 <sup>a</sup>	18,7 <sup>b</sup>	18,4 <sup>b</sup>	1,2	<0,001	0,589	0,867
Retained E	5,1 <sup>a</sup>	5,5 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>	8,0 <sup>b</sup>	9,5 <sup>b</sup>	0,5	0,004	0,305	0,773
Rejected E	24,1 <sup>a</sup>	23,0 <sup>a</sup>	23,7 <sup>a</sup>	23,3 <sup>a</sup>	10,7 <sup>b</sup>	8,9 <sup>b</sup>	1,6	<0,001	0,225	0,806

<sup>1</sup>Values are means of three fish in triplicate; <sup>2</sup>Two-way ANOVA (P<0.05); Values with the different letters within the same row are significantly different according to the Tukey's test (P<0.05); SE: Standard error. T<sub>0</sub>-T<sub>1</sub>: rearing from initial to intermediate sampling; T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>: rearing from intermediate to final sampling.

**Table 6**  
Effects of diets and rearing time (4 weeks) on the biochemical composition (% DM) of Nile tilapia body<sup>1</sup>.

Nutrients	T <sub>0</sub> <sup>2</sup>	Experimental diets						SE	P Value <sup>3</sup>		
		Rcongo		Rcanada		Rcommercial			Diet	Time	D x T
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>				
H <sub>2</sub> O (%)	73,2 <sup>a</sup>	74,0 <sup>a</sup>	74,0 <sup>a</sup>	73,9 <sup>a</sup>	73,6 <sup>a</sup>	71,9 <sup>b</sup>	70,6 <sup>c</sup>	0,3	0,001	0,042	0,514
Dry matter (%)	26,8 <sup>a</sup>	26,0 <sup>a</sup>	26,0 <sup>a</sup>	26,1 <sup>a</sup>	26,4 <sup>a</sup>	28,1 <sup>b</sup>	29,4 <sup>c</sup>	0,3	0,001	0,042	0,514
Ash (%)	12,5 <sup>a</sup>	12,9 <sup>a</sup>	13,0 <sup>a</sup>	12,8 <sup>a</sup>	12,7 <sup>a</sup>	12,1 <sup>b</sup>	11,6 <sup>b</sup>	0,1	0,001	0,079	0,414
Crude protein (%)	52,1 <sup>ab</sup>	54,8 <sup>a</sup>	54,1 <sup>a</sup>	53,7 <sup>a</sup>	54,6 <sup>a</sup>	51,2 <sup>b</sup>	50,1 <sup>b</sup>	0,5	0,001	0,404	0,519
Lipid (%)	32,8 <sup>ab</sup>	30,3 <sup>a</sup>	31,4 <sup>a</sup>	30,9 <sup>a</sup>	31,0 <sup>a</sup>	34,3 <sup>b</sup>	36,2 <sup>b</sup>	0,6	0,003	0,179	0,748
Energy (MJ/kg)	25,6 <sup>ab</sup>	25,1 <sup>a</sup>	25,4 <sup>a</sup>	25,3 <sup>a</sup>	25,2 <sup>a</sup>	25,9 <sup>b</sup>	26,5 <sup>c</sup>	0,1	<0,001	0,024	0,276
Phosphorus (%)	2,1	2,2	2,2	2,2	2	2,1	2	0,1	0,036	0,060	0,381

<sup>1</sup>Values are means of three fish in triplicate. <sup>2</sup>The initial sampling is unique for all three treatments. <sup>3</sup>Two-way ANOVA (P<0.05); Values with the different letters within the same row are significantly different according to the Tukey's test (P<0.05); SE: Standard error. T<sub>0</sub>: initial sampling; T<sub>1</sub>: intermediate sampling; T<sub>2</sub>: intermediate sampling.



**Figure 1:** Comparison between food consumption (kg feed/kg fish) and costs of feeding (USD/kg feed) (A) and fish production (USD/kg fish) (B) of Nile tilapia rearing during 4 weeks. FCR: feed conversion rate in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*

### Diets and fish production costs

By considering separately the cost of each ingredient incorporated in diet formulation, the production cost of the *Rcongo* test diet was estimated at USD 0.38/kg of food, while the cost of acquiring the commercial feed was about USD 1/kg (Figure 1; Table 1). Thus, the cost/benefit ratio between feeding and fish biomass production allowed to estimate the production costs of fish at USD 1.45 and 2.28/kg, respectively, for the *Rcongo* test food and the commercial control feed. These data were used to calculate the cost reduction rates of feed and fish production in the test group, i.e.,  $62\% = [100 \times (\text{USD } 1 - \text{USD } 0.38)] / \text{USD } 1$  for the feed, and  $36\% = [100 \times (\text{USD } 2.28 - \text{USD } 1.45)] / \text{USD } 2.28$  for fish.

### Discussion

In the present study, the physico-chemical quality of tank water was maintained within limits tolerated by Nile tilapia, and the biochemical analyses of the ingredients used (Table 1) revealed adequate nutrient levels according to current recommendations. In terms of particle size and texture, the manufactured food pellets showed better cohesion of the particles (16, 35). The use of local ingredients as an alternative to reduce the cost of feeding did not affect fish survival. Throughout the experiment, fish showed no pathological signs, except for a few minor mortality cases (Table 3), likely associated with routine manipulations (16).

Globally, the best growth performance was recorded in fish fed with *Rcommercial* control diet compared to *Rcongo* and *Rcanada* diets. The *K* coefficient was higher in the fish of control group (1.97) than test group (1.87) (Table 2). According to Williams (49), as fish mass increases for a given length, *K* coefficient increased, implying that the fish in the control group demonstrated a superior condition factor (1), probably influenced by a high nutrient and energy density of the control diet. However, the lowest result observed in particular with the *Rcongo* test diet could be due to the nature and proportion of the plant ingredients used. It has been reported that an increase in the amount of plant by-products may negatively affect fish growth performance and feed conversion (6, 8, 24, 30). This explains the lowest SGR observed in the fish fed with the *Rcongo* test diet (1.6 vs. 3.2%/d for the control diet), and the highest FCR values induced by this diet, i.e., 1.7 vs. 0.9 for commercial diet (Table 3). Similarly, numerous studies have also demonstrated the link between plant ingredient type, their incorporation levels in diets and fish growth performance. For example, Azaza *et al.* (6) reported lower growth rates by incorporating 30% of tomato meal into the diet of monosex male tilapia juveniles (*O. niloticus*), with higher growth rates at 10 and 20% inclusion.

Additionally, the experiment of Richter *et al.* (41) showed that the inclusion of moringa meal at 10% in *O. niloticus* diet did not adversely affect fish growth, whereas by increasing up to 30%, the authors observed a growth decreased of 73% compared to control group.

The low performance expressed by the *Rcongo* test group fish could also be related to the requirements of the *Oreochromis niloticus* strain used in this study, which is a genetically improved fish tilapia (GIFT). Indeed, according to some previous studies, GIFT strains do not adequately express their production potential under conditions of low food inputs (agro-industrial by-products) (16, 23). Subsequently, differential results might be possible if the test diet based on local by-products had been tested on local tilapia strain, considered to be more resistant and easily adaptable to a wide range of adverse conditions.

In this experiment, the apparent digestibility coefficient (ADC) values of the nutrients for test diets are relatively low compared to commercial diet, especially for dry matter, energy, lipids (Table 4). These values are nevertheless within the limits observed by some authors, for example Wei *et al.* (48) obtained ADC values ranging from 85.7 to 94.4% for protein, 63.0 to 94.6% for energy and 33.0 to 83.4% for phosphorus, using six different sources of plant proteins in tilapia *O. niloticus*. Azaza *et al.* (6) observed similar values of protein ADC ranging from 73.7 to 90.1% in tilapia *O. niloticus* fed with diet based on different levels of tomato meal. It is also important to note that the high incorporation of wheat bran at about 50% in the *Rcongo* test diet could result in low ADC registered compared to the commercial diet. This corroborates the work of Wei *et al.* (48) who reported lower protein and energy ADC for wheat bran compared to wheat meal.

Regarding nutrient budgets (Table 5), the present results did not demonstrate an impact of diet on nitrogen and phosphorus retention in fish, except for energy, which was significantly higher in fish that consumed the control diet compared to those of the test group. This could be explained by the dietary protein content that affects nutrient utilization in fish (13). Indeed, Catacutan et Coloso (10) reported that when dietary protein exceeds the requirements of tilapia, the excess of these will result in oxidation for energy rather than for growth. This may justify higher values of retention (8.0 and 9.5 Mj/kg) and body content (25.9 and 26.5 Mj/kg) in energy registered in fish that ingested the commercial diet containing 51.5% protein, a level that was likely excessive for fish over 15 g (35). Similar observations were made by Ma *et al.* (29) by evaluating growth and nutrient retention in *O. niloticus* x *O. aureus* tilapias fed with different levels of dietary protein.



These authors recorded the peak of nutrient retention with a dietary protein level of 280 g/kg, while a decrease in nutrient retention was observed with a protein increase of 310 g/kg, this implies that the tilapias needs were satisfied with 280 g/kg of protein. With regards to the present results, the limitations observed in the conversion and digestibility of the test feed could also explained by the effect of other nutritional and physiological parameters, including the high content of antinutritional factors (enzyme inhibitors, phytate, carbohydrates, fiber, etc.) contained in plant ingredients from some oilseeds and cereals, such as soybeans, wheat, maize (8, 27, 30, 31).

According to the aforementioned researchers, the predominance of these agro-industrial by-products (bran, cakes) in the diets exposes fish to antinutritional factors, which interfere with their growth and digestive capacity. Considering the dietary formulations (Table 1), these by-products constitute the major ingredients incorporated in the test diet with more than 87% of inclusion, whose wheat bran 47%, soybeans 23%, rice bran 5% and brewers grain 5%; these products are known for their high content of enzyme inhibitors and their deficiency in essential amino acids. The results of Nobah *et al.* (33) showed that by comparing to the control food, by-product-based feed did not induce better growth rates in hybrid fish from *T. zillii* (male) x *T. guineensis* (female). These authors found the values of 0.18 g/d for rice bran, 0.19 g/d for wheat bran and 0.20 g/d for corn bran vs. 0.56 g/d for the control food. These results, however, show a lower growth rate than those of the present experiment (on average 0.35 g/d for the test diet), although here the wheat bran has been incorporated at approximately 50% level. In addition, compared to corn bran, Bamba *et al.* (7) showed no better growth of fish with wheat and rice brans. El-Sayed (15) reported a significant decrease of growth and food efficiency in Nile tilapia due to a poor amino acid balance and the presence of trypsin inhibitors caused by replacement of fishmeal by soybean meal 30%. Recently a work of Ly et Ba (28) has supported that the inclusion of soybeans over 50% or 60% had reduced the growth performance and food digestibility in Nile perch (*Lates niloticus*). Thus, the results obtained by these different authors suggest that the poor growth and the low PER registered with the *Rcongo* test diet may be associated to trypsin inhibitors presence and the essential amino acid deficiency in by-products, which increases food catabolism and nitrogen losses in fish. However, the essential amino acid supplementation of these diets improves growth and dietary utilization, and the heat processing of these ingredients (e.g. soybeans) inactivates protease inhibitors (15, 30). Because of their very high levels in plant by-products, the antinutritional effects of carbohydrates on growth

reduction and nutrient digestibility have been reported generally in fish and particularly in tilapia and carp, although these are omnivorous (25). Indeed, carbohydrates are generally not digestible by monogastrics or fish, except starch which is poorly digested by high trophic-level fish due to limited activity of amylase (31, 46). Carbohydrate concentration increases with incorporation of plant ingredients to replace fishmeal, resulting in a decrease in crude ash in the food (12), as shown in Table 1. However, according to the aforementioned authors, protein digestibility can be improved by providing a supplementation of limiting amino acids in soybean meal-based diets.

The negative effects of food phytates may also be mentioned. Although in Table 5, phosphorus ADC values appear to be higher for the test diet than for the control (53.3 vs. 45.6%, respectively), the nutrient budget analysis (Table 6) reveals however that, the fecal excretion of phosphorus was higher in test group fish compared to those of the control group. This may imply the presumed effect of phytate on phosphorus digestibility and consequently on the digestive capacity of fish (8). Indeed, phytate is known for its lack of availability for fish due to the absence of endogenous or microbial phytase in the gastrointestinal tract. Phytate decreases the phosphorus bioavailability and the protein digestibility by forming an indigestible phytic acid-protein complex in monogastrics (42). It also forms complexes with bivalent minerals thus reducing their digestive utilization. However, supplementation of phytase in plant-based diets is indispensable for phytate digestion, as it increases the retention of dietary phosphorus in fish and improves intestinal assimilation (8, 42).

The fiber concentrated in plant ingredients also represents another factor that affects the digestive capacity of fish. Many authors have reported their negative effects on nutrient and energy digestibility (16, 31). Biochemical analysis of experimental diets (Table 1) show that the test feed contains a high crude fiber content compared to commercial feed, i.e., 9.7% vs. 1.2%, respectively. This could also justify the poor growth performance noted in fish belonging to the *Rcongo* test group. Similar observations have recently been made with related work as well as in other fish species. For example, Obirikorang *et al.* (36) observed a reduction in dry matter ADC in *O. niloticus* fed with two test diets based on coconut meal and palm kernel cake containing fiber content compared to the control diet, i.e., 9.5 and 11.7 vs. 3.4, respectively. Similarly, by substituting fishmeal at 51 and 60% by soybean meal in Nile perch juvenile, Ly et Ba (28) noted a reduction in growth and feed conversion with increasing fiber content, compared to the control diet, i.e., 7.56 and 7.64% vs. 3.80%, respectively.

Indeed, it is documented that the vegetable fiber is not digestible by the fish whatever the species. They can reduce protein and lipid digestibility by blocking them in complexes that prevent access of digestive enzymes to their substrate. A high inclusion of dietary fiber also accelerates gastrointestinal transit or peristalsis, reducing residence time and nutrient absorption, resulting in a decrease in digestible energy (31, 44). Thus, referring to the present results and to the aforementioned authors, it is important to stress the presumed consequence of food peristalsis acceleration in fish, which would expose them to a prolonged fast, because they have received a diet that corresponds to 4% of their weight, whereas an ad libitum feed intake would compensate nutrients losses associated to rapid feed transit due to high dietary fiber content.

Regarding the biochemical composition of fish carcasses, the present results show that the formulated diets had more or less an impact on the body nutrient contents (Table 6). Compared to the initial fish proximal analyses, dry matter contents decreased in the carcasses of the test groups and significantly increased in those of the control groups. The test diet induced higher carcass protein (54.5%) and crude ash (13.0%) compared to the control (50.7 and 11.9%, respectively) (Table 6). In contrast, the inverse situation was recorded with the fish in the control group, which showed higher contents of lipids (35.3%) and energy (26.2 Mj/kg) than those of the test group (30.9% and 25.3 Mj/kg, respectively). Analyses of these results suggests an imbalance between protein and body lipid content, which may be due to the phosphorus/energy (P/E) ratio in the feed, according to Coutinho *et al.* (13). Thus, the P/E ratio and dietary protein content are important factors affecting nutrient digestibility in fish. These aforementioned authors reported that the increase in P/E ratio results in a decrease in energy content than to that of dietary protein and finally leads to a reduction in body fat. Similarly, other studies have also reported the relationship between body protein content increase, body fat content decrease and protein content increase in feed (2, 29). Indeed, the present trends in fish body composition corroborate similar assays that reported the significant or non-significant effect of incorporating plant ingredients in fish diets. For example, Carvalho *et al.* (9) reported lower contents of body fat in Nile tilapia fed with diets rich in palm kernel cake and cassava leaves, while body protein content was correlated with that of feed ingested by fish. Ly et Ba (28) reported a decrease in body lipid content in Nile perch (*Lates niloticus*) fed with high incorporation of soybean meal. Similar results were still observed by Azaza *et al.* (6) which reported a decrease in lipid content in Nile tilapia carcasses fed with diets rich in plant-derived by-products.

In contrast, by substituting fishmeal by different levels of rapeseed meal in *O. niloticus*, Luo *et al.* (27) did not observe the feed effect on the biochemical composition of fish carcasses.

Based on these data, the results recorded with the *Rcongo* test feed, corroborate most studies aiming at the similar objective, in the perspective of formulating a cost-effective feed by valorization of the local and available by-products. Including, Sousa *et al.* (45) observed a similar weight gain of 0.30 to 0.36 g/d in Nile tilapia fed with different levels of SBM. When comparing three populations of *O. niloticus*, Lazard (23) reported a mean FCR of  $1.71 \pm 0.05$ , a value similar to that found in our experiment. The incorporation of agricultural by-products (soybean and cottonseed meal, corn bran, rice bran and millet bran) in the diets of *O. niloticus* fry enabled Bamba *et al.* (7) to record FCR (1.13 to 1.87) and PER (1.69 to 3.45), values similar to those of the present study. Luo *et al.* (27) observed the FCR ranging from 1.58 to 1.74 and PER from 1.83 to 2.04 in tilapia *O. niloticus* by replacing fishmeal with different levels of rapeseed meal. Furthermore, Azaza *et al.* (6) found the SGR values ranging from 2.01 to 2.46%/d, FCR from 1.48 to 2.11 and PER from 1.50 to 2.1 with *O. niloticus* fed tomato meal. However, compared to our results, Abdel-Tawwab *et al.* (2) reported in Nile tilapia a lower PER ranging from 0.99 to 1.53 in juveniles and 1.19 to 1.92 in fingerlings fed with SBM, wheat bran and corn bran-based diets. When substituting fishmeal by SBM in *O. niloticus*, Wu *et al.* (50) found values slightly lower than those of the present study (FCR 1.97 to 2.35 and PER 1.12 to 1.30), despite supplementation of synthetic amino acids and an animal-based protein meal. Ramos *et al.* (40) fed Nile tilapias with industrial by-products (cassava leaf, mesquite bean, cotton, cocoa, soursop and African oil palm kernel) and also obtained low CDA compared to our results, i.e., dry matter 26.0 to 57.6%, protein 17.9 to 80.1% and energy 14.1 to 65.8%. On the other hand, with the use of four diets based on cocoa meal, mesquite meal, palm kernel cake and manioc leaves in Nile tilapia Carvalho *et al.* (9) reported slightly higher values compared to our study, from 1.18 to 1.33 for FCR, 2.03 to 2.16%/day for SGR and from 2.78 to 3.14 for PER.

However, minor discrepancies observed in these experimental results with similar studies could be associated to variations in several parameters, including age, size and fish species; composition and feed processing; crop systems; types and nutritional value of ingredients and their contents of antinutritional factors (15, 27).

It should also be added that the lower growth performance observed in fish fed with the *Rcongo* test diet, could be considered as a response to mineral and vitamin deficiencies probably attributed to the lack of dietary supplementation (35, 43).

According to some authors, the deficiencies in vitamins (A, B2, B7, B9, C and E) and microelements (calcium, manganese) in Nile tilapia usually result in a syndrome of growth disorders and reduction in dietary consumption and efficacy. This can be observed in intensive fish farming where deficiencies (e.g. vitamin C) are sometimes due to inadequate formulation or prolonged storage of diets at very high temperatures (16, 18, 21, 26, 34). However, Jauncey (21) stated that vitamins and microelements deficiencies in tilapia are sometimes rare and difficult to evaluate under controlled farming conditions (fertilized ponds...), as most of these constituents exist in endogenous form in dietary ingredients and pond water. In addition, the vitamins contained in the natural foods of fertilized ponds and the microbial biosynthesis of some of them in the intestines contribute significantly to the vitamin requirements of Nile tilapia.

At the end of this study, the production cost of the *Rcongo* test-feed was USD 0.38/kg, while that of *Rcommercial* control-feed acquisition was USD 1/kg (Figure 1; Table 1). This comparison reveals that the *Rcongo* test feed costs 2.6 times less expensive than the commercial feed. According to the sustainable development approach targeted by this study, the cost of test feed meets the economic requirements of animal production in rural and peri-urban areas (3, 17, 20). For profitable production, these reports recommend that feed costs be less than USD 0.5/kg, as feeding represents the highest expenditure for monogastric livestock (pig, poultry, fish, etc.) (8, 15, 16). Thus, in the light of feed costs and final biomass, the fish production cost was estimated at USD 1.45/kg for the test feed and USD 2.28/kg for commercial feed (Figure 1). This implies that the use of *Rcongo* test-diet reduces feed cost at 62%, and fish production cost at 36%, compared to *Rcommercial* control-feed. However, this fish production cost is inversely proportional to experimental feeding duration and fish growth. It would appear more economical to extend the duration of this experiment, as several studies recommend 8

to 16 weeks to observe the significant effects of feeding on tilapias growth (16, 27, 29, 32). Finally, the economic evaluation of the present data demonstrated that, although the *Rcongo* test feed induced lower growth performance compared to the control feed, the cost-benefit analysis indicated that it was economically higher. This is in agreement with the objectives of many similar research mentioned above.

## Conclusion

This study has showed a tendency regarding the growth performance and production cost of Nile tilapia. The main objectives have been achieved in terms of the valorization of plant ingredients and the reduction of fish production costs. The cost-benefit ratio indicated that the *Rcongo* test-feed is economically advantageous versus the commercial control feed. The identification of more available and less expensive feed is a key criterion for the development of freshwater fish farming. Thus, standardization of using these resources is necessary and should make them more applicable especially in the context of production in rural areas. Therefore, for future perspectives, it is imperative to evaluate different strategies for rational use of these resources and the control of antinutritional factors which limit their use.

## Acknowledgements

This study was made possible by the technical support from the Groupe de Recherche en Recyclage Biologique et Aquaculture (GREREBA). It was funded by the Programme Élargi de Formation en Gestion des Ressources Naturelles dans le Bassin du Congo (PEFOGRN-BC) with the financial collaboration of the Réseau des Institutions de Formation Forestière et Environnementale en Afrique Centrale (RIFFEAC), the Congo Basin Forest Fund (CBFF) and the Banque Africaine de Développement (BAD).



## Literature

1. Abba E., Belghyti D., Benabid M. & El Ibaoui H., 2010, Relation taille-poids et coefficient de condition de la truite commune (*Salmo trutta macrostigma dumeril*, 1858) de l'Oued Sidi Rachid (Moyen Atlas) Maroc, *Afr. Sci.*, **6**, 60-70.
2. Abdel-Tawwab M., Ahmad M.H., Khattab Y.A. & Shalaby A.M., 2010, Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), *Aquacul.*, **298**, 267-274.
3. Anonyme, 2010, *CNPMT (Cadre National des Priorités à Moyen Terme) - RD Congo*. Ministère de l'Agriculture, Pêche et Elevage – FAO. Kinshasa, RD-Congo, 56p.
4. AOAC, 1995, Official Methods of Analysis of AOAC International: Vol. I. *Agricultural Chemicals; Contaminants, Drugs*, 16<sup>th</sup> edn. AOAC International, Arlington, VA, USA.
5. Atkinson J.L., Hilton J.W. & Slinger S.J., 1984, Evaluation of acid-insoluble ash as an indicator of feed digestibility in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Can. J. Aquat. Sci.*, **41**, 1384–1386.
6. Azaza M.S., Mensi F., Toko I.I., Dhraief M.N., Abdelmouleh A., Brini B. & Kraïem M., 2006, Effets de l'incorporation de la farine de tomate dans l'alimentation du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*, L., 1758) en élevage dans les eaux géothermales du Sud Tunisien, *Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô*, **33**, 47-58.
7. Bamba Y., Ouattara A., Da Costa K.S. & Gourène G., 2008, Production de *Oreochromis niloticus* avec des aliments à base de sous-produits agricoles, *Sci. Nat.*, **5**, 89-99.
8. Burel C. & Médale F., 2014, Quid de l'utilisation des protéines d'origine végétale en aquaculture ?, *Oilseeds Fats Crops Lipids*, **21**, D406.
9. Carvalho S.J., De Azevedo R.V., Ramos A.P.S. & Braga L.G.T., 2012, Agroindustrial byproducts in diets for Nile tilapia juveniles, *Revista Brasileira Zootecnia*, **41**, 479-484.
10. Catacutan M.R. & Coloso R.M., 1995, Effect of dietary protein to energy ratios on growth, survival, and body composition of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*, *Aquacult.*, **131**, 125-133.
11. Cho C.Y., Slinger S.J. & Bayley H.S., 1982, Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity, *Comp. Biochem. Physiol.*, **73B**, 25-41.
12. Chou R.L., Her B.Y., Su M.S., Hwang G., Wu Y.H. & Chen H.Y., 2004, Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum*, *Aquacult.*, **229**, 325-333.
13. Coutinho F., Peres H., Guerreiro I., Pousão-Ferreira P. & Oliva-Teles A., 2012, Dietary protein requirement of sharpnose sea bream (*Diplodus puntazzo*, Cetti 1777) juveniles, *Aquacult.*, **356**, 391-397.
14. El-Saidy D.M. & Gaber M., 2003, Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquacult. Res.*, **34**, 1119-1127.
15. El-Sayed A.-F.M., 1999, Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp., *Aquacult.*, **179**, 149-168.
16. El-Sayed A.-F.M., 2006, *Tilapia culture*, Cab International Publishing, London, UK. 294p.
17. FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations), 2012, *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*. Rome, Italie.  
<http://www.fao.org/docrep/016/i2727f/i2727f00.htm>
18. FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations), 2015, *Système d'information sur les ressources alimentaires et d'engrais en aquaculture*, Nile tilapia - Nutritional requirements. Rome, Italie.  
<http://www.fao.org/fishery/affris/profil-des-especes/nile-tilapia/besoins-nutritionnels/fr/>
19. Hédji C.C., Gangbazo D.K., Houinato M.R. & Fiogbé E.D., 2014, Valorisation de *Azolla* spp, *Moringa oleifera*, son de riz, et de co-produits de volaille et de poisson en alimentation animale: synthèse bibliographique, *J. Appl. Biosci.*, **81**, 7277-7289.
20. Huart A., Leroy P., Thewis A., Bindelle J., Muland M. & Kibango D., 2003, *Troupeaux et Cultures des Tropiques. Dossier spécial sur la volaille*, Année 1, n°2, Centre Agronomique et Vétérinaire de Kinshasa (CAVTK). Kinshasa, RD-Congo, 95 p.
21. Jauncey K., 2000, *Nutritional requirements. In Tilapias: biology and exploitation*. Springer, Netherlands, p 327-375.
22. Kimou N.B., Koumi R.A., Koffi M.K., Atsé C.B., Ouattara I.N. & Kouamé P.L., 2016, Utilisation des sous-produits agroalimentaires dans l'alimentation des poissons d'élevage en Côte d'Ivoire, *Cah. Agricult.*, **25**, 25006.
23. Lazard J., 2009, La pisciculture des tilapias, *Cah. Agricult.*, **18**, 174-182.
24. Le Boucher R., Dupont-Nivet M., Laureau S., Labbe L., Geurden I., Médale F., Chatain B., Vandeputte M. & Quillet E., 2013, Amélioration génétique et utilisation des aliments à base de végétaux en pisciculture, *INRA. Prod. Anim.*, **26**, 317-326.
25. Liebert F. & Portz L., 2005, Nutrient utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed plant based low phosphorus diets supplemented with graded levels of different sources of microbial phytase, *Aquacult.*, **248**, 111-119.
26. Lim C.E. & Webster C.D., 2006, Nutrient requirements. *Tilapia: Biology, Culture and Nutrition*. Food Products Press, New York, USA, p 469-501.
27. Luo Z., Liu C. X. & Wen H., 2012, Effect of dietary fish meal replacement by canola meal on growth performance and hepatic intermediary metabolism of genetically improved farmed tilapia strain of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, reared in fresh water, *J. World Aquacult. Soc.*, **43**, 670-678.
28. Ly M.A. & Ba C.T., 2015, Effets d'une partielle substitution de la farine de poisson par la farine de soja sur la croissance des juvéniles de la perche du Nil (*Lates niloticus*, Linnaeus 1758), *Int. J. Biol. Chem.Sci.*, **9**, 1477-1484.
29. Ma F., Li X., Li B. & Leng X., 2015, Effects of extruded and pelleted diets with differing protein levels on growth and nutrient retention of tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*, *Aquacult. Int.*, **23**, 1341-1356.



30. Médale F. & Kaushik S., 2009, Les sources protéiques dans les aliments pour les poissons d'élevage, *Cah. Agric.*, **18**, 103-111.
31. Médale F., Le Boucher R., Dupont-Nivet M., Quillet E., Aubin J. & Panserat S., 2013, Des aliments à base de végétaux pour les poissons d'élevage, *INRA. Prod. Anim.*, **26**, 303-315.
32. Meyer C., 2013, *Dictionnaire des Sciences Animales*. CIRAD, Montpellier, France. <http://dico-sciences-animales.cirad.fr>
33. Nobah C.S.K., Affourmou A. & Alla Y.L., 2014, Formulation d'aliments à base de sous-produits locaux et effets sur la croissance des tilapias hybrides [*Tilapia zillii* (mâle) x *Tilapia guineensis* (femelle)] en cages flottantes installées sur le lac de Barrage d'Ayame I (Côte d'Ivoire), *Sci. Vie Terre Agron.*, **2**, 85-92.
34. NRC (National Research Council), 1993, *Nutrient requirements of warm water, fishes and shellfishes: nutrient requirements of domestic animals*. National Academy Press. Washington, D.C., USA, 114 p.
35. NRC (National Research Council), 2011, *Nutrient requirements of fish and shrimp*. Animal Nutrition Series. National Academy Press, Washington DC., USA, 346 p.
36. Obirikorang K.A., Amisah S., Fialor S.C. & Skov P.V., 2015, Digestibility and postprandial ammonia excretion in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing different oilseed by-products, *Aquacult. Int.*, **23**, 1249-1260.
37. Pezzato L.E., Miranda E.C. & Barros M.M., 2000, Nutritional value of coconut meal in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Acta Scientiarum*, **22**, 695-699.
38. Popovic N.T., Strunjak-Perovic I., Coz-Rakovac R., Barisic J., Jadan M., Persin Berakovic A. & Sauerborn Klobucar R., 2012, Tricaine methane-sulfonate (MS-222) application in fish anaesthesia, *J. Appl. Ichthyol.*, **28**, 553-564.
39. Pouomogne V. & Pemsil D.E., 2008, *Development and Status of Freshwater Aquaculture in Cameroon: Reducing poverty and hunger by improving fisheries and aquaculture*. WorldFish Center, Penang, Malaysia, 72 p.
40. Ramos A.P.D.S., Braga L.G.T., Carvalho J.S.O. & Oliveira S.J.R.D., 2012, Digestibility of agro-industrial byproducts in 200 and 300 g Nile tilapia, *Revista Brasileira Zootecnia*, **41**, 462-466.
41. Richter N., Siddhuraju P. & Becker K., 2003, Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.), *Aquacult.*, **217**, 599-611.
42. Sajjadi M. & Carter C.G., 2004, Dietary phytase supplementation and the utilisation of phosphorus by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a canola-meal-based diet, *Aquacult.*, **240**, 417-431.
43. Sarr S.M., Thiam A., Sene M. & Ndiaye M., 2015, Production d'alevins de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) avec 3 aliments à base de sous-produits agro-industriels au Nord du Sénégal, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**, 2598-2606.
44. Schrama J.W., Saravanan S., Geurden I., Heinsbroek L.T.N., Kaushik S.J. & Verreth J.A.J., 2012, Dietary nutrient composition affects digestible energy utilisation for growth: a study on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and a literature comparison across fish species, *British J. Nutr.*, **108**, 277-289.
45. Sousa S.M.D.N., Freccia A., Santos L.D.D., Meurer F., Tessaro L. & Bombardelli R.A., 2013, Growth of Nile tilapia post-larvae from broodstock fed diet with different levels of digestible protein and digestible energy, *Revista Brasileira Zootecnia*, **42**, 535-540.
46. Storebakken T., Refstie S. & Ruyter B., 2000, Soy products as fat and protein sources in fish feeds for intensive aquaculture, *Soy Anim. Nutr.*, 127-170.
47. Thiex N.J., Manson H., Anderson S. & Persson J.Å., 2002, Determination of crude protein in animal feed, forage, grain, and oilseeds by using block digestion with a copper catalyst and steam distillation into boric acid: collaborative study, *J. AOAC Int.*, **85**, 309-317.
48. Wei L., Hua W., Ming J., Fan W., Juan T. & ChangGeng Y., 2015, *Apparent digestibility coefficients of adult Oreochromis niloticus to ingredients of eight common botanical feeds*. Journal of Northwest A & F University - *Natural Science Edition*, **43**, 17-25.
49. Williams J.E., 2000, The coefficient of condition of fish. Chapter 13 in Schneider, James C. (éd) 2000. Manual of fisheries survey methods II: with periodic updates. Michigan. *Department of National Resources*, Fisheries Special Report 25, Ann Arbor.
50. Wu Y.V., Tudor K.W., Brown P.B. & Rosati R.R., 1999, Substitution of plant proteins or meat and bone meal for fish meal in diets of Nile tilapia, *North Am. J. Aquacult.*, **61**, 58-63.

A. Tshinyama Ntumba, Congolese, PhD student, Senior Lecturer, Département des sciences animales, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Pavillon Paul-Comtois, Rue de l'Agriculture, Québec, QC, Canada.

E. Proulx, Canadian, MSc, Département des sciences animales, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Pavillon Paul-Comtois, 2425, Rue de l'Agriculture, Québec, QC, Canada

M.-H. Deschamps, Canadian, Post-PhD, Research professional, Département des sciences animales, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Pavillon Paul-Comtois, 2425, Rue de l'Agriculture, Québec, QC, Canada

G. W. Vandenberg, Canadian, PhD, Professor, Département des sciences animales, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Pavillon Paul-Comtois, 2425, Rue de l'Agriculture, Québec, QC, Canada

F. Okitayela Onawoma, Congolese, PhD, Professor, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa, Kinshasa, Kin XI, RD-Congo.

D. Khasa Phambu, Canadian, PhD, Professor, Université Laval, Centre for Forest Research and Institute for Systems and Integrative Biology, Québec, Canada

## Régime alimentaire de *Ctenopoma petherici* (Perciformes, Anabantidae) dans la rivière Agnéby et dans le lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 2 (Côte d'Ivoire)

M.Z. Gogbé<sup>1</sup>, G.K. Blahoua<sup>1\*</sup>, S.S. Yao<sup>1</sup> & V. N'Douba<sup>1</sup>

**Keywords:** Food- Emptiness- Occurrence- Opportunist- Alimentary spectre- Côte d'Ivoire

### Résumé

La présente étude décrit les habitudes alimentaires de *Ctenopoma petherici* (Perciformes, Anabantidae) dans la rivière Agnéby et dans le lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 2. Les poissons ont été capturés mensuellement de septembre 2015 à août 2016 à l'aide de filets maillants. Les contenus stomacaux de 425 spécimens ont été analysés sous une loupe binoculaire et sous microscope optique. L'Indice d'Importance Relative de l'Aliment a été calculé pour évaluer l'abondance relative des proies. Le profil général du régime alimentaire a révélé que ce poisson se nourrit d'insectes, d'araignées, de mollusques, de batraciens, de macrophytes et d'algues. Les insectes fournissent l'essentiel de l'alimentation et constituent les proies principales. Les macrophytes sont les items secondaires tandis que les araignées, les mollusques, les batraciens et les algues sont des proies accessoires. Ces résultats indiquent que cette espèce est un omnivore à tendance insectivore. Ce régime alimentaire varie saisonnièrement notamment dans la rivière Agnéby. En revanche, il n'existe pas de variation dans l'alimentation en fonction de la taille des individus.

### Summary

#### Feeding Diets of *Ctenopoma petherici* (Perciformes, Anabantidae) from the Agneby River and from the Hydroelectric Lake Dam of Ayame 2 (Côte d'Ivoire)

The present study describes the feeding habits of *Ctenopoma petherici* (Perciformes, Anabantidae) in the Agneby River and in the hydroelectric Lake dam of Ayame 2. Fishes were caught monthly using gill-nets from September 2015 to August 2016. Stomach contents of 425 specimens were analysed under a magnifying glass and a microscope. The Relative Importance of Food Index has been calculated to assess the relative abundance of the preys. The general profile of the diet indicated that *C. petherici* feeds on insects, arachnids, molluscs, batrachians, macrophytes and algae. The insects provide the main part of the feeding and they constitute the principal prey category. Macrophytes were the secondary item while arachnids, molluscs, batrachians and algae were accessory preys. These results indicate that this species is omnivorous with an insectivorous tendency. This feeding pattern is seasonally affected, particularly in the Agneby River. However, there is no variation in the diet according to the size of the individuals.

<sup>1</sup>Université Félix Houphouët-Boigny, U.F.R. Biosciences, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-Technologie des Eaux, Abidjan, Côte d'Ivoire.

\*Auteur correspondant: Email: kassiblahoua@yahoo.fr

## Introduction

Les recherches en écologie alimentaire des poissons fournissent des informations sur le potentiel trophique du milieu et sont essentielles à la compréhension des relations existant entre les différentes espèces d'un écosystème aquatique (13). La connaissance des préférences et des comportements alimentaires des poissons sont des données importantes dans les stratégies de conservation et de gestion durable des stocks (17).

*Ctenopoma petherici* Günther, 1864 est un Anabantidae largement répandu en Afrique où il occupe divers biotopes. L'espèce est connue des bassins soudaniens (Nil, Tchad, Niger sauf la région deltaïque), et des bassins ouest-africains depuis le Sénégal jusqu'au Bénin (20). Malgré cette large distribution, les études sur son écologie alimentaire sont rares et fragmentaires (1). Ces auteurs se sont plus attachés à faire l'inventaire qualitatif des proies ingérées. De même, la méthode des points utilisée par Omoniyi *et al.* (21) est une méthode subjective (23). Par ailleurs, la variabilité spatio-temporelle et l'aspect quantitatif du régime alimentaire basé sur l'emploi des indices mixtes combinant à la fois l'occurrence, le nombre et la masse des proies restent à étudier.

En Côte d'Ivoire, les recherches sur le régime alimentaire des poissons sont nombreuses. Cependant, il n'existe aucune donnée sur l'écologie alimentaire de *C. petherici* des eaux ivoiriennes et ce, en dépit de son intérêt économique pour les riverains et sa présence considérable dans les pêches de subsistance (26).

L'objectif du présent travail est d'étudier le régime alimentaire de *C. petherici* et sa variabilité en fonction du milieu, de la saison et de la taille des individus capturés dans la rivière Agnéby et dans le lac de barrage d'Ayamé 2 en Côte d'Ivoire.

## Matériel et méthodes

### Milieux d'étude

La présente étude a été menée dans la rivière Agnéby et dans le lac de barrage d'Ayamé 2 au Sud-Est de la Côte d'Ivoire (Figure 1).

La rivière Agnéby, d'une longueur de 217 km, est un continuum qui prend sa source dans les environs du village d'Affery dans le département de Bongouanou et se jette dans la lagune Ebrié à proximité de la ville de Dabou (12). D'une superficie de 7 km<sup>2</sup>, le lac d'Ayamé 2 doit son existence à la construction des barrages hydroélectriques Ayamé 1 en 1959 et Ayamé 2 en 1963 à 4 km en aval du premier sur la rivière Bia (5). Cette rivière qui a une longueur de 300 km dont 120 km en terre ivoirienne, prend sa source au Ghana et se jette dans la lagune Aby (7). Ces deux cours d'eau bénéficient d'un climat de type équatorial de transition avec deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La grande saison des pluies

s'étend d'avril à juillet; la petite saison des pluies couvre les mois d'octobre et novembre. La grande saison sèche débute en décembre et finit en mars tandis que la petite saison sèche est représentée par les mois d'août et septembre (24).

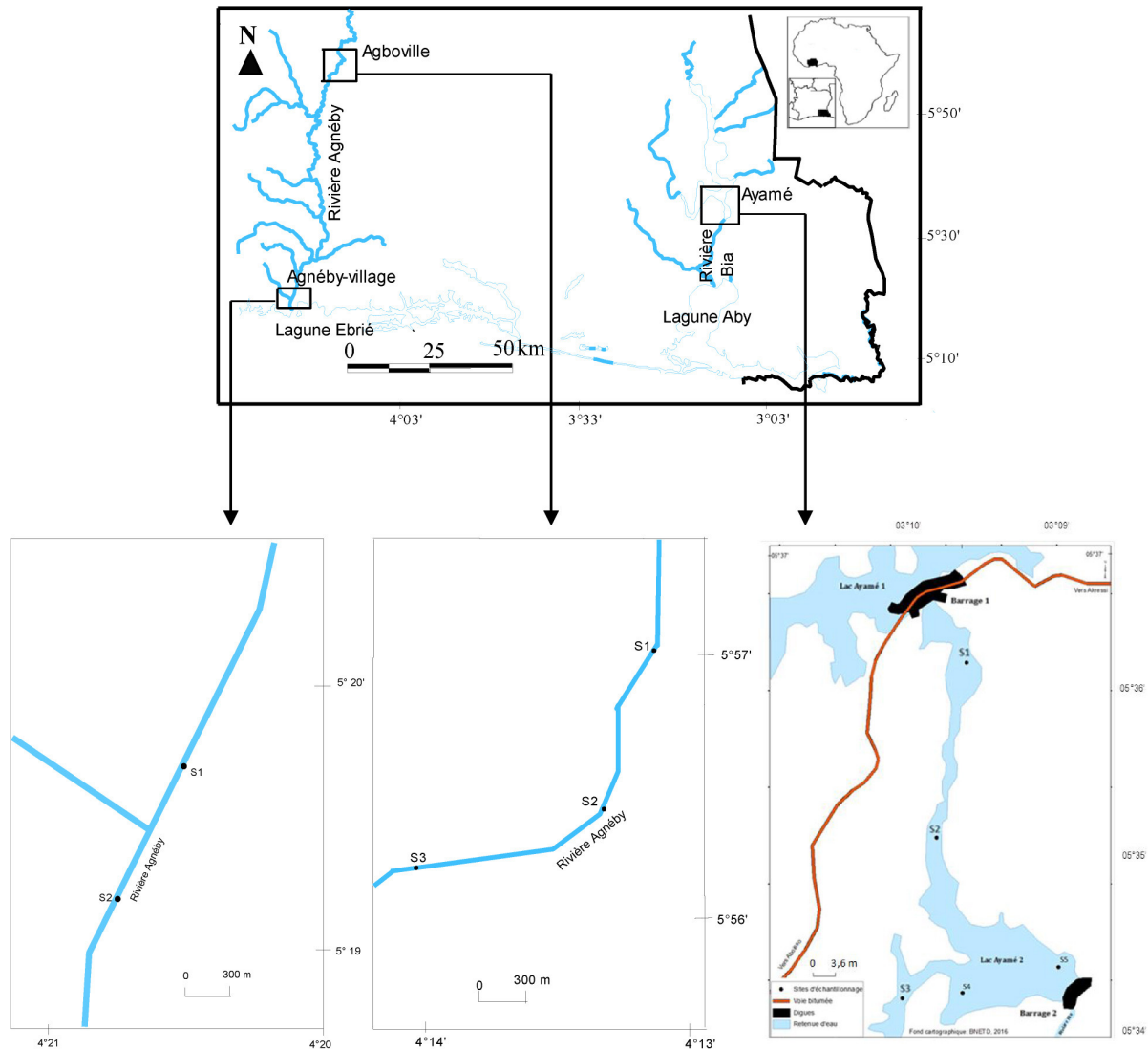
Cinq points d'échantillonnage, compte tenu de leur accessibilité, ont été définis sur la rivière Agnéby (trois à Agboville; deux à Agnéby-village) et sur le lac d'Ayamé 2 (Figure 1).

### Échantillonnage des poissons et analyse des contenus stomacaux

Les poissons examinés sont issus de pêches expérimentales effectuées mensuellement de septembre 2015 à août 2016 à l'aide de filets maillants de mailles comprises entre 8 et 30 mm de côté. Les filets ont été posés à 17 h et relevés le lendemain à 7 h pour la pêche nocturne puis relevés à nouveau à 12 h pour la pêche diurne.

Les poissons capturés ont été identifiés selon les clés de Paugy *et al.* (22) et disséqués sur le terrain. Pour chaque individu, la longueur standard (LS) a été mesurée au millimètre près puis le sexe et le stade de maturité sexuelle ont été déterminés. La taille de première maturité sexuelle (LS<sub>50</sub>), taille à laquelle 50% des individus sont matures, a été déterminée selon Duponchelle et Panfili (9).

Ainsi, trois classes de taille ont été constituées sur la base de la maturité sexuelle. Tous les individus de taille inférieure à la taille du plus petit individu mature ont été considérés comme juvéniles (classe I). Les individus dont la taille était comprise entre la taille du plus petit individu mature et la LS<sub>50</sub> ont été considérés comme des sub-adultes (classe II). Enfin, ont été considérés comme adultes tous les individus dont la taille était supérieure ou égale à LS<sub>50</sub> (classe III). Les estomacs ont été aussitôt prélevés après la dissection et conservés individuellement dans un pilulier contenant du formaldéhyde à 5%. Au laboratoire, chaque contenu stomacal a été délayé dans une boîte de Pétri contenant de l'eau. Les différentes fractions ont été analysées sous une loupe binoculaire et un microscope après être séparées sur une série de trois tamis de 500, 200 et 25 µm de vide de mailles. Les différentes proies ont été triées, comptées et pesées (en gramme) au millième près. Les proies ont été identifiées au niveau taxinomique le plus précis à l'aide de différents travaux (2, 6, 19, 25). Toutes les parties (coxa, ailes, antennes, segments abdominaux, etc.) des organismes proies ne permettant pas l'identification exacte de ceux-ci ont été considérées comme des restes. Tous les organes végétaux (fruits, feuilles, tiges et racines) ont été regroupés sous le nom de débris végétaux. Pour les items qu'on ne pouvait compter comme les restes d'insectes et les débris végétaux, le nombre 1 a été attribué à leur présence (23).



**Figure 1:** Localités (□) et sites d'échantillonnage (•) de *Ctenopoma petherici* dans la rivière Agnèby et dans le lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 2.

L'analyse quantitative du régime alimentaire a été faite selon Hyslop (15). Différents pourcentages et indices ont été calculés suivant les équations I, II, III, IV et V.

- le pourcentage de vacuité (%v)

$$\%v = \frac{n_{ev}}{n} \times 100 \quad \text{I}$$

où  $n_{ev}$  représente le nombre d'estomacs vides et  $n$  le nombre total d'estomacs examinés;

- le pourcentage d'occurrence (% $o_{ci}$ )

$$\%o_{ci} = \frac{n_{ei}}{n_{et}} \times 100 \quad \text{II}$$

où  $n_{ei}$  est le nombre d'estomacs contenant un item  $i$  et  $n_{et}$  le nombre d'estomacs non vides examinés;

- le pourcentage numérique (% $n_i$ )

$$\%n_i = \frac{n_i}{n_t} \times 100 \quad \text{III}$$

où  $n_i$  et  $n_t$  sont respectivement le nombre d'individus d'une catégorie de proie  $i$  et le nombre total d'individus proies inventoriés;

- le pourcentage pondéral (% $p_i$ )

$$\%p_i = \frac{m_i}{m_t} \times 100 \quad \text{IV}$$

avec  $m_i$  la masse d'une catégorie de proie  $i$  et  $m_t$  la masse totale de tous les items répertoriés;



## - l'Importance Relative de l'Aliment (IRA)

$$IRA = \frac{o_{ci} + n_i + p_i}{\sum_1^s (o_{ci} + n_i + p_i)} \times 100 \quad \forall$$

s: le nombre total des items alimentaires.

Les différents items ont été classés par ordre d'importance selon l'échelle de classification établie par Georges et Hadley (11). Selon ces auteurs, les proies sont principales si  $IRA > 50\%$ ; secondaires si  $10\% < IRA < 50\%$  et accessoires ou accidentelles si  $IRA < 10\%$ .

### Analyses statistiques des données

Le test de corrélation de rangs de Spearman a été effectué pour comparer les régimes alimentaires en fonction de la localité, de la saison et de la taille des poissons. Les analyses statistiques ont été faites à l'aide du logiciel STATISTICA version 7.1 et les similitudes ont été considérées significatives à  $p < 0,05$ .

## Résultats

### Profil général du régime alimentaire

Au total, 425 estomacs de *Ctenopoma petherici* ont été examinés. Ce nombre est réparti en 409 estomacs contenant de l'aliment et 16 estomacs vides, soit un pourcentage de vacuité global de 3,77%.

Le profil général du régime alimentaire indique que le spectre alimentaire de *C. petherici* est très large. La liste des différentes proies ingérées est consignée dans le tableau 1. Ce spectre alimentaire comprend 50 items répartis en une fraction animale et une fraction végétale. La fraction animale est composée d'insectes, d'araignées, de mollusques et de batraciens auxquels s'ajoutent les œufs et les écailles de poisson. La composante végétale est constituée essentiellement de macrophytes et d'algues. Les insectes constituent les proies les plus importantes dans l'alimentation de *C. petherici*. Ils sont représentés par 25 familles appartenant à 11 ordres (Tableau 1). Les araignées sont représentées par les Agelenidae et les Thomisidae. Les mollusques répertoriés sont les Bivalves et Gastéropodes. Les Gastéropodes identifiés appartiennent à deux familles: les Hydrobiidae et les Planorbidae. Les restes d'insectes ( $\%o_c = 68,20\%$ ) et les débris végétaux ( $\%o_c = 55,10\%$ ) sont les plus fréquemment ingérés. Au plan quantitatif, seuls les insectes sont les proies principales avec une contribution de 71,25% sur la base de l'indice d'Importance Relative de l'Aliment (IRA). Les débris végétaux fournissent 16,30% (IRA) de l'alimentation et constituent l'aliment secondaire. Tous les autres items sont des proies accidentelles avec une proportion inférieure à 10%.

### Régime alimentaire en fonction des milieux

Sur les 425 estomacs examinés, 125 sont issus de la rivière Agnéby (41 estomacs à Agboville et 84 à Agnéby-village) et 300 du lac d'Ayamé 2. Seize de ces estomacs dont six à Agboville et dix à Ayamé sont vides, soit un pourcentage de vacuité de 14,63 et 3,33% respectivement.

L'analyse des contenus stomacaux par site montre que *C. petherici* a ingéré 19 items proies à Agboville, 26 à Agnéby-village et 47 dans le lac d'Ayamé 2 (Tableau 1).

Les restes d'insectes sont les items les plus fréquents dans les bols alimentaires de *C. petherici* à la station d'Agboville et dans le lac d'Ayamé 2 avec les occurrences respectives de 74,29% et 68,26% tandis que les restes d'insectes ( $\%o_c = 67,07\%$ ) et les débris végétaux ( $\%o_c = 84,15\%$ ) sont les proies les plus régulières à la station d'Agnéby-village. Dans la rivière Agnéby, les insectes les plus abondants sont les Diptères avec une prédominance des Syrphidae ( $\%o_c = 20,00\%$ ;  $IRA = 8,84\%$ ) à Agboville et des larves de Chironomidae ( $\%o_c = 24,39\%$ ;  $IRA = 17,29\%$ ) à Agnéby-village. Dans le lac d'Ayamé 2, les larves de Chironomidae sont plus fréquentes ( $\%o_c = 27,99\%$ ) mais les Curculionidae sont majoritaires en terme de contribution avec 14,12% (IRA) du total des aliments consommés. Les insectes sont les proies principales dans tous les milieux. Leurs valeurs indicielles (IRA) relatives sont: 66,12%; 59,15% et 73,43% à Agboville, à Agnéby-village et à Ayamé respectivement. Les macrophytes représentent des items secondaires. Ils assurent 13,13% (IRA) de l'alimentation dans le lac d'Ayamé 2 et 35,63% (IRA) dans la rivière à Agnéby-village. A Agboville, les araignées et les macrophytes constituent les proies secondaires et fournissent respectivement 16,86% et 12,53% (IRA) des proies consommées. Les mollusques, les batraciens et les autres items sont ingérés accidentellement et leur valeur indicielle respective est inférieure à 10% dans les différents milieux.

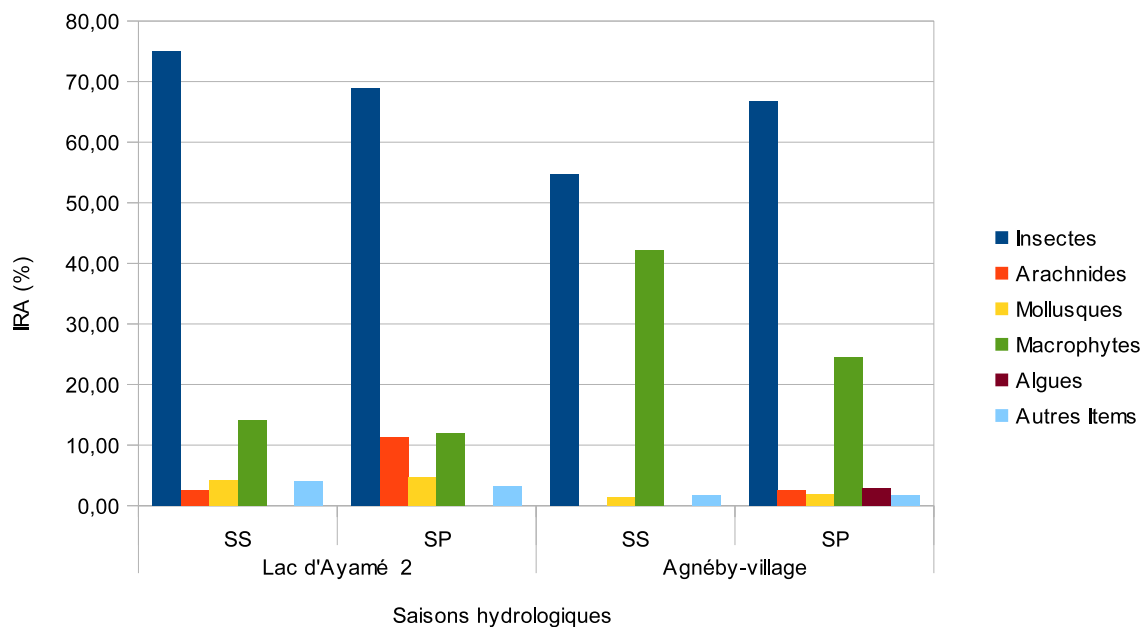
Le test de corrélation de rangs de Spearman effectué à partir des valeurs indicielles (IRA) des aliments indique qu'il n'y a pas de similitude entre les régimes alimentaires de *C. petherici* des stations d'Agboville et d'Agnéby-village ( $N = 7$ ;  $R = 0,61$ ;  $p = 0,14$ ). La différence est également significative entre les régimes alimentaires des spécimens d'Agnéby-village et du lac d'Ayamé 2 ( $N = 7$ ;  $R = 0,68$ ;  $p = 0,09$ ). En revanche, la similitude des régimes alimentaires s'est révélée significative entre les spécimens d'Agboville et ceux d'Ayamé ( $N = 7$ ;  $R = 0,92$ ;  $p = 0,00$ ).

**Tableau 1**  
 Profil général et variation spatiale du régime alimentaire de *Ctenopoma petherici*.

ITEMS	Profil général		Agboville		Agnéby-village		Lac d'Ayamé 2	
	%Oc	%IRA	%Oc	%IRA	%Oc	%IRA	%Oc	%IRA
<b>INSECTES</b>								
Coléoptères								
Curculionidae	13,59	11,82			7,32	1,97	17,07	14,12
Dytiscidae	2,18	0,50	2,86	0,89	3,66	0,92	1,71	0,38
Larves d'Elmidae	1,21	0,41					1,71	0,55
Hydrophilidae	1,94	0,57					2,73	0,77
Restes de Coléoptères	3,88	1,07	11,43	3,71			4,10	1,12
Diptères								
Ceratopogonidae	1,46	0,48					2,05	0,63
Chaoboridae	0,24	0,34					0,34	0,43
Larves de Chironomidae	25,49	10,15	8,57	4,74	24,39	17,29	27,99	9,29
Culicidae	1,21	1,06	2,86	1,99	1,22	0,66	1,02	1,05
Empididae	0,24	0,06					0,34	0,08
Stratiomyidae	0,97	0,23					1,37	0,31
Syrphidae	1,94	0,53	20,00	8,84	1,22	0,34	0,34	0,08
Tabanidae	0,49	0,11					0,68	0,15
Restes de Diptères	1,21	0,325					1,71	0,43
Ephéméroptères								
Baetidae	5,58	3,55			6,10	2,38	6,14	4,00
Polymitarcyidae	5,34	2,23	2,86	0,84			7,17	2,82
Restes d'Ephéméroptères	1,46	0,44					2,05	0,58
Hétéroptères								
Belostomidae	2,91	0,76	5,71	2,06	3,66	1,19	7,17	1,55
Hydrometridae	1,21	0,27			1,22	0,34	1,02	0,22
Nepidae	2,43	0,65	2,86	1,05			3,07	0,79
Notonectidae	1,21	0,27					1,71	0,37
Restes d'Hétéroptères	1,21	0,38			1,22	0,59	1,71	0,44
Hyménoptères								
Formicidae	18,45	5,72	17,14	6,00	17,07	5,58	19,11	5,85
Isoptères								
Termitidae	0,24	0,25					0,34	0,32
Lépidoptères	1,46	0,62			3,66	2,17	1,02	0,36
Odonates								
Coenagrionidae	1,70	0,40					2,39	0,55
Corduliidae	3,64	0,99	2,86	0,83	1,22	0,39	4,44	1,16
Gomphidae	0,97	0,32					1,37	0,42
Libellulidae	12,86	2,94	2,86	0,96	1,22	0,48	4,10	1,16
Restes d'Odonates	4,85	1,25			3,66	1,18	5,80	1,41
Orthoptères	0,24	0,06					0,34	0,08
Plécoptères	0,24	0,06			1,22	0,33		
Trichoptères								
Polycentropedidae	0,24	0,06					0,34	0,08
Restes de Trichoptères	1,46	0,34			1,22	0,31	1,71	0,38
Larves d'Insectes	3,16	1,07	5,71	2,33	1,22	0,36	3,41	1,14
Restes d'Insectes	68,20	20,95	74,29	31,89	67,07	22,68	68,26	20,36
<b>ARACHNIDES</b>								
Agelenidae	0,73	0,19					1,02	0,26
Thomisidae	11,41	3,55	22,86	16,86	3,66	0,94	12,29	3,53
Restes d'Arachnides	0,73	1,38					1,02	1,72

MOLLUSQUES									
Bivalves	1,70	0,47					2,39	0,63	
Gastéropodes									
Hydrobiidae	2,43	0,61	2,86	0,85	2,44	0,86	2,39	0,55	
Planorbidae	2,18	0,58					3,07	0,78	
Restes de Mollusques	7,77	1,89	2,86	0,91	2,44	0,73	9,90	2,31	
BATRACIENS									
Têtards	0,24	0,08					0,34	0,10	
MACROPHYTES									
Débris végétaux	55,10	16,30	37,14	12,52	84,15	35,63	49,49	13,13	
ALGUES									
<i>Spirogyra sp</i>	0,49	0,16			2,44	0,99			
AUTRES ITEMS									
Oufs de poisson	1,21	0,70			1,22	0,33	1,37	0,82	
Ecailles de poisson	6,80	1,93	2,86	0,82	3,66	1,07	8,19	2,26	
Détritus	0,24	0,05			1,22	0,30			
Indéterminés	3,88	0,87	5,71	1,91			2,05	0,48	
TOTAL									
INSECTES		71,25		66,12		59,15		73,43	
ARACHNIDES		5,12		16,86		0,94		5,51	
MOLLUSQUES		3,54		1,76		1,58		4,27	
BATRACIENS		0,08						0,10	
MACROPHYTES		16,30		12,53		35,63		13,13	
ALGUES		0,16				0,99			
AUTRES ITEMS		3,56		2,73		1,71		3,56	

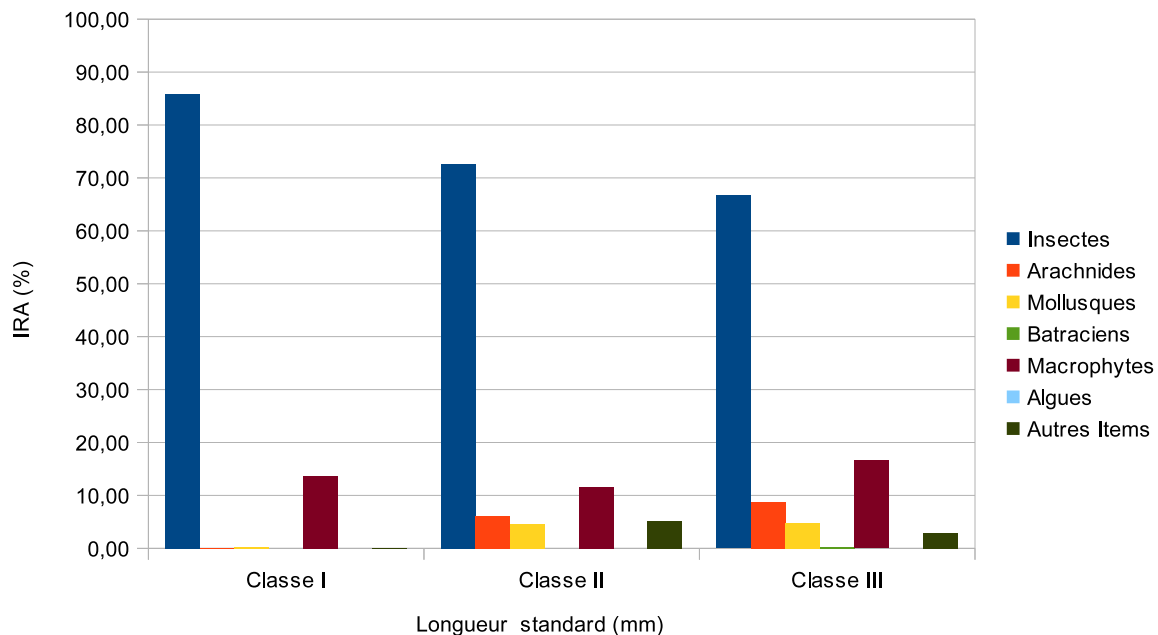
(%<sub>o</sub>= pourcentage d'occurrence, %IRA= indice d'Importance Relative de l'Aliment).



**Figure 2:** Variation saisonnière du régime alimentaire de *Ctenopoma petherici* dans le lac d'Ayamé 2 et dans rivière Agnéby (Agnéby-village).

**Tableau 2**  
Variation du pourcentage de vacuité (%v) en fonction de la longueur standard (LS) des spécimens de *Ctenopoma petherici* issus du lac d'Ayamé 2.

	LS < 74 mm	74 mm ≤ LS < 99 mm	LS ≥ 99 mm
Total d'estomacs	19	124	157
Estomacs non vides	19	123	148
Estomacs vides	0	1	9
%v	0	0,81	5,73



(Classe I: LS < 74 mm, Classe II: 74 mm ≤ LS < 99 mm, Classe III: LS ≥ 99 mm)

**Figure 3:** Variation du régime alimentaire en fonction de la taille chez *Ctenopoma petherici*.

### Régime alimentaire en fonction des saisons hydrologiques

Compte tenu du nombre réduit de spécimens récoltés en saison sèche à la station d'Agboville (n= 6), l'étude de l'influence des saisons sur le régime alimentaire n'a porté que sur les échantillons d'Agnéby-village (rivière Agnéby) et ceux du lac d'Ayamé 2 où les effectifs sont: 57 et 189 respectivement. La composition taxinomique de l'alimentation de *Ctenopoma petherici* en fonction des saisons est présentée par la figure 2. Cette figure montre bien que les insectes constituent le taxon le plus important dans l'alimentation de *C. petherici* quelle que soit la saison aussi bien dans la rivière Agnéby que dans le lac d'Ayamé 2. L'analyse plus détaillée de ce graphique indique que, dans le lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 2, la consommation de ce taxon baisse pendant la saison des pluies. En effet, en termes d'importance relative de l'aliment, il représente 74,99% des proies ingérées en saison sèche et 68,86% en saison des pluies.

Cette baisse est au bénéfice des arachnides qui passent de proies accessoires (IRA= 2,58%) en saison sèche aux proies secondaires (IRA= 11,32%) en saison des pluies. En revanche, dans la rivière Agnéby, la proportion des insectes dans le bol alimentaire croît en saison des pluies. Sa valeur indicienne est de 54,68% en saison sèche et de 66,71% en saison des pluies. Cette augmentation du taux des insectes dans les contenus stomacaux pendant cette période se fait au détriment des débris végétaux. La quantité de ces derniers diminue et passe de 42,10% en saison sèche à 24,45% (IRA) en saison des pluies. La comparaison des régimes alimentaires à l'aide du test de corrélation de rangs de Spearman effectué à partir des valeurs indicielles de l'importance relative des aliments indique que la fluctuation saisonnière du régime alimentaire n'est pas significative dans le lac d'Ayamé 2 (N= 7; R= 0,88; p= 0,01) tandis que dans la rivière Agnéby le régime alimentaire de *C. petherici* diffère significativement d'une saison à l'autre (N= 7; R= 0,56; p= 0,20).



## Influence de la taille sur le régime alimentaire

L'étude de la variation du régime alimentaire en fonction de la taille a porté sur les spécimens capturés dans le lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 2 où les trois classes définies sont toutes représentées. Le pourcentage de vacuité en fonction de la taille est enregistré dans le tableau 2. Ce tableau montre que le pourcentage de vacuité croît avec la taille des spécimens.

Les variations du régime alimentaire en fonction de la taille sont illustrées par la figure 3. Elle indique que les individus de taille inférieure à 74 mm (classe I) se nourrissent d'insectes et de débris végétaux. Les spécimens de *C. petherici* de taille comprise entre 74 mm et 99 mm (classes II) ont, en plus des insectes et des macrophytes, tendance à élargir leur spectre alimentaire en ingérant les arachnides, les mollusques et divers autres items. Comparativement aux deux premières classes, la consommation des arachnides est plus importante chez les poissons de taille supérieure à 99 mm (classe III).

Cependant, le test de corrélation de Spearman réalisé à partir de l'abondance relative des proies entre les différents couples de classes I-II (N= 7; R= 0,96; p= 0,00), I-III (N= 7; R= 0,88; p=0,01) et II-III (N= 7; R= 0,85; p= 0,02) ne révèle pas de changement significatif dans l'alimentation de *C. petherici* au cours de sa croissance.

## Discussion

La valeur globale du pourcentage de vacuité stomacale de 3,77% est très faible. Les faibles pourcentages de vacuité traduiraient une disponibilité de nourriture et/ou une intense activité trophique de l'espèce (10). Aussi, le faible pourcentage d'estomacs vides peut-il être une indication du comportement éclectique dans l'alimentation. En effet, chez *Ctenopoma petherici*, le comportement opportuniste avec un régime omnivore a été rapporté dans la rivière Oluwa dans le Sud-Est du Nigéria (21). Le profil général du régime alimentaire de *C. petherici* est constitué d'insectes, d'arachnides, de mollusques, de macrophytes et de divers autres items tels les œufs et les écailles de poisson, les algues. Ce spectre très large, confère à cette espèce un régime omnivore. Ce résultat est corroboré par les observations de Omoniyi *et al.* (21) évoquées ci-dessus. Cependant, l'analyse de la proportion des différentes proies ingérées suggère quelques différences. Selon Omoniyi *et al.* (21), *C. petherici* a une alimentation omnivore à tendance herbivore dans la rivière Oluwa. Contrairement à ce résultat, la présente étude indique une alimentation omnivore à tendance insectivore dans la rivière Agnéby et dans le lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 2. Néanmoins, il convient de signaler la présence massive de végétaux aquatiques dans l'interzone des barrages où la proportion des insectes reste

nettement supérieure à celle des débris végétaux. Cette situation laisse apparaître clairement qu'en présence de ces deux types de nourriture (insectes et végétaux), *C. petherici* a une préférence marquée pour les insectes au détriment des végétaux. Toutefois, le présent travail ne met pas en doute les observations de Omoniyi *et al.* (21) car, les poissons en général, sont opportunistes et consomment préférentiellement les proies qui leur sont offertes par le milieu (18). La différence des deux tendances dans l'alimentation de *C. petherici* pourrait donc s'expliquer par la disponibilité de sources de nourritures différentes dans les milieux considérés.

La présence de proies typiquement benthiques telles que les larves de Chironomidae et de proies épipélagiques (insectes terrestres et les arachnides) montre que *C. petherici* recherche sa nourriture en explorant le fond vaseux jusqu'à la surface du plan d'eau. Des écailles de poisson ont été retrouvées dans les estomacs avec une occurrence relativement remarquable de 6,80%. Mais, aucune vertèbre ou autre partie de poisson n'a été trouvée. Ce qui témoigne de l'absence de poissons dans l'alimentation de cette espèce bien qu'elle soit omnivore. Les écailles seraient donc prélevées accidentellement dans la colonne d'eau. Le régime alimentaire des spécimens de *C. petherici* capturés à la station d'Agnéby-village diffère significativement (test de corrélation de Spearman) de ceux des deux autres stations. Cette différence serait liée à la forte proportion de débris végétaux enregistrée dans ce milieu notamment en saison sèche. Bien que le test de corrélation de Spearman ne révèle aucune différence significative entre les régimes alimentaires des spécimens issus d'Agboville et ceux capturés dans le lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 2, la proportion et la fréquence de certaines proies sont considérablement différentes. Ainsi, à Agboville, les Syrphidae sont plus fréquents dans les contenus stomacaux tandis que dans le lac d'Ayamé 2, *C. petherici* consomme un nombre plus élevé de larves de Chironomidae et de Curculionidae. La forte consommation des Syrphidae à Agboville serait probablement due à un taux de pollution plus élevé dans cette partie du cours d'eau. En effet, les eaux usées, les ordures ménagères et d'autres polluants d'origine diverse issus de la ville d'Agboville sont acheminés dans le cours d'eau en le dégradant davantage. Or, les Syrphidae sont un taxon qui prolifère dans des milieux peu oxygénés (25) et seraient de ce fait, plus abondants à la station d'Agboville. Les Chironomidae sont plus consommés dans le lac d'Ayamé 2 en raison de leur abondance dans ce milieu. L'abondance de ce taxon dans la rivière Bia a d'ailleurs été rapportée par Diomandé et Gourène (7).

La fluctuation du régime alimentaire des poissons, en occurrence *Schilbe intermedius* Rüppell, 1832, en fonction des saisons hydrologiques dans la rivière Agnéby a été rapportée par Doumbia *et al.* (8). D'une manière générale, il est admis que les pluies, les eaux de ruissellement et la montée des eaux durant les saisons des pluies apportent d'importantes quantités d'organismes (matières végétales et/ou insectes) qui viennent enrichir les cours d'eau (3, 16). Cet argument pourrait expliquer l'augmentation des valeurs de l'importance relative des insectes dans l'alimentation de *C. petherici* pendant la saison des pluies dans la rivière Agnéby. Par ailleurs, cette rivière est l'un des cours d'eau qui débordent de leur lit pendant la crue. La forte proportion de matière végétale enregistrée pendant la saison sèche serait vraisemblablement due à une rareté de proies insectes dans le milieu durant cette période. A l'opposé, une similitude de régime alimentaire est constatée entre les deux saisons (test de corrélation de Spearman) dans le lac d'Ayamé 2. Cette différence dans la variabilité du régime alimentaire de *C. petherici* dans la rivière et dans le lac pourrait être attribuée à l'environnement biotique et abiotique de ces deux milieux. En effet, la présence massive de végétaux aquatiques et bois morts sur le lac d'Ayamé 2 constitue des microhabitats pour de nombreux invertébrés. Aussi, la fermeture des vannes des barrages hydroélectriques Ayamé 1 et 2 pendant la saison sèche par les agents des deux barrages minimise-t-elle la baisse du niveau des eaux qui ne semble pas avoir une grande incidence sur la disponibilité des aliments dans cette zone. Ces hypothèses expliqueraient la relative stabilité du régime alimentaire de *C. petherici* dans le lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 2.

En ce qui concerne l'influence de la taille sur l'alimentation, une augmentation du nombre d'estomacs vides avec la taille a été révélée. Cette augmentation du pourcentage de vacuité avec la croissance des poissons traduirait une activité trophique moins intense chez les adultes. En effet, les jeunes individus plus agiles et à forte croissance, se nourrissent davantage alors que les plus âgés s'alimentent moins en période de reproduction. De telles observations ont été faites chez *Barbus barbuis callensis* Valenciennes, 1842 dans le Moyen-Atlas au Maroc (4). Le régime alimentaire de *C. petherici* ne varie pas significativement en fonction de la taille. Cette similarité des régimes alimentaires des différentes classes de taille suggère l'exploration des mêmes habitats et par conséquent l'exploitation des mêmes sources de nourriture par les spécimens des différentes classes de taille (14).

### Conclusion

Ce travail a permis de mettre en évidence les habitudes et les stratégies alimentaires de *Ctenopoma petherici* dans la rivière Agnéby et dans le lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 2. L'espèce a un comportement alimentaire opportuniste et explore différents habitats dans les cours d'eau: le fond vaseux, la colonne d'eau et la surface du plan d'eau. Elle a la capacité d'adapter son régime alimentaire en fonction des ressources disponibles dans le milieu et en fonction des saisons.

### Références bibliographiques

- Blache J., Miton M.M.F., Stauch A., Iltis A. & Loubens G., 1964, *Les poissons du bassin du Tchad et du bassin adjacent du Mayo Kebbi: étude systématique et biologique*. Paris: ORSTOM, 483p.
- Borror D.J., DeLong D.M. & Triplehorn C.A., 1976, *An introduction to the study of insects, 4<sup>th</sup> edition*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 852p.
- Castillo-Rivera M., 2013, Influence of rainfall pattern in the seasonal variation of the fish abundance in a tropical estuary with restricted marine communication, *J. Water Resour. Prot.*, **5**, 3A, 311-319.
- Cherghou S., Khodari M., Yaâkoubi F., Benabid M. & Badri A., 2002, Contribution à l'étude du régime alimentaire du barbeau (*Barbus barbuis callensis* Valenciennes, 1842) d'un cours d'eau du Moyen-Atlas (Maroc): Oued Boufekrane, *Rev. Sci. Eau*, **15**, 1, 153-163.
- Da Costa K.S., Gourène G., Tito De Moraes L. & Thys Van Den Audenaerde D.F.E., 2000, Caractérisation des peuplements ichtyologiques de deux fleuves côtiers ouest-africains soumis à des aménagements hydro-agricoles et hydroélectriques, *Vie Milieu*, **50**, 2, 65-77.
- Dejoux C., Elouard J.M., Forge P. & Maslin J.L., 1981, *Catalogue iconographique des insectes aquatiques de Côte d'Ivoire*. Rapport ORSTOM, 178p.
- Diomandé D. & Gourène G., 2005, Premières données sur la macrofaune benthique de l'hydrosystème fluvio-lacustre de la rivière Bia (Côte d'Ivoire), *Sci. Nat.*, **2**, 2, 167-176.
- Doumbia L., N'guessan Y.S., Ouattara A. & Gourène G., 2014, Diet of *Schilbe intermedius* Rüppell, 1832 in a costal West African basin, Agnébi River in Côte d'Ivoire, *Int. J. Eng. Res. Technol.*, **2**, 11, 349-353.
- Duponchelle F. & Panfili J., 1998, Variations in age size at maturity of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, populations from man-made lakes of Côte d'Ivoire, *Environ. Biol. Fish.*, **52**, 4, 453-465.

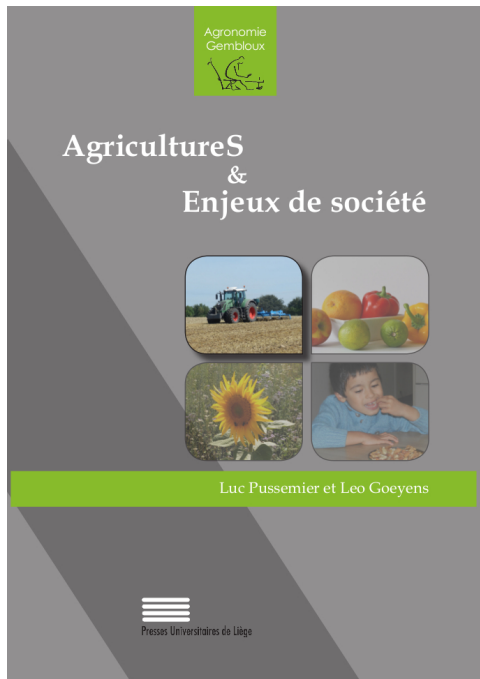
10. El Bakali M., Talboui M. & Bendriss A., 2010, Régime alimentaire du rouget de roche (*Mullus Surmuletus* L.) (Téléostéen, Mullidae) de la côte nord-ouest méditerranéenne du Maroc (Région de M'diq), *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, **32**, 2, 87-93.
11. Georges E.L. & Hadley W.L., 1979, Food and habitat partitioning between roch (*Ambloplites rupestris*) and small mouth bass (*Micropterus dolomieu*) young of the year, *Trans. Am. Fish. Soc.*, **108**, 253-261.
12. Goula B.T.A., Kouadio Z.A., Kouakou K.E., N'Go Y.A., N'Doumé C. & Savané I., 2009, Simulation du comportement hydrologique du bassin versant de l'Agnéby, en Côte d'Ivoire, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, **13**, 91-113.
13. Hajsamae S., Chou L.M. & Ibrahim S., 2003, Feeding habits and trophic organization of the fish community in shallow waters of an impacted tropical habitat, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **58**, 89-98.
14. Herder F., & Freyhof J., 2006, Resource partitioning in tropical stream fish assemblage, *J. Fish Biol.*, **69**, 571-589.
15. Hyslop E.J., 1980, Stomach contents analysis - a review of methods and their application, *J. Fish Biol.*, **17**, 411-429.
16. Konan Y.A., Bamba M., & Koné T., 2014, Aspects qualitatifs et quantitatifs de l'alimentation de *Clarias buettikoferi* (Siluriformes; Clariidae) dans la forêt des marais Tanoé-Ehy (Côte d'Ivoire), *Cybiun*, **38**, 4, 61-68.
17. Koné T., Kouamélan E.P., Ouattara N.I. & Kicho A.V., 2007, Régime alimentaire de *Pomadasys jubelini* (Pisces, Haemulidae) dans une lagune Ouest africaine (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire), *Sci. Nat.*, **4**, 1, 65-73.
18. Lauzanne L., 1988, *Les habitudes alimentaires des poissons d'eau douce africains*. In: Lévêque C., Bruton M.N. & G.W. Ssentongo, eds. *Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains*, Paris: ORSTOM, 221-242.
19. Moisan J., 2010, *Guide d'identification des principaux macro-invertébrés benthiques d'eau douce du Québec, surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du développement durable, de l'Environnement et Parcs, ISBN: 978-2-550-58416-2, 82p.
20. Norris S. M. 1992, *Anabantidae*. In: Lévêque C, Paugy D. & Teugels G.G., eds: *Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest* ORSTOM (Paris) / MRAC (Tervuren) Tome **2**, 837-847.
21. Omoniyi I.T., Agbon A.O. & Akegbejo-Samsoms Y., 2011, *The food habits of Ctenopoma petherici*, Gunther (Pisces: Anabantidae) in River Oluwa, Ondo State, Nigeria, *West-Afr. J. Appl. Ecol.*, **19**, 1-7.
22. Paugy D., Leveque C. & Teugels G.G., 2003, *Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest*, Tome **2**. IRD (Paris), MRAC (Tervuren), MHN (Paris) 815p.
23. Rosecchi E. & Nouaze Y., 1987, Comparaison de cinq indices alimentaires utilisés dans l'analyse des contenus stomacaux, *Rev. Trav. Inst. Pêch. Marit.*, **49**, 111-123.
24. Savané I. & Konaré M., 2010, *Le climat*. In: Konaté A. & Kampmann D. (éds). *Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest*, volume III: Côte d'Ivoire, 517p.
25. Tachet H., Richoux P., Bournaud M., & Usseglio-Polatera P., 2010, *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie*. Paris: CNRS, 605p.
26. Tah L., Da Costa K.S., Kouassi N.J. & Moreau J., 2009, Effort de pêche et production piscicole au lac d'Yamé I (bassin de la Bia; Côte d'Ivoire) après le départ des pêcheurs «Bozos», *Agron. Afr.*, **21**, 1, 103-115.

M.Z. Gogbé, Ivoirien, Doctorant, Université Félix Houphouët-Boigny, U.F.R. Biosciences, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-Technologie des Eaux, Abidjan, Côte d'Ivoire.

G.K. Blahoua, Ivoirien, PhD, Enseignant-Chercheur, Université Félix Houphouët-Boigny, U.F.R. Biosciences, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-Technologie des Eaux, Abidjan, Côte d'Ivoire.

S.S. Yao, Ivoirien, PhD, Enseignant-Chercheur, Université Félix Houphouët-Boigny, U.F.R. Biosciences, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-Technologie des Eaux, Abidjan, Côte d'Ivoire.

V. N'Douba, Ivoirien, PhD, Professeur, Enseignant-Chercheur, Université Félix Houphouët-Boigny, U.F.R. Biosciences, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-Technologie des Eaux, Abidjan, Côte d'Ivoire.



**Auteurs:** Pussemier Luc, Goeyens Léo.

112 pages

ISBN: 978-2-87016-150-0

BEL/ETR: 15 € + frais de port

Presses agronomiques de Gembloux

Passage des Déportés, 2, 5030 Gembloux, Belgique.

Commandes

- par le site internet [www.pressesagro.be](http://www.pressesagro.be)
- par mail [pressesagro.gembloux@ulg.ac.be](mailto:pressesagro.gembloux@ulg.ac.be)
- par téléphone 00.32.81.62.22.42
- chez les libraires

## Résumé

L'agriculture d'aujourd'hui permet-elle encore de remplir les fonctions de production d'aliments sains et de qualité ? Ou faut-il privilégier des systèmes alternatifs tels que les circuits courts et l'agriculture biologique ? Quel avenir pour l'agriculture locale ? Vers quoi se dirige-t-on à l'échelle mondiale ? Les OGM ont-ils encore un rôle à jouer pour pouvoir faire face aux défis qui nous attendent ? Nos méthodes d'élevage sont-elles durables ? Comment gérer la problématique d'émission de gaz à effet de serre ? Ce premier ouvrage rédigé par des scientifiques oeuvrant principalement dans le domaine de l'alimentation et de l'environnement a pour objectif d'apporter aux lecteurs des informations fiables, basées sur l'évidence scientifique, afin de les aider à trouver des réponses à des questions importantes qu'ils peuvent se poser. Dans un monde où il est de plus en plus difficile de trouver des informations correctes, non déformées par les nombreux groupes de pression qui chacun défendent leurs propres intérêts, il est bon de pouvoir prendre un peu de recul et entamer une réflexion en profondeur sur certains de ces grands problèmes ou enjeux de société. "AgricultureS et enjeux de société" constitue le premier tome de la collection "Le trèfle à quatre feuilles". Il sera suivi par trois autres ouvrages, portant sur des thématiques complémentaires que sont l'Alimentation, l'Environnement et la Santé. A l'image du trèfle à quatre feuilles, porte-bonheur et symbole de bonne fortune, la collection comprend donc quatre tomes, correspondant aux quatre folioles de notre talisman. Chacun d'entre eux a son importance et converge vers un objectif ultime: le bien-être de l'être humain vivant dans un environnement sain et se nourrissant de produits de qualité.





**Auteurs:** Vernier Philippe, N'Zué Boni, Zakhia-Rozis Nadine.

208 pages

ISBN: 978-2-87016-153-1

BEL/ETR: 25 € + frais de port

Presses agronomiques de Gembloux

Passage des Déportés, 2, 5030 Gembloux, Belgique.

Commandes

- par le site internet [www.pressesagro.be](http://www.pressesagro.be)
- par mail [pressesagro.gembloux@ulg.ac.be](mailto:pressesagro.gembloux@ulg.ac.be)
- par téléphone 00.32.81.62.22.42
- chez les libraires

## Résumé

La filière manioc joue un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire et l'économie des pays du Sud, surtout en milieu rural et de plus en plus en milieu urbain. Cette production en forte croissance concerne plus d'un demi-milliard d'agriculteurs - souvent parmi les plus pauvres - dans toutes les régions intertropicales. Cet ouvrage présente tous les aspects de la culture (botanique, génétique, multiplication, etc.) et insiste sur les maladies et ravageurs, dont les dégâts risquent de s'accroître avec le changement climatique. Sont décrits les modes de transformation des racines fraîches pour l'alimentation, secteur artisanal très développé par les femmes, mais également en voie de semi-industrialisation dans de nombreux pays. L'essor des produits industriels à base de manioc est abordé à travers la fabrication d'amidon, d'éthanol et d'aliments du bétail. Ainsi, la production de manioc s'insère dans une chaîne de valeur de plus en plus tournée vers l'approvisionnement des villes et de l'industrie, tant pour des usages alimentaires que non alimentaires. Les auteurs montrent que, face aux changements globaux, notamment au réchauffement climatique, les caractères de résilience du manioc pourraient accroître son rôle crucial pour la sécurité alimentaire des pays tropicaux. Ces évolutions suscitent des besoins importants de recherche sur les variétés et la protection phytosanitaire. Rédigé dans un langage accessible, cet ouvrage concret et illustré, est destiné à tous les acteurs de la filière manioc.

## Les auteurs

Philippe Vernier, agronome au Cirad, spécialiste des plantes à racines et tubercules tropicales, a conduit de nombreux projets sur ces cultures en Afrique, Amérique latine et dans le Pacifique.

Boni N'Zué est docteur en génétique des plantes à racines et tubercules au CNRA en Côte d'Ivoire. Ses recherches ont abouti à la création et à la diffusion de nouvelles variétés de manioc.

Nadine Zakhia-Rozis, docteur en sciences alimentaires et chercheuse au Cirad, a coordonné de nombreux projets sur la transformation alimentaire du manioc et sa valorisation.



**Auteurs:** Boldrini Sylvie, Bracke Charles, Dainou Kasso, Vermeulen Cédric, Fétiveau Judicaël, Ngoy Shutcha Mylor, Doucet Jean-Louis

53 pages

ISBN: 978-2-87016-151-7

BEL/ETR: 15 € + frais de port

Presses agronomiques de Gembloux

Passage des Déportés, 2, 5030 Gembloux, Belgique.

#### Commandes

- par le site internet [www.pressesagro.be](http://www.pressesagro.be)
- par mail [pressesagro.gembloux@ulg.ac.be](mailto:pressesagro.gembloux@ulg.ac.be)
- par téléphone 00.32.81.62.22.42
- chez les libraires

#### Résumé

L'agroforesterie est un mode de gestion durable des sols. Elle associe dans le temps ou dans l'espace des arbres avec des cultures et/ou l'élevage. Grâce à cette association, des interactions positives se créent entre les différentes composantes du système. Par exemple, l'introduction d'arbres fixateurs d'azote bénéficie aux cultures vivrières en jouant le rôle d'engrais vert.

L'agroforesterie d'arbres dans une parcelle de culture apporte également d'autres avantages : - ils facilitent la pénétration de l'eau dans le sol, - ils permettent de lutter contre l'érosion, - ils puisent les éléments nutritifs en profondeur et les rendent disponibles en surface pour les cultures, - ils jouent le rôle de brise-vent, - ils peuvent apporter de l'ombrage en saison sèche, - ils peuvent fournir des fruits comestibles, du miel, du bois d'oeuvre, du bois de chauffe, des produits médicinaux, etc.

L'agroforesterie est au coeur du projet "Agroforêts pour le développement de Kipushi", AFODEK, qui a été mis en oeuvre entre décembre 2012 et novembre 2017 grâce au soutien financier de l'Union européenne (DCI-FOOD/2012/294-526).

S'appuyant sur l'expérience de la Fondation Hanns Seidel à Mampu (Plateaux Batékés), trois organismes, le GRET, l'asbl belge Nature+ et le Centre Promotionnel du Paysannat ont joint leurs efforts pour aménager un périmètre agroforestier de 2000 hectares (ha) dans une zone de savanes dégradées aux sols peu fertiles. Le présent document technique a été élaboré par le projet AFODEK en vue de partager l'expérience du périmètre agroforestier de Kipushi. Il s'adresse avant tout à un public d'agriculteurs ou de techniciens agricoles.

Académie Royale  
des  
Sciences d'Outre-Mer



ROYAL ACADEMY  
FOR  
OVERSEAS SCIENCES

## International Conference Climates and Cultures: Perspectives for the Future

**BRUSSELS, 23-24 May 2018**

**Palace of the Academies; Rue Ducale 1 / Hertogstraat 1; 1000 Brussels**

### Climates and Cultures: Perspectives for the Future

Global warming and climatic change issues and their impact on human societies appear every day in the media. In a distant and recent past mankind was also confronted with climatic change. The international conference Climates and Cultures: Perspectives for the Future, organized by the Royal Academy for Overseas Sciences, which acts as a meeting place between North and South, will focus on the following topics in connection with climatic change: migrations, biodiversity, desertification, technological innovation, food supply, law and literature.

### Climats et cultures : Perspectives pour l'avenir

Les problèmes de réchauffement et changement climatiques et leur impact sur nos sociétés humaines apparaissent tous les jours dans les médias. Dans un passé lointain et récent, l'humanité a aussi été confrontée à des changements climatiques. La conférence internationale Climates and Cultures: Perspectives for the Future, organisée par l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, lieu de rencontre et de communication entre le Nord et le Sud, se focalisera sur les thèmes suivants dans leurs rapports avec les changements climatiques: migrations, biodiversité, désertification, innovation technologique, alimentation, droit et littérature.

### Klimaten en Culturen: Perspectieven voor de Toekomst

De problemen van de opwarming van de aarde en de klimaatwijziging, en de impact die deze hebben en nog zullen hebben op onze menselijke samenlevingen komen bijna dagelijks in de media. Ook in het verre en nabije verleden werd de mensheid geconfronteerd met fundamentele wijzigingen in het klimaat. De internationale conferentie Climates and Cultures: Perspectives for the Future, georganiseerd door de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen, een onafhankelijk wetenschappelijk forum voor Noord en Zuid, focust op hoe menselijke migratie, biodiversiteit, woestijnvorming, technologische innovatie, voeding, justitie en literatuur beïnvloed werden en worden door klimaatveranderingen.

## Présentation

Tropicultura est une revue multidisciplinaire qui publie des articles originaux, des notes de recherche et de synthèse, des résumés de livres et de thèses, des annonces ainsi que des comptes rendus de films et de supports audiovisuels concernant tous les domaines liés au développement rural et à la gestion durable de l'environnement outre-mer.

### Parrainage scientifique

Tropicultura est éditée par l'asbl AGRI-OVERSEAS et bénéficie du patronage scientifique de l'Académie Royale des Sciences d'Outre Mer de Belgique (ARSOM : [www.kaowarsom.be](http://www.kaowarsom.be)).

Tropicultura remplit le rôle joué avant 1963 par le Bulletin agricole du Congo belge et du Ruanda- Urundi. Le premier volume de Tropicultura a été publié en 1983 sur support papier (ISSN 0771-3312). Une version électronique a pris le relais depuis 2013 (eISSN 2295-8010).

### Domaines scientifiques

Tropicultura publie les articles liés au développement rural et à la gestion durable de l'environnement dans les pays chauds: productions végétales et animales, sciences vétérinaires, sciences forestières, sciences du sol et de la terre, génie rural, sciences de l'environnement, pêches et pisciculture, bio-industries, agroalimentaire, sociologie et économie.

### Soutien financier

Tropicultura est éditée avec le soutien financier de la région Bruxelles Capitale ([be.brussels.be](http://be.brussels.be)) et de l'Ecole Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion intégré des Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIFT: [www.eraift-rdc.cd](http://www.eraift-rdc.cd)).

### Tropicultura et le CAMES

Les publications dans Tropicultura sont reconnues par le Conseil africain et malgache pour l'enseignement Supérieur pour la promotion et l'avancement des enseignants - chercheurs (CAMES: <http://www.lecames.org/>).

### Membres de l'asbl Agri-Overseas

Agri-Overseas asbl se compose de membres individuels et de représentants des institutions belges suivantes: les quatre facultés en sciences agronomiques de Belgique (Gembloux - GxABT/ ULiège, Gent - UGent, Leuven - KULeuven et Louvain-La-Neuve - UCL), les deux facultés en médecine vétérinaire (Gent - UGent et Liège - ULiège), les unités de santé animale du Département de Sciences biomédicales de l'Institut de Médecine tropicale d'Anvers - IMTA, la Section interfacultaire d'Agronomie de l'Université libre de Bruxelles - ULB, l'Université de Namur (Namur - UNamur), le Département des Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université de Liège (Arlon - DSGE ULg), et l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer (KAOW - ARSOM).

### Régularité

Tropicultura est éditée trimestriellement en mars, juin, septembre et décembre.

### Publication en Open Access

Tous les articles de Tropicultura depuis sa création en 1983 sont publiés avec accès libre. Le texte intégral et les résumés sont gratuits. Les articles sont diffusés sous la licence Creative Commons (CC BY-NC 4.0 - <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fr>).

### Indexation dans les principales bases de données

Tropicultura est indexée dans les bases de données SCOPUS, AGRICOLA, AGRIS, CABI, SESAME et DOAJ.

### Facteur d'impact

Les démarches sont en cours pour l'obtention d'un facteur d'impact.

### Diffusion de Tropicultura

Tropicultura a été publiée en version imprimée de 1983 à 2012. La version papier était tirée à 2.650 exemplaires et diffusée dans 110 pays différents. Tous les articles, depuis le premier fascicule, sont accessibles en texte intégral sur le site web (<http://www.tropicultura.org/content/>) et sur le DOAJ (<https://doaj.org/toc/0771-3312>).

En 2014, Google analytics a comptabilisé 8.648 visites en provenance de 141 pays et régions. Le nombre de téléchargement de la revue Tropicultura était de 2.173 téléchargements en provenance de 101 pays en 2014.

Tropicultura est également accessible sur les sites EBSCO et Bielefeld (<http://www.basesearch.net/Search/Results?lookfor=dccoll%3Aftdoaj%2A+tropicultura.org&refid=dclink>) et via google scholar (<https://scholar.google.be/scholar?q=Tropicultura>).

### Coordonnées

#### Comité de rédaction

Président : Prof. Dr. J. Bogaert (GxABT/ ULiège)

Rédacteur en chef : Prof. Dr. Ir. G. Mergeai (GxABT/ ULiège)

Membres : Prof. Dr. Ir. P. Bertin (UCL), Prof. Dr. Ir. E. Tollens (KULeuven), Prof. Dr. Ir. Ch. De Cannière (ULB), Prof. Dr. B. Losson (ULiège), Prof. Dr. J.-C. Micha (FUNDP), Prof. Dr. Ir. B. Tychon (DSGE ULiège), Prof. Dr. P. Dorny (IMTA), Prof. Dr. Ir. P. Van Damme (UGent), Prof. Dr. S. Geerts (KAOW -ARSOM), Dr. G. Akoda (EISMV), Dr. Ir. A. Dieng (ENSA), Prof. Dr. Ir. P. Mobambo (UNIKIN), Dr. C. Ly (ILRI) et Prof. Dr. J. Vercruysse (UGent).

Assistants du rédacteur en chef: Dr. Ir. Germain Harelimana, Mme Caroline Louvet.

Le conseil d'administration est composé de: Prof. Dr. J. Bogaert (président), Prof. Dr. Ir. G. Mergeai (administrateur-délégué), Prof. Dr. B. Losson (trésorier), Dr Eric Thys (secrétaire), Prof. Dr. J. Vercruysse (membre), Prof. Dr. S. Geerts (membre).

Invités permanents: le Secrétaire perpétuel de l'ARSOM et le directeur de l'ERAIFT.



## Editeur

Agri-Overseas  
Avenue Louise, 231  
B-1050 Bruxelles (Belgique)  
tél. 32(0)2-540 88 60, 32(0)2-540 88 61  
fax 32(0)2-540 88 59  
e-mail ghare.tropicultura@belgacom.net, clouvet.tropicultura@belgacom.net  
<http://www.tropicultura.org>

## Guide des auteurs

### Langues de publication

Tropicultura publie les articles écrits en anglais, espagnol, français et néerlandais. Les résumés sont publiés en anglais et en français (espagnol ou néerlandais si les manuscrits sont soumis dans cette langue).

### Contenu des manuscrits

La priorité est donnée aux articles présentant des sujets originaux, ayant une portée la plus large possible, c'est-à-dire dont le contenu concerne surtout des aspects méthodologiques transposables dans une large gamme d'environnements et de régions du monde.

Un accent tout particulier est également mis sur la fiabilité des informations publiées, c'est-à-dire, quand il s'agit de résultats expérimentaux, sur le nombre de répétitions des essais, dans le temps et dans l'espace, qui sont à l'origine des données obtenues.

Les manuscrits seront inédits et n'auront pas été soumis pour publication simultanément à une autre revue scientifique.

### Procédure de soumission

Les manuscrits sont à adresser au rédacteur en chef par la poste, en trois exemplaires, sous forme de document papier, ou, de préférence, directement à l'adresse électronique du secrétariat de rédaction sous forme de fichiers attachés.

Dans la mesure du possible, après acceptation de l'article pour publication, l'auteur fournira sa dernière version, revue et corrigée, sous format électronique. Le logiciel Word est recommandé mais une version ASCII ou RTF des fichiers est acceptée.

### Style

Les manuscrits seront rédigés en simple face, en double interligne, police de caractères times new Roman 11, avec une marge de 2,5 cm autour de la plage imprimée. Ils comporteront au maximum vingt pages de texte (page de couverture non compris).

La page de couverture portera: le titre, le titre abrégé (maximum 55 caractères), les noms et prénoms complets des auteurs, le diplôme, la fonction, la nationalité, l'adresse professionnelle complète et l'adresse électronique de chacun d'eux, les remerciements éventuels. Le nom de l'auteur correspondant sera marqué d'un "\*" et son adresse sera complétée par son numéro de téléphone.

Les pages suivant la page de couverture présenteront:

- (i) les résumés (max. 200 mots) dans la langue du manuscrit et en anglais, précédés du titre traduit et suivis de maximum six mots-clés dans chacune des deux langues;
- (ii) le corps du texte;
- (iii) la bibliographie;
- (iv) les tableaux numérotés au moyen de chiffres arabes;
- (v) les illustrations identifiées sans ambiguïté par un numéro au verso si elles ne sont pas envoyées électroniquement;
- (vi) les légendes des tableaux et des illustrations.

Toutes les pages seront numérotées en continu.

Le texte sera divisé en grands chapitres (généralement: Introduction, Matériel et méthodes, Résultats, Discussion, Conclusions) et sa subdivision ne dépassera pas deux niveaux (un seul niveau en dessous de celui des chapitres). Les titres des chapitres et les sous-titres des paragraphes, très concis ne seront jamais soulignés. Les références seront citées dans le texte au moyen de nombres placés entre parenthèses. En cas de citation de plusieurs références, leurs nombres se succéderont par ordre croissant.

Les figures seront dessinées de façon professionnelle. Les photographies seront fournies non montées, bien contrastées sur papier brillant. Les photos fournies en format jpg doivent être de bonne qualité et avoir au minimum 300 pixels par pouce (dpi).

Les fichiers Excel des données de tableaux et graphiques doivent être fournis lors de la soumission du manuscrit.

Les références bibliographiques seront données par ordre alphabétique des noms d'auteurs et par ordre chronologique pour un auteur donné. Elles seront numérotées en continu en commençant par le chiffre 1.

Le nombre de références bibliographiques ne dépassera pas cinquante.

Pour les articles de revues, les références comprendront : les noms des auteurs suivis des initiales des prénoms, l'année de publication, le titre complet de l'article dans la langue d'origine, le nom de la revue, le numéro du volume souligné, les numéros de la première et de la dernière page séparés par un tiret. Exemple: Poste G., 1972, Mechanisms of virus induced cell fusion. *Int. Rev. Cytol.* 33, 157-222.

Pour les monographies, les éléments suivants sont essentiels : les noms des auteurs suivis des initiales des prénoms, l'année de publication, le titre complet de l'ouvrage, le nom de l'éditeur, le lieu d'édition, la première et la dernière page du chapitre cité, le nombre total de pages de l'ouvrage. Les comptes rendus de conférences sont traités comme des monographies; de plus, ils mentionneront si possible le lieu, la date de la réunion et le(s) éditeur(s) scientifique(s).

Exemple: Korbach M.M. & Ziger R.S., 1972, Heterozygotes detection in Tay-Sachs disease a prototype community screening program for the prevention of recessive genetic disorders pp 613-632. In: B.W. Volks & S.M. Aronson (Editors), *Sphingolipids and allied disorders*, Plenum, New-York, 205 p.

### Droits de reproduction

En soumettant l'article, les différents auteurs associés donnent à Tropicultura l'autorisation, non exclusive, de diffusion en accès libre. L'auteur conserve ses droits d'auteur.

### Attestation de publication

Afin de s'assurer de l'originalité du manuscrit et de l'accord de sa publication par les organismes de tutelle des auteurs, il est demandé à l'auteur principal de signer une attestation sur l'honneur.

**Participation aux frais de publication**

Le montant de la participation des auteurs aux frais de publication de l'article s'élève à 200 euros. Lors de la soumission, l'auteur correspondant doit accepter ces frais. La participation aux frais est à payer lorsque le manuscrit est accepté pour publication.

**Détecteur de plagiat**

Tous les manuscrits sont soumis à un test de plagiat avant d'être transmis aux lecteurs.

**Comité de lecture**

Le comité de lecture de Tropicultura est composé de lecteurs bénévoles appartenant à la communauté scientifique internationale, spécialisés dans tous les domaines concernant le développement rural et la gestion durable de l'environnement dans les pays d'outre-mer.

Les auteurs devront proposer trois lecteurs de renommée internationale, lors de la soumission.

Les articles sont soumis à un ou plusieurs lecteurs sélectionnés par le comité de rédaction.

Ces lecteurs restent anonymes pour les auteurs. Les auteurs restent également anonymes pour les lecteurs.

Le comité de rédaction se réserve le droit de refuser tout article non conforme aux prescriptions de la revue.

Le taux d'acceptation des articles soumis à Tropicultura entre 2010 et 2015 est de 32%.

**Aides à la rédaction**

Le secrétariat de rédaction peut conseiller les auteurs pour l'amélioration de leur manuscrit. Il peut également mettre en contact les lecteurs qui le souhaitent avec les auteurs dont ils évaluent le manuscrit.

*English text in Nr. 2*

*Nederlandse tekst in Nr.3*

*Texto Español en el N°4*

# TROPICULTURA

2018 Vol. 36 N°1

Four issues a year (January-February-March)

## EDITORIAL

Tropicultura will integrate PoPuPS in 2018 (*Text in English and French*)

**J. Bogaert & B. Pochet**

1

## ORIGINAL ARTICLES

Preliminary Inventory of the Earthworm Fauna in the "Réserve et Domaine de chasse" of Bombo-Lumene Batéké Plateau (Democratic Republic of the Congo) (*Text in French*)

**F. Milau, A. Lemtiri, M. Mungyeko, J. Aloni & F. Francis**

3

AFLP analysis of Genetic Diversity Among Different *Jatropha curcas* L. Genotypes from Africa and Ecuador

**N.O. Konan, L.N. Nacoulima & F.H. Diouf**

11

Chain Analysis of the Legality of Artisanal Sawn Wood and Fuel Wood in Kisangani (D.R.C) (*Text in French*)

**P.T. Ongona, G. Lescuyer, J. Schure & D. Lokombe**

23

Evaluation of Floristic Diversity in Palm Groves (*Phoenix dactylifera*) of Ouargla Region (Northern Algerian Sahara) According to Different Maintenance Levels (*Text in French*)

**T. Medjber-Teguig, L. Kadik & B. Boumarar**

33

Tazegzawth: Characterization of an Algerian Sheep Breed (*Text in French*)

**N. Moula**

43

Logit Model of Analysing the Factors Affecting the Adoption of Goat Raising Activity by Farmers in the Non-pastoral Centre Region of Cameroon

**A.J.Z. Folefack, P.P. Tsafack & F. Kamajou**

54

Nitrogen Fixation by Groundnut and Cowpea for Productivity Improvement in Drought Conditions in the Sahel (*Text in French*)

**F. Hamidou, A. Harou, B.F. Achirou, O. Halilou & Y. Bakasso**

63

Feeding Behavior of the Dama Mhorr Gazelle (*Nanger dama mhorri*, Pallas, 1766) in Semi-free Range in the North (*Text in French*)

**S.M. Sarr, E. Faye, A. Diatta & C.A.T. Djigo**

80

Retrospective Study of Reproductive Parameters of Kouri Taurine Cattle at the Sayam Station in Niger (*Text in French*)

**K.I. Adamou, H. Mouloul, M. Issa, A.A. Boubacar & H. Marichatou**

87

Characterization of the Spatial Urban Growth of the city of Lubumbashi (Haut-Katanga, D.R. Congo) between 1989 and 2014 (*Text in French*)

**Y.U. Sikuzani, S. Cabala Kaleba, J.-M. Halleux, J. Bogaert & F. Munyemba Kankumbi**

99

Contribution to the Identification of a Local and Available Food Source for Sustainable Production of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) in the Democratic Republic of Congo

**A.Tshinyama, É. Proulx, M.-H.Deschamps, F.Okityela, D. Khasa & G.W. Vandenberg**

109

Feeding Diets of *Ctenopoma petherici* (Perciformes, Anabantidae) from the Agneby River and from the Hydroelectric Lake Dam of Ayame 2 (Côte d'Ivoire) (*Text in French*)

**G.B. Kassi, M.G. Zeré, S.Y. Stanislas & V. N'Douba**

123

## BIBLIOGRAPHY

Agriculture § Enjeux de société

**Pussemier Luc, Goeyens Léo**

133

Le manioc, entre culture alimentaire et filière agro-industrielle

**Vernier Philippe, Z'Zué Boni, Zakhia-Rozis Nadine**

134

Guide technique: Plantation agroforestière d'Acacia auriculiformis dans le haut Katanga

**Boldrini Sylvie, Bracke Charles, Daïnou Kasso, Vermeulen Cédric, Fétiveau Judiciaël, Ngoy Shutcha Mylor,**

**Doucet Jean Louis**

135

## ANNOUCEMENTS

RAOS: International Conference Climates and Cultures: Perspectives for the Future

136

TROPICULTURA IS A PEER-REVIEWED JOURNAL INDEXED BY AGRIS, CABI, SESAME AND DOAJ