

# TROPICULTURA

2017 Vol. 35 N°4

Trimestriel (octobre- novembre- décembre)  
Driemaandelijks (oktober- november- december)  
Trimestral (octubre- noviembre- diciembre)  
Quarterly (October- November- December)



Taches brunes sur une foliole de feuille de palmier à huile

Crédit: Guy Mergeai, Boma, RDC, 2013

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

- Wetland Management Plan, a Hope for Sustainable Artisanal Fisheries in Protected Areas (PA)?  
 Quel avenir pour les aires protégées aux zones humides souvent oubliées en Afrique continentale?  
 ¿Qué futuro para las áreas protegidas en las zonas húmedas a menudo olvidadas en África continental?  
 Welke toekomst voor beschermd gebied met vergeten vochtige zones op het vasteland van Afrika?  
**J.C. Micha** 235

## ARTICLES ORIGINAUX/OORSPRONKELIJKE ARTIKELS/ARTICULOS ORIGINALES

- Evaluation participative de variétés de riz dans les zones salées du Sénégal, Mali et de la Gambie  
 Evaluación participativa de variedades de arroz en las zonas saladas de Senegal, Mali y de Gambia  
 Participatieve evaluatie van rijstvariëteiten in de zoutegebieden van Senegal, Mali en Gambia  
**O. Nd Faye, T. Gueye, A. Dieng, M. Cissé & M. Ndiaye** 237

- Paramètres de croissance et d'exploitation de *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lecepede, 1803) (Siluriformes, Bagridae) dans une lagune tropicale : lagune Ebrié (Secteur I: lagune Potou, Côte d'Ivoire)  
 Parámetros de crecimiento y de explotación de *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lecepede, 1803) (Siluriformes, Bagridae) en una laguna tropical: la laguna Ebrié (Sector I: laguna Potou, Costa de Marfil)  
 Groei- en uitbatingsparameters van *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lecepede, 1803) (Siluriformes, Bagridae) in een tropische lagune: Ebrie lagune (Sector I: Potou lagoon, Ivoorkust)  
**A.T. Bédia, R. N'doua Etilé, G.G. Bi, P. Essetchi Kouamelan & V. N'douba** 253

- A Two-stage Empirical Analysis of Market Participation in Yam-growing Areas of West Africa  
 Une analyse empirique à deux niveaux de participation au marché dans les zones de production d'igname de l'Afrique de l'Ouest  
 Un análisis empírico en dos niveles de la participación en el mercado en las zonas de producción de ñame de África del oeste  
 Een empirische analyse op twee niveaus van deelname aan de markt in de produktiegebieden van yam in westelijk Afrika  
**D.B. Mignouna, T. Abdoulaye, A.A. Akinola, A. Alene, A. Oparinde, V.M. Manyong, N. Maroya & R. Asiedu** 262

- Inventaire préliminaire des macromycètes du Parc National Fazao-Malfakassa du Togo, Afrique de l'Ouest  
 Inventario preliminar del macromycetes del Parque nacional Fazao-Malfakassa de Togo, África del oeste  
 Voorlopige inventarisatie van de macromycetes uit het Nationaal Fazao-Malfakassa Park (Togo, West Afrika)  
**H. Kamou, K.A. Gbogbo, S.N. Yorou, P. Nadjombe, A.G. Abalo-loko, A. Verbeken, K. Batawila, K. Akpagana & K.A. Guelly** 275

- Distribution spatio-saisonnière des cyanobactéries le long du cours d'eau, la Lobo, haut Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire)  
 Spatio-estacional distribución de las cianobacterias a lo largo del río Lobo, Alta Sassandra (Daloa, Costa de Marfil)  
 Spatiaal en seizoen gebonden distributie van cyanobacteriën langs de Lobo stroom, Opper Sassandra (Daloa, Ivoorkust)  
**N. Grogga, T. N. Akedrin, K. Koffi, K.Thiegba, D. S. Akaffou & A. Ouattara** 288

- Vingt-cinq ans de monitoring de la dynamique spatiale des espaces verts en réponse à l'urbanisation dans les communes de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo)  
 Veinticinco años de seguimiento de la dinámica espacial de los espacios verdes en respuesta a la urbanización en los municipios de la ciudad de Lubumbashi (Alto-Katanga, R.D. Congo)  
 Vijfentwintig jaar monitoring van de ruimtelijke dynamiek van de groene ruimten in reactie op de urbanisatie in de gemeenten van de stad Lubumbashi (Opper-Katanga, DR Congo)  
**Y. Useni Sikuzani, S. Cabala Kaleba, C. Nkuku Khonde, Y. Amisi Mwana, F. Malaisse, J. Bogaert & F. Munyemba Kankumbi** 300

- Modélisation de la dynamique du paysage forestier de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky (Nord-Est de Madagascar)  
 Modelling of the Forest Landscape Dynamics of Réserve Spéciale d'Ambatovaky (Northeast of Madagascar)  
 Modelización de la dinámica del paisaje forestal de la Reserva Especial de Ambatovaky (Nordeste del Madagascar)  
 Modellering van de boslandschapsdynamiek van de bijzondere reserve van Ambatovaky (noordoosten van Madagaskar)  
**L.O. Rakotondrasoa, F. Malaisse & J. Bogaert** 312

Facteurs agissant sur la mortalité des chevreaux Djallonké et croisés Djallonké et Sahélien à la station de Kolokopé  
Mortality Determinants of Djallonke Kids and Crossbred between Djallonke and Sahelian Buck at Kolokope Station  
Factores que afectan la mortalidad de los cabritos Djallonké y cruzados Djallonké y Saheliano en la estación de Kolokopé  
Factoren met invloed op de mortaliteit van geitenlammeren van Djallonke geiten en van kruisingen van Djallonke en Sahel bokke

**A.Y. Djagba, B. Bonfoh, K. Aklikokou, H. Bassowa & K.Z. Koffi**

**325**

#### ANNONCES/ AANKONDIGINGEN/ ANUNCIOS

ARSOM: Yearly Competitions

**338**

ARSOM: International Conference: Climates and Cultures: Perspectives for the Future

**341**

#### TROPICULTURA FRIENDS

Tropicultura Friends

**342**

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

### Wetland Management Plan, a Hope for Sustainable Artisanal Fisheries in Protected Areas (PA)?

As Africa is home to a wide variety of ecosystems with high endemic biodiversity, the creation and management of Protected Areas (PA) is a widely used means for their conservation. And yet the inventory indicates that many factors cause the continued degradation of these spaces and their biodiversity which induce national and international important supports and expensive measures whose effectiveness is questionable.

In addition, most of these PA have wetlands that often contribute significantly to their biodiversity and ecosystem services. Thus, the fishery resources are being exploited more and more intensively by fishermen populations that have often not been the subject of any follow-up or any accompaniment on the part of the managers who focus mainly on the forest resource, its large terrestrial fauna and its poaching. And yet, for a sustainable conservation of biodiversity, it is necessary to organize and supervise this world of artisanal fishing that lives in or around the PA.

During various missions to assess the importance of fishermen's interactions with the sustainable management of PA in Central Africa, we met all the stakeholders in these PA with a particular attention to their wetlands and the fishermen with which we did the state of the premises. Almost in all cases, we have been struck by the negative or even aggressive attitude of fishermen towards their protected areas and the local authorities that manage them, obviously in an unsustainable way.

From the outset, the finding is a lack of knowledge of the aquatic biodiversity of PA, most of which do not even have a taxonomic list of fish species that are often exploited or over-exploited. As for the number of fishermen likely to fish in the PA, well above the number of poachers otherwise inventoried, it is rarely known. How to properly manage the biodiversity and ecosystem services of a PA without knowing the aquatic species and their interactions with terrestrial flora and fauna and ignoring the population that exploits them?

Therefore, during many participatory meetings, in the form of workshops of all stakeholders, we have tried to develop a Master Plan for Development and Sustainable Management of the Wetlands, integrated in the Global Plan of the protected area when it exists, which is far from being the general case. The most sustained and significant efforts have resulted in a wetlands master plan, officially endorsed by all stakeholders. In each case, the stakeholders defined their general and specific objectives, developed an action plan in 4 points: return to a sustainable exploitation aiming at maximum sustainable yield, reinforce the operational capacities of the co-management bodies, valorize the products through better conservation, processing and marketing and diversifying the livelihoods of artisanal fishermen by promoting alternative activities such as agro-fish farming. This participatory bottom-up strategy better integrates these actors in the field into a sustainable exploitation and aims to better reinforce the maintenance of these protected areas for present and future generations.

For a true sustainable conservation of the PA, it is essential that the local and national authorities, the regional organizations (COMIFAC, etc.) and the Technical and Financial Partners allow to **really and concretely increase the participation of the rural populations bordering** and in particular the fishermen in the planning and sustainable management of the wetlands they use to contribute to their well-being, while moving towards the achievement of the Sustainable Development Goals.

Pr. Emeritus Jean-Claude Micha  
Delegate Editor

## Quel avenir pour les Aires Protégées (AP) aux zones humides oubliées en Afrique continentale?

L'Afrique abritant une grande variété d'écosystèmes à forte biodiversité notamment endémique, la création et la gestion d'Aires Protégées (AP) est un moyen largement utilisé pour leur conservation. Et pourtant l'état des lieux indique que de nombreux facteurs provoquent la dégradation continue de ces espaces et de leur biodiversité ce qui induit des mesures et supports nationaux et internationaux fort importants et forts coûteux dont l'efficacité est questionnable.

Par ailleurs, la plupart de ces AP présentent des zones humides qui contribuent souvent fortement à leur biodiversité et à leurs services écosystémiques. Ainsi, les ressources halieutiques font l'objet d'une exploitation de plus en plus intensive par des populations de pêcheurs qui n'ont souvent fait l'objet d'aucun suivi, ni d'aucun accompagnement de la part des gestionnaires qui se focalisent essentiellement sur la ressource forestière, sa grande faune terrestre et son braconnage. Et pourtant, pour une conservation durable de la biodiversité, il y a lieu d'organiser et d'encadrer ce monde de la pêche artisanale qui vit dans ou en périphérie des AP.

Lors de diverses missions visant à évaluer l'importance des interactions des pêcheurs avec la gestion durable des AP en Afrique centrale, nous avons rencontré toutes les parties prenantes à ces AP avec une attention particulière à leurs zones humides et au monde de la pêche avec lequel, nous avons fait l'état des lieux. Quasi dans tous les cas, nous avons été frappé par l'attitude négative voire agressive des pêcheurs vis-à-vis de leurs aires protégées et des autorités locales qui les gèrent, à l'évidence de façon non durable.

D'emblée, le constat est une méconnaissance de la biodiversité aquatique des AP qui, pour la plupart, ne disposent même pas d'une liste taxonomique des espèces de poissons pourtant très souvent exploitées voir surexploitées. Quant au nombre de pêcheurs susceptibles de pêcher dans l'AP, bien supérieur au nombre de braconniers par ailleurs inventoriés, il est rarement connu. Comment bien gérer la biodiversité et les services écosystémiques d'une aire protégée sans en connaître les espèces aquatiques et leurs interactions avec la flore et la faune terrestre et en ignorant la population qui les exploitent?

C'est pourquoi, au cours de nombreuses réunions participatives, sous forme d'ateliers de toutes les parties prenantes, nous avons tenté de développer un Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD) des Zones Humides s'intégrant dans le Plan Global d'Aménagement de l'aire protégée quand il existe, ce qui est loin d'être le cas général. Les efforts les plus soutenus et les plus conséquents ont débouché sur un PAGD des Zones Humides validé officiellement par toutes les parties prenantes. Dans chaque cas, les parties prenantes ont défini leurs objectifs général et spécifiques, ont élaboré un plan d'action en 4 points: revenir à une exploitation durable en visant le rendement maximum durable, renforcer les capacités opérationnelles des organes de cogestion, valoriser les produits halieutiques par une meilleure conservation, transformation et commercialisation et enfin, diversifier les moyens d'existence des pêcheurs artisanaux par la promotion d'activités alternatives telles que l'agro-pisciculture. Cette stratégie participative partant de la base intègre mieux ces acteurs de terrain dans une exploitation durable et vise à mieux renforcer le maintien de ces aires protégées pour les générations présentes et à venir.

Pour une véritable conservation durable des AP, il est indispensable que les autorités locales et nationales, les organismes régionaux (COMIFAC, etc.) et les Partenaires Techniques et Financiers permettent **d'accroître réellement et concrètement la participation des populations rurales riveraines** et notamment des pêcheurs dans la planification et la gestion durable des zones humides qu'ils exploitent pour que cela contribue à leur bien-être, tout en progressant vers l'atteinte des Objectifs de Développement Durable.

Pr. Émérite Jean-Claude Micha  
Rédacteur Délégué

**ARTICLES ORIGINAUX  
ORIGINAL ARTICLES**
**OORSPROKELIJKE ARTIKELS  
ARTICULOS ORIGINALES**
**Evaluation participative de variétés de riz dans les zones salées du Senegal, Mali et de la Gambie**

 O. Nd Faye<sup>\*1</sup>, T. Gueye<sup>2</sup> & A. Dieng<sup>2</sup>
**Keywords:** Salinity- Participatory varietal selection- Rice- Senegal- Mali- Gambia

**Résumé**

*La présente étude s'inscrit dans le cadre du projet STRASA (Stress Tolerant Rice for Africa and South Asia) financé par Bill-et-Melinda-Gates et mis en œuvre par AfricaRice, en partenariat avec l'IRRI et dont l'une des composantes-phares est la recherche de variétés de riz tolérantes à la salinité. Les résultats présentés portent sur 5 essais de sélection variétale participative conduits en une année dans des conditions de salinité différentes au Mali, Sénégal et en Gambie. Le choix par les producteurs de variétés tolérantes à la salinité, soutenu par une analyse statistique des paramètres agronomiques, a permis de sélectionner les variétés présentant les meilleures performances agronomiques. L'analyse de la variance de l'interaction du génotype et de l'environnement a révélé un effet significatif sur le rendement en grains et la hauteur des variétés. Au niveau de chaque site, les performances agronomiques de quelques variétés choisies par les producteurs ont été confirmées par les analyses statistiques : il s'agit des variétés IR 72593-B-3-2-1-2-B; IR 59418-7B-21-3 et WAS 73-B-B-231-4 au Sénégal ; IR 76346-B-B-10-1-1-1 et IR 65192-4B-11-3 et WAS 73-B-B-231-4 au Mali.*

**Summary**
**Participatory Varietal Evaluation of Rice Varieties in the salt areas of Senegal, Mali and Gambia**

*This study is part of the STRASA project (Stress Tolerant Rice for Africa and South Asia) and implemented by AfricaRice, in partnership with IRRI. One of its key components is the search of salinity tolerant rice varieties. The results are related to 5 participatory breeding trials conducted during one year in various salt conditions in Mali, Gambia and Senegal. The choice of the salt tolerant varieties by farmers confirmed by statistical analysis of agronomic parameters allowed to select the varieties with the best agronomic performances. The variance analysis of the interaction Genotype x Environment showed a significant effect on the grain yield and on the plant height. In each site, the agronomical performances of the varieties chosen by the farmers were confirmed by statistical analysis. These varieties are: IR 72593-B-3-2-1-2-B; IR 59418-7B-21-3 and WAS 73-B-B-231-4 in Senegal; IR 76346-B-B-10-1-1-1 and IR 65192-4B-11-3 in Gambia; and WAS 73-B-B-231-4 in Mali.*

<sup>1</sup>Institut Sénégalais de Recherches Agricoles – Centre de Saint Louis Route de Khor, Saint Louis, Sénégal

<sup>2</sup>Université de Thiès – École Doctorale Développement Durable et Société, Thiès, Sénégal

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

Reçu le 10.11.15 et accepté pour publication le 03.03.17

## Introduction

En Afrique Subsaharienne, le riz fait de plus en plus partie des céréales les plus consommées: en Gambie, la consommation annuelle par tête d'habitant est de 117 kg, au Sénégal 90 kg et au Mali 81,61 Kg (14). Entre 2000 et 2012, le taux d'augmentation annuelle de la consommation du riz était de 5%. Considérant ce taux et tous les autres paramètres influençant la demande intacts, la consommation du riz dans cette partie de l'Afrique devrait augmenter de 24 Mt en 2012 à 36 Mt en 2020. La production en 2020 dans cette partie de l'Afrique serait de 19 Mt de riz blanc et entraînerait un besoin d'importation de 17 Mt (42). Pour faire face à cette situation, les gouvernements africains ont développé des stratégies pour renverser cette tendance malgré les contraintes abiotiques liées aux changements climatiques. La salinité fait partie des problèmes importants qui affectent l'agriculture au niveau mondial, on prévoit dans les prochaines décennies qu'elle fera partie des problèmes les plus sérieux qui entravent les productions végétales (13). Généralement, le terme «salinité» au sens strict inclut tous les problèmes qui sont dus aux sels présents dans le sol. Cependant, trois types de salinité (13, 18) sont distingués:

- les sols sodiques (alcalins) sont caractérisés par une faible teneur en sels solubles, un Pourcentage de Sodium ( $\text{Na}^+$ ) Echangeable (PSE) élevé  $\geq 15$  et une dégradation de la structure des sols. Le PSE est la quantité relative de l'ion sodium présent sur la surface du sol, exprimée en pourcentage de la capacité d'échange cationique total (CEC). Il traduit ainsi le taux de saturation du complexe absorbant en sodium échangeable par rapport à tous autres cations échangeables;
- les sols salins sont toujours dominés par les cations de sodium avec une conductivité électrique de plus de 4 déci-Siemens par mètre, les anions dominants sont généralement du chlore et du sulfate solubles. -Les valeurs du pH et du Rapport d'Absorption du Sodium (RAS) sont beaucoup plus faibles que dans -les sols sodiques;
- les sols sodique-alcalin ont à la fois de grandes valeurs de PSE et CE.

Plus de 6,2% des terres émergées, soit environ 837 millions d'hectares, sont affectées par la salinité (18). Cette superficie est composée de 48 % de sol salin et 52% sol sodique (9). Le monde perd au moins 3 ha de terres arables chaque minute à cause de la salinité du sol (22). Cette perte est encore estimée à près de 12 billions USD annuellement et ce montant augmente en fonction du niveau élevé de la salinité (18).

La salinité fait partie des facteurs limitant sévèrement la production des céréales, notamment le riz (46). Les plantes réagissent différemment à la salinité suivant leurs différents stades de développement.

Le riz réagit différemment à la salinité suivant les stades de développement:

- diminution de la croissance des plantules (2);
- en floraison, on note une réduction de la photosynthèse et une augmentation du nombre d'épillets vides (26);
- à la phase reproductive, le nombre de talles fertile, le poids des grains et le nombre de grains remplis diminuent (5).

La plante est très tolérante à la germination, peu sensible aux stades de tallage et maturation, mais très sensible en phase plantule et stade reproduction (25).

Les mécanismes de tolérance à la salinité peuvent être répartis en trois groupes:

-Ajustement ionique: la rentrée des ions sodium dans les vacuoles à de fortes concentrations peut entraîner un besoin d'augmenter la pression osmotique des autres compartiments cellulaires, afin de maintenir le volume (4). Quoique la synthèse et l'accumulation de composés solubles compatibles contribuent au maintien de la croissance cellulaire en conditions de stress ionique, les plantes ont développé d'autres moyens non moins efficaces tels que l'ajustement ionique afin de réduire et d'équilibrer la concentration d'ions dans le but d'ajuster la pression osmotique au niveau du cytoplasme (35, 43).

- Exclusion des ions toxiques: l'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (7, 34). La plante évite ainsi leur accumulation à des concentrations toxiques dans les feuilles. Une défaillance de cette exclusion entraîne une toxicité au niveau des feuilles les plus âgées qui meurent prématurément après quelques jours ou semaines selon l'espèce (39);
- La compartimentation vacuolaire: celle-ci consiste à évacuer du cytoplasme les ions  $\text{Na}^+$  en excès vers la vacuole, afin d'éviter leur effet toxique et inhibiteur à l'encontre des processus enzymatiques (17). Cette action nécessite un cloisonnement de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  au niveau cellulaire et intracellulaire pour éviter les concentrations toxiques dans le cytoplasme, en particulier dans les cellules de mésophile de la feuille (35).

Chez la variété de riz Nona Borka, les mécanismes tels l'évitement de l'entrée de  $\text{Na}^+$  dans les parties aériennes, l'accumulation de  $\text{Na}^+$  dans les gaines et le maintien de la croissance ont été mis en évidence (27).

Les méthodes de sélection conventionnelle telles que l'hybridation, la mutation, le «shuttle breeding» (sélection par navette) ont permis de développer les premières variétés tolérantes à partir des variétés traditionnelles tolérantes. Les variétés CSR 10, CSR 13, CSR23, CSR27, CSR30, CSR36, PSBRc48, PSBRc86, PSBRc88 et NSIC Rc106 ont été développées avec des lignées recombinantes (21). Dans le cadre du projet STRASA, quatre variétés ont été homologuées pour leur tolérance à la salinité dans l'écologie de mangrove en Gambie et Sierra Léone avec l'approche de la SVP (Sélection Variétale Participative) parmi lesquelles War 73-1-M2-1 et WAR 77-3-2-2.

La variété de riz traditionnelle POKKALI, tolérante à la salinité et se développe dans les zones de l'Etat du Kerala en Inde, elle a été soumise en culture cellulaire pour l'induction de variation somaclonale. Une des variétés obtenues TCCP 266-2-49-B-B-3 a présenté des caractéristiques plus intéressantes: tolérance à la salinité, périsperme blanc, meilleure qualité du grain et le rendement s'est amélioré (23). Les variétés mères Nona Borka, I Kong Pao (IKP), Srimalaysia I ont aussi été utilisées avec cette approche pour développer des populations testées au Sénégal, en Côte d'Ivoire et au Maroc (10). La première variété de riz tolérante à la salinité développée par la culture des anthères avec indica x indica en IRRI (International Rice Research Institute) et homologuée en Philippines en 1995, est IR51500-AC11-1 sous le nom de PSBRc50 «Bicol» (43). La Corée du Sud, dans le cadre du projet KAFACI (Korea - Africa Food and Agriculture Cooperative Initiative) est en train de caractériser des variétés obtenues par la culture des anthères avec le croisement des sous espèces japonica et indica pour le rendement et la tolérance aux stress abiotiques (24).

L'utilisation des marqueurs en sélection a permis d'améliorer la rapidité et l'efficacité des programmes de sélection. L'identification du QTL (Quantitative Trait Loci) saltol, responsable du caractère de tolérance à la salinité en stade plantule dans le chromosome 1 du riz, a fait beaucoup avancer la sélection variétale (20). D'autres QTL ont été ainsi détectés dans cette même région: QNa pour l'absorption des Na<sup>+</sup> (16), QTL pour absorption Na<sup>+</sup>, concentration des K<sup>+</sup> et Na/K<sup>+</sup> (25), SKC1 ou OsHKT8, RNTQ1, SDS1 (29), transport Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> dans la tige (3), qST1 (28). Des QTL ont été aussi découverts au niveau des chromosomes 3, 4, 10 et 12 (19), chromosomes 4, 6 et 9 (16). L'utilisation des marqueurs moléculaires a ainsi révolutionné la sélection variétale notamment du riz sur les stress abiotiques de façon générale.

Pour lever cette contrainte de la salinité, AfricaRice et l'IRRI, en partenariat avec 12 pays d'Afrique, conduisent le projet STRASA (Stress Tolerant Rice for

Africa and South Asia) depuis 2008. Un des objectifs de ce projet est de développer et diffuser des variétés tolérantes au stress abiotique.

L'approche choisie pour mettre à la disposition des producteurs des variétés de riz tolérantes à la salinité est la Sélection Variétale Participative (SPV). Cette approche permet d'améliorer le taux d'adoption des variétés au niveau des producteurs en impliquant ces derniers dans les premières étapes de sélection. En effet, l'objectif principal d'un programme de sélection doit être de faire adopter les variétés homologuées par les producteurs.

Durant la phase I de ce projet (2008-2010) en 2009, les activités de SPV (première année) ont été conduites en Afrique de l'Ouest dans trois pays Sénégal, Mali et Gambie (AfricaRice, 2009). Il s'agissait d'essais de criblage de variétés dans des conditions de stress salinité. L'objectif principal était de permettre aux paysans de choisir, parmi une gamme de nouvelles lignées/variétés mises en condition de stress de salinité, celles perçues comme les mieux adaptées à leurs propres champs et avec des caractéristiques agronomiques appropriées à leurs activités culturelles.

## Méthodologie

### Approche de Sélection Variétale Participative

La sélection variétale participative est une approche d'amélioration variétale développée par AfricaRice qui s'organise autour des lignées avancées en fixité, des variétés diffusées et des variétés locales. La stratégie fondamentale a été d'impliquer activement les producteurs et d'autres acteurs dans la recherche et le développement de riz. Le succès d'un développement de l'agriculture doit commencer et terminer avec les paysans (40). La SVP dure 3 ans, en première année, une pépinière d'observation ou un essai de criblage avec un nombre de variétés compris entre 30 et 100, est installé pour permettre aux producteurs et les différents chercheurs de l'équipe de visiter une à trois fois (en phase végétative, reproduction et maturité) l'essai afin d'apprécier les caractères agronomiques et de productivité des variétés. En années deux et trois, les variétés choisies (une dizaine) seront en tests multi locaux (mother trials) et en essais paysans (entièrement conduit par le paysan avec 3 variétés pour chacun) (45). Cette présente étude concerne le criblage en année 1 de la sélection variétale participative.

### Sites: les essais ont été installés au Mali, en Gambie et au Sénégal

Au Mali, trois essais ont été conduits dans la zone de production rizicole de l'Office du Niger du Cercle Niono située entre les latitudes 13°30 et 15°45 et les longitudes 50°5 et 6°35 dans la région de Ségou durant l'hivernage 2009.

Le Cercle de Niono présente un relief plat dans l'ensemble, avec des sols bruns rouges constitués de dunes arasées et de plaines sablonneuses des sols hydromorphes à gley. Le climat est de type sahélien avec des précipitations en moyenne de 425 mm. Les ressources en eau sont constituées principalement des « falas » (ancien lit du fleuve Niger), (32). Les trois essais sont installés dans les fermes N9, N1 (casier de RETAIL) et la ferme semencière du casier de Kolodougou.

En Gambie, l'essai a été conduit à Kaiaf (Lower River Region), village situé à 170 km de Banjul entre 13°24'00" Nord, 15°37'00" Ouest (1). La pluviométrie moyenne est de 800 mm sur la moitié Ouest du pays et de 700 mm sur à l'Est. La pauvreté du sol, en raison de l'intrusion de sel, l'acidité, la sécheresse et la non-disponibilité de variétés améliorées à haut rendement sont quelques-unes des principales contraintes de la mangrove pour la production de riz en Gambie. Sous climats très contrastés, quand la salinité de l'eau dépasse celle de l'eau de mer; la mangrove est souvent rabougrie et son étendue, réduite aux dépens de zones nues, sursalées (31). Au Sénégal, l'essai a été installé dans la station expérimentale de recherche de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), du Centre de Recherches Agricoles de Saint Louis situé à 16°14'N, 16°14'W dans le village de Ndiol dans la zone du Delta de la vallée du Fleuve Sénégal. Cette partie du Sénégal se caractérise par une saison des pluies de Juillet à Septembre avec une moyenne de 220 mm, un climat chaud et humide avec une humidité relative très élevée et des températures qui oscillent entre 23°C et 35°C. Le sol de type «Hollaldé» est caractérisé par une forte teneur en argile comprise entre 50 à 75% avec une bonne capacité de rétention en eau.

### Matériel végétal

Dans chaque site, le matériel utilisé est constitué de 40 variétés dont 36 à évaluer et 4 témoins composés d'une variété locale choisie au niveau de chaque pays, 2 témoins reconnus pour leur tolérance à la salinité au niveau international et 1 témoin sensible (Tableau 1). Excepté la variété témoin local, toutes les variétés ont été livrées par AfricaRice siège Cotonou avec plus de 60% du matériel venant de l'IRRI.

### Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé était un «augmented design» dans chaque site. Il est composé d'une seule répétition avec 6 blocs au niveau de chaque site. Chaque bloc contenait 10 parcelles élémentaires avec 6 variétés à évaluer et 4 témoins (une variété dans chaque parcelle). Les témoins sont répétés dans chaque bloc sous forme d'un dispositif en blocs de Fischer.

Le dispositif augmenté est recommandé quand le nombre de variétés à tester est élevé et la quantité de semences ne permettant pas de faire une répétition. Les variétés testées sont comparées à des témoins qui possèdent assez de semence pour une répétition (15).

### Conduite culturale

Les plants ont été repiqués dans tous les sites après une pépinière d'une vingtaine de jours. Chaque parcelle élémentaire contenait 5 lignes de 5 mètres chacune et les plants repiqués avec un espacement de 20 cm entre deux lignes et 20 cm entre deux pieds.

Au Mali et au Sénégal, les doses de fertilisation minérale utilisées sont composées de N-P avec respectivement de 120–20 et 128–28, apportées sous forme d'urée (46%N) et de DAP (18% N et 46% P).

### Visite animée

Une visite guidée avec les producteurs permettant de choisir les variétés les plus performantes a été organisée dans chaque site. Au Mali, deux visites animées ont été organisées dans chaque site aux stades de l'épiaison et de la maturité pour apprécier, avec producteurs les performances des différentes variétés.

La première visite avait pour objectif de mettre en contact les paysans des différents sites avec les nouvelles variétés et de se faire une première opinion avant la maturité. Avec la deuxième visite, les variétés les plus performantes répondant aux critères des producteurs ont été choisies. Les participants ont été aussi soumis à un questionnaire d'évaluation. Ainsi 30 personnes ont été invitées à raison de 10 par village. Les responsables du service conseil rural de l'Office du Niger (zone de Niono) ont également participé à cette visite.

En Gambie, la visite animée de l'essai KAIAP a concerné 24 producteurs pour choisir les meilleures variétés et dégager les critères déterminants.

Au Sénégal, la visite commentée a été organisée à Ndiol, cent trente-trois producteurs et productrices représentant les GIE et autres organisations paysannes de Saint Louis à Kassack ont participé à la sélection des variétés tolérantes à la salinité. Les partenaires Africa–Rice station Sahel de Saint Louis, SAED, DR/DR et ANCAR ont été bien représentés.

### Caractérisation de la salinité

#### Mali

Les mesures de pH et CE, effectuées 9 fois à partir du 25<sup>ème</sup> jour après repiquage, sont illustrées dans le tableau 2. La conductivité électrique très faible et la variation du pH un peu élevé montre une tendance des sols à une alcalinisation. En effet, au niveau de l'Office du Niger, la contrainte salinité se manifeste sous forme d'une alcalinisation/sodisation plutôt qu'une salinisation proprement dite, (36).

**Tableau 1**  
Généalogie des variétés.

N°	Variétés	Généalogie
1	IR 4630 (témoin tolérant)	PELITA I-1/POKKALI (ACC 8948)//IR 2061-464-2//IR 1820-52-2
2	FL478 (témoin tolérant)	FL478
3	POKKALI (Témoin tolérant)	POKKALI
4	IR 29 (Témoin sensible)	IR 1561-149-1//IR 1737//IR 833-6-2-1-1
5	IR 76346-B-B-10-1-1-1	IRRI 126//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)
6	IR 67067-2B-8-2	KHAO DAWK MALI 105//IR 53519-26-4-2-1-3//IR 11141-6-1-4
7	IR 31247-3B-8-2-1	IR 54//WELI HANDIRAN//OM 1630-108-2
8	IR 72593-B-3-2-3-5	IR 20//IR 24//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)
9	IR 72593-B-3-2-3-8	IR 20//IR 24//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)
10	IR 72593-B-3-2-2-2-B	IR 20//IR 24//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)
11	IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	IR 31142-14-1-1-3-2*2//IR 31406-333-1
12	IR 73571-3B-11-2	AGAMI M//IR 68003-45-2-2
13	WAS 174-B-1-1	IR 4630-22-2//IR 67418-238-6-2-3-3
14	IR 65192-4B-11-3	IR 9884-54-3-1E-P1 (PSB RC 48)//KUATIK PUTIH
15	WAS 174-B-10	IR 4630-22-2//IR 67418-238-6-2-3-3
16	IR 59418-7B-21-3	IR 31375-3-3-1-1//GETU (ACC 17041)//IR 10198-66-2
17	CSR 89 IR 15	IR 4630-22-2-5-1-3//NONA BOKRA//DAMODAR//IR 9764-45-2-2
18	IR 76393-2B-7-1	IR 71657-5R-B-12 PB//IRRI 126
19	WAS 174-B-1-14	IR 4630-22-2//IR 67418-238-6-2-3-3
20	IR 71991-3R-2-6-1	IR 5//IRRI 126
21	IR 66946-3R-178-1-1	IR 29//POKKALI B
22	IKONG PAO	IKONG PAO
23	ROHYB 6	CCA/RH 2
24	IR 61920-3B-22-2-1 (NSIC RC 106)	IR 32429-47-3-2//WAGWAG
25	ECIA 31-6066 (Sahel 210)	IR 1529-430//IR 759-54-2-2-2
26	IR 72593-B-3-2-1-2-B	IR 20//IR 24//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)
27	IR 66401-2B-6-1-3	IR 10206-29-2-1//IR 29337-36-3
28	WAS 73-B-B-253-2	IR 4630-22-2//IR 31785-58-1-2-3-3
29	IR 71895-3R-60-3-1	IR 55182-3B-14-3-2//IR 65185-3B-8-3-2 (PSB RC 84)
30	IR 72593-B-3-2-3-14	IR 20//IR 24//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)
31	IR 1829-3R-89-1-1	IR 1366-120-3-1//IR 1539-111
32	WAS 191-7-WAB-1-WAS-1	TOG 5681/4*IR 64//IR 64//IR 64
33	IR 61247-3B-8-2-1	BG 367-4//AT 401
34	IR 64419-3B-13-1	TCCP 266-2-49-B-B-3*2//IR 68
35	WAS 73-B-B-231-4	IR 4630-22-2//IR 31785-58-1-2-3-3
36	WAS 201-B-2	WAS 201
37	D 14	D 14
38	BW 293-2 (SAHEL 201)	IR 2071-586//BG 400-1-SLR
39	NSIC RC 106	IR 32429-47-3-2//WAGWAG
40	SAHEL 108 (Témoin local Sénégal)	IR 30 (BPH S)//BABA WEE//IR 36
41	ROK 5 (Témoin local Gambie)	SR 26 B//WELLINGTON SEL
42	RP KN 2 (Témoin local Mali)	JERAK//IR 8

Généalogie - source (BMS 3.0.8, 2015).

**Tableau 2**

Evolution du pH du sol et de la CE de l'eau d'irrigation au Mali / Ferme N9 et N1.

Sites	Jours Après Repiquage	pH	CE (dS/m)
N9	25	8,21	0,527
	38	7,2	0,238
	53	7,35	0,32
	59	7,71	0,406
N1	24	8,05	0,086
	38	6,8	0,073
	70	7,45	0,068
FMS	21	8,22	0,421
	69	8	0,562

Source (AfricaRice, Sénégal, Mali and Gambie, 2009).

**Tableau 3**

Résultats des analyses de sol avant repiquage.

Echantillon	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	Moyenne
Ph	5,93	6,01	5,9	5,4	-	5,64	6,05	5,97	6,03	5,86
CE en dS/m	3,98	4	4,36	17,5	4,93	4,77	6,02	12,5	5,49	7,06

Ce phénomène qui a pris naissance avec les aménagements hydro-agricoles a entraîné une destruction des propriétés physico-chimiques des sols.

#### *Gambie*

La conductivité électrique n'a pas été mesurée à KAIAF. Cette zone de mangrove est caractérisée par une pauvreté du sol en raison de l'intrusion du sel, l'acidité et la sécheresse.

#### *Sénégal*

Le choix de la parcelle a été fait suivant les résultats des analyses de la salinité des échantillons de sol du site (Tableau 3). Le niveau de salinité du sol était assez hétérogène et variait entre 17,5 dS/m et 3,98 dS/m. Finalement, le site a été retenu pour installer l'essai avec une pré-irrigation pour atténuer la salinité jusqu'à 3 dS/m et l'homogénéiser. La salinité a été suivie par parcelle hebdomadairement en mesurant la conductivité électrique (CE) de l'eau d'irrigation. La relation entre la concentration en sel (C) et la conductivité électrique (EC) est approximativement:  $C = 640 EC$  (49). Un appareil de conductimètre électrique a été utilisé pour les mesures de salinité (CE) et de Ph. L'appareil a deux électrodes permettant d'effectuer des mesures de Ph et de CE. A Ndiol, les mesures de salinité se faisaient deux fois par semaine avant drainage et après irrigation. Douze mesures par parcelles ont été effectuées, la moyenne de CE des parcelles avant l'installation de l'essai était de 7,06 dS/m.

#### **Paramètres agronomiques**

Les paramètres agronomiques étudiés sont le rendement (RDT) en Kg/ha; la hauteur (HM) en cm, du sol à la dernière feuille paniculaire au stade maturité et le nombre de talles (TM) par plant à la récolte. Les données ont été managées avec le «Breeding Management System» et les analyses des interactions génotypes et environnements effectuées avec le «Breeding View». Au niveau de chaque site, les moyennes des paramètres des variétés testées ont été comparées aux 5 références (témoins, tolérants, sensibles et local).

Quant aux observations et mesures, elles ont été effectuées conformément au manuel de IRRI SES (Standard Evaluation System for rice) et concernent (23):

- Nombre moyen de talles: TM;
- Hauteur moyenne des plantes à maturité: HM;
- Taux de stérilité : pourcentage de grains vides: Ster;
- Poids de mille grains: PMG;
- Rendement: Rendt;
- Mesures de conductivité électrique: CE;
- Notation effet du sel «scoring».

**Tableau 4**  
Variétés choisies par les producteurs au Mali.

N°	Variété	Rang	Raisons du choix
V1	Was 73-B-B-231-4	1 <sup>ère</sup>	Résistant au sel; bon tallage; bonne épiaison; panicules longues bon rendement ; cycle court.
V17	IR 76346-B-B-10-1-1-1	2 <sup>ème</sup>	Résistant au sel; bon tallage; bonne épiaison; panicules longues ; cycle court.
V14	IR 72593-B-3-2-3-8	3 <sup>ème</sup>	Résistant au sel; bon tallage; bonne épiaison; bon rendement pas de verse ; cette variété n'est pas attaquée par les oiseaux et grain blanc.

Source (AfricaRice, Sénégal, Mali and Gambie, 2009).

**Tableau 5**  
Variétés choisies par les producteurs en Gambie.

Variétés	Nombre de producteurs qui ont choisis la variété
IR 76346-B-B-10-1-1-1	4
IR 65192-4B-11-3	4
IR 61247-3B-8-2-1	3
IR 72593-B-3-2-3-14	3

**Tableau 6**  
Variétés choisies par les producteurs – Site de Ndiol.

Variétés	Nombre de fois sélectionné	Critères de Choix
D14	19	Bonne épiaison - bon tallage - bonne vigueur - panicule chargée - grains lourds bien remplis
IR 72593-B-3-2-1-2-B	16	Bonne épiaison - bon tallage - épis bien fournis - port gros
WAS 73-B-B-231-4	16	Bon tallage - bonne épiaison - taille moyenne - bonne qualité des grains pas de brisures - des grains très fins
IR 59418-7B-21-3	13	Bonne épiaison - bon tallage - peu attaqué par les oiseaux - pas de verse -bonne charge de l'épi

## Résultats

### Visites guidées

#### Mali

Une visite animée dans l'ensemble des sites a permis aux producteurs de choisir les trois meilleures variétés en donnant des raisons pour expliquer leur choix (Tableau 4). Les trois meilleures variétés choisies sont: Was 73-B-B-231-4; IR 76346-B-B-10-1-1-1 et IR 72593-B-3-2-3-8. Les critères qui ont permis aux producteurs de choisir ces variétés sont:

- Le bon tallage;
- La bonne épiaison;
- L'absence de dégâts d'oiseaux;
- Le cycle court;
- Le rendement.

#### Gambie

En Gambie, les producteurs de la zone de KAIAF ont visité l'essai au stade maturité et choisi les variétés qui répondaient à leurs critères (Tableau 5). Les critères de choix des variétés exprimés par les producteurs sont:

- La vigueur;
- La hauteur entre 90 et 120 cm pour éviter la submersion et faciliter la récolte manuelle;
- La charge de la panicule (nombre de grains);
- La précocité.

Les producteurs du Mali et de la Gambie ont un choix variétal commun sur IR 76346-B-B-10-1-1-1.

**Tableau 7**  
Moyennes du nombre moyen de talles (TM) après analyse de la variance.

Genotypes	FMS	Classe	Gambie	Classe	N1	Classe	N9	Classe	Sénégal	Classe	Moyenne	Classe
BW 293-2 (Sahel 201)			12	2	14,7	17	23	1	27	13	19,175	1
CSR-89IR15	12,3	28,5			8	37,5	13	32	38,6	1	17,975	5
D14	12,7	27			12	32	13	32	20,6	33	14,575	25
ECIA 31-6066 (Sahel 210)	15	10	10	4,5	14,5	18	13	32	21,8	28,5	14,86	21
FL 478	12,2	30	6	15	17,5	6	15,1	18	31,5	7	16,46	11,5
IKP	15,4	8	4	28,5	15,8	14	12,8	34	23,4	25	14,28	29
IR 1829-3R-89-1-1	14	16	9	6,5	20,9	1	11	36,5	20,8	32	15,14	20
IR 29	12,8	26	7	11	11,1	34	11	36,5	25,7	17	13,52	36
IR 31247-3B-8-2-1	7,8	39	5	22,5	12,4	28	6	39	25,4	19,5	11,32	40
IR 4630 (Tolérant)	8,6	37	9	6,5	16	12,5	15,7	15	17,1	38	13,28	38
IR 59418-7B-21-3	11,8	31	6	15	16	12,5	15,7	15	19,4	35	13,78	34
IR 61247-3B-8-2-1	14	16	5	22,5	12	32	17,3	6	32	6	16,06	14
IR 61920-3B-22-2-1	13,9	18			12,3	29	12,4	35	28,8	9	16,85	9
IR 64419-3B-13-3	16,3	5	5	22,5					27,9	10	16,4	13
IR 65192-4B-11-3	14	16	8	9	14	21,5	7,3	38	25,1	21	13,68	35
IR 66401-2B-6-1-3	14,6	12	5	22,5	12,5	26,5	13,1	30	26,9	14,5	14,42	27
IR 66946-3R-178-1-1	13	23,5	5	22,5	13,7	23	13,6	29	21,3	30	13,32	37
IR 67076-2B-8-2	13,4	20	6	15	12	32	17,1	8	27,5	12	15,2	19
IR 71895-3R-60-3-1	17,5	2	5	22,5	19,4	2	14,7	23,5	27,7	11	16,86	8
IR 71991-3R-2-6-1	15	10	8	9	12,2	30	16,1	10	21,8	28,5	14,62	24
IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	12,9	25	6	15	12,5	26,5	14	26	25,4	19,5	14,16	30,5
IR 72593-B-3-2-1-2-B	18	1	6	15	14,2	20	17,4	3,5	37,5	2	18,62	2
IR 72593-B-3-2-2-2-B	13,2	21,5	6	15	13,3	25	15,8	13	22,3	27	14,12	32
IR 72593-B-3-2-3-14	16,7	3,5	4	28,5	14	21,5	17,3	6	36,7	3	17,74	6
IR 72593-B-3-2-3-5	13	23,5	10	4,5	17,6	5	14,7	23,5	18,1	36,5	14,68	22
IR 72593-B-3-2-3-8	14,2	14	12	2	15,6	15	15	20,5	16,4	39	14,64	23
IR 73571-3B-11-2	10	34	6	15	15,4	16	14	26	23,9	23	13,86	33
IR 76346-B-B-10-1-11	14,5	13	4	28,5	19,1	3	18,1	2	23,8	24	15,9	16
IR 76393-2B-7-1-13-1	16	7	5	22,5	9,6	36	16	11,5	33	4	15,92	15
NSIC RC 106	16,2	6	5	22,5	7,2	39	15,7	15	26,7	16	14,16	30,5
POKKALI (Tolérant)	9,2	36	8	9	16,2	11	15	20,5	11,1	40	11,9	39
ROHYB 6	13,2	21,5	4	28,5	17,4	7	15	20,5	32,7	5	16,46	11,5
Témoin local	16,7	3,5	12	2	8	37,5	15,5	17	19,5	34	14,34	28
WAS 174-B-1-1	10,1	33			10,5	35	13,9	28	23,3	26	14,45	26
WAS 174-B-1-10	9,9	35			17	8	16,5	9	18,1	36,5	15,375	18
WAS 174-B-1-14	11,7	32			14,3	19	16	11,5	24	22	16,5	10
WAS 191-7-WAB-1-WAS-1	12,3	28,5			16,8	9	17,3	6	26,9	14,5	18,325	4
WAS 201-B-2	15	10			16,4	10	17,4	3,5	25,5	18	18,575	3
WAS 73-B-B-231-4	7,9	38			18,3	4	14	26	30,4	8	17,65	7
WAS 73-B-B-253-2	13,7	19			13,5	24	15	20,5	21,2	31	15,85	17
Moyenne	13.3		6.76		14.2		14.7		25.2			
Probabilité (Génotype x Sites)											<0,001	
Probabilité (Génotype)											0,514	

**Tableau 8**  
Moyennes des hauteurs plants (HM) après analyse de la variance.

Genotypes	FMS	Classe	Gambie	Classe	N1	Classe	N9	Classe	Sénégal	Classe	Moyenne	Classe
BW 293-2 (Sahel 201)			105	2,5	112	14	114	8	61	22	98	6
CSR-89IR15	89	37,5			108	18	73	38	43	40	78	40
D14	93	30,5			113	13	105	26,5	62	20	93	18
ECIA 31-6066 (Sahel 210)	100	20,5	90	5,5	98	31,5	101	31,5	68	14	91	27
FL 478	101	16,5	96	4	102	27	101	31,5	61	23	92	23
IKP	96	27,5	86	9	98	31,5	96	35	58	30	87	33
IR 1829-3R-89-1-1	111	6	70	19,5	118	7	120	4	75	4	99	5
IR 29	108	7	88	8	111	15	123	3	53	36	97	7
IR 31247-3B-8-2-1	90	35	68	23,5	153	1	152	1	81	2	109	2
IR 4630 (Tolérant)	114	4,5	106	1	95	35,5	103	29	50	37	94	17
IR 59418-7B-21-3	93	30,5	72	16,5	85	39	94	36	58	29	80	38
IR 61247-3B-8-2-1	101	16,5	67	26	124	3	108	18	50	38,5	90	30
IR 61920-3B-22-2-1	102	14			114	11,5	102	30	66	16	96	8
IR 64419-3B-13-3	102	14	65	29					73	11	80	39
IR 65192-4B-11-3	91	33	72	16,5	89	38	100	33,5	61	26	83	36
IR 66401-2B-6-1-3	100	20,5	75	15	114	11,5	107	21,5	58	31	91	28
IR 66946-3R-178-1-1	89	37,5	80	11,5	116	9,5	112	11	56	32	91	29
IR 67076-2B-8-2	114	4,5	70	19,5	121	5	119	5	54	35	96	9
IR 71895-3R-60-3-1	106	8	80	11,5	105	23,5	115	7	54	33	92	25
IR 71991-3R-2-6-1	105	9	77	14	110	16	105	26,5	65	17	92	22
IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	117	3	66	27	123	4	139	2	74	10	104	3
IR 72593-B-3-2-1-2-B	102	14	68	23,5	116	9,5	109	16	74	7,5	94	16
IR 72593-B-3-2-2-2-B	100	20,5	70	19,5	103	26	100	33,5	63	18	87	32
IR 72593-B-3-2-3-14	98	26	68	23,5	117	8	113	9,5	74	5,5	94	15
IR 72593-B-3-2-3-5	99	24,5	80	11,5	101	28,5	111	12,5	74	9	93	19
IR 72593-B-3-2-3-8	100	20,5	90	5,5	105	23,5	108	18	60	28	93	21
IR 73571-3B-11-2	104	10,5	80	11,5	106	20,5	105	26,5	68	13	93	20
IR 76346-B-B-10-1-11	103	12	65	29	119	6	116	6	74	5,5	95	11
IR 76393-2B-7-1-13-1	99	24,5	70	19,5	105	23,5	105	26,5	62	21	88	31
NSIC RC 106	85	39	68	23,5	96	34	107	21,5	63	19	84	35
POKKALI (Tolérant)	147	1	89	7	149	2	110	14,5	50	38,5	109	1
ROHYB 6	134	2	65	29	101	28,5	107	21,5	104	1	102	4
Témoin local	95	29	105	2,5	95	35,5	78	37	61	25	87	34
WAS 174-B-1-1	100	20,5			97	33	110	14,5	70	12	94	13
WAS 174-B-1-10	100	20,5			108	18	111	12,5	60	27	95	12
WAS 174-B-1-14	90	35			105	23,5	113	9,5	74	7,5	95	10
WAS 191-7-WAB-1-WAS-1	90	35			108	18	108	18	61	24	92	26
WAS 201-B-2	104	10,5			99	30	107	21,5	67	15	94	14
WAS 73-B-B-231-4	92	32			93	37	106	24	78	3	92	24
WAS 73-B-B-253-2	96	27,5			106	20,5	70	39	54	34	82	37
Moyenne	102		78		109		107		64			
Probabilité (Génotype x Sites)											<0,001	
Probabilité (Génotype)											525	

### Sénégal

La visite animée des producteurs dans le site de Ndiol a permis de sélectionner quatre variétés les mieux appréciées par les producteurs (Tableau 6). Parmi les critères de choix variétal dégagés par les producteurs on note:

- La précocité;
- Le tallage;
- La charge de la panicule en grains;
- La forme du grain.
- La variété WAS 73-B-B-231-4 a été choisie aussi par les producteurs des trois sites du Mali.

### Résultats agronomiques analysés

#### Le nombre de talles moyen (TM)

L'évolution du TM est influencée significativement par l'interaction des génotypes et des sites ( $Pr < 0,001$ ). Le TM des variétés entre les trois sites du Mali ne se distingue pas de façon significative, la plus petite différence significative étant de 9 talles par plant. Au Sénégal, le tallage moyen des variétés est significativement le plus important avec près de 25 talles par plant en moyenne contre 7 talles/plant en Gambie (voir tableau 7).

Au Mali, sur le site N1, 10 variétés testées se sont mieux adaptées en tallage que le meilleur témoin tolérant POKKALI avec un nombre de talles variant entre 21 et 16 par plant. Quant au site N9, 13 variétés ont une expression en tallage plus important que POKKALI (meilleur témoin dans ce site), le nombre de talles par plant de ces variétés varie entre 23 et 16. Dans le dernier site du Mali (FMS), trois variétés ont développé des performances meilleures que la variété locale (meilleur témoin) avec un tallage compris entre 18 et 17.

Au Sénégal, la variété IR 29, supposée sensible à l'effet du sel, a développé le meilleur tallage parmi les témoins. Sur les 36 variétés, 16 se sont distinguées par leur tallage avec des performances meilleures que les témoins. Le nombre de talles de cette classe de variétés varient entre 39 et 27 par plant.

En zone de mangrove (Gambie), deux variétés seulement se trouvent avec la variété locale (témoin) dans la meilleure classe avec 12 talles par plant. Le témoin tolérant à la salinité IR4630 est à 9 talles par plant.

#### La Hauteur Moyenne (HM)

L'analyse de l'interaction des variétés (génotypes) et sites (environnements) a révélé un effet hautement significatif sur l'évolution de la hauteur des plants ( $Pr < 0,001$ ). Les hauteurs moyennes des variétés dans les trois sites du Mali sont significativement les plus grandes avec 102, 109 et 107 cm respectivement au niveau de FMS, N1 et N9 que dans les deux autres sites. Au Sénégal, la croissance des plantes semble plus affectée avec une moyenne de 64 cm contre 78 cm en Gambie (Tableau 8).

### Mali

La croissance des plantes dans les trois sites du Mali ne semble pas très affectée. Dans le site N1, la variété IR 31247-3B-8-2-1 occupe à elle seule la première classe avec 153 cm de hauteur suivi du meilleur témoin POKKALI. Au niveau de FMS, les variétés évaluées ne sont pas plus performantes en hauteur que le meilleur témoin (POKKALI). Les variétés IR 31247-3B-8-2-1 et IR 72046-B-R-1-1-2-1-B ont les plus grandes hauteurs avec 152 et 139 cm suivies de IR 29 (témoin).

### Sénégal

Onze variétés ont développé une hauteur variant entre 101 et 71 cm, plus grande que celle du meilleur témoin (variété locale). Les deux témoins supposés tolérants aux conditions de salinité ont une hauteur de 50 cm.

### Gambie

La hauteur des variétés varie entre un maximum de 106 (témoin IR4630) et un minimum de 65 cm avec une moyenne de 78 cm. La Sahel 201 a la plus grande hauteur des variétés testées.

#### Le rendement (kg/ha)

L'interaction génotype x environnement a un effet significatif sur la variation du rendement dans les cinq sites ( $Pr < 0,001$ ). Les trois sites du Mali ont les rendements les plus élevés avec des moyennes de 4152 ; 3890 et 3970 Kg/ha respectivement à FMS, N1 et N9. Au Sénégal, le rendement moyen est de 2627 kg/ha avec un maximum de 5625 kg/ha. En Gambie, les rendements sont plus faibles avec une moyenne de 988 kg/h et un maximum de 2105 kg/ha (Tableau 9).

### Mali

Dans le premier site (FMS), les rendements les plus élevés sont obtenus avec six variétés: D14; ECIA 31-6066 (Sahel 210); IR 64419-3B-13-3; IR 66401-2B-6-1-3; IR 61247-3B-8-2-1 et IR 72593-B-3-2-3-14, variant entre 6208 et 4933 kg/ha. La variété locale a le meilleur rendement des témoins avec 4901 kg/ha. Quant au site N9, la variété WAS 73-B-B-231-4 s'adapte mieux avec 6287 kg/ha, suivi du meilleur témoin (variété locale). Dans le troisième site N1; 17 variétés testées ont des rendements variant de 6343 à 5552 kg/ha et le meilleur témoin est encore la variété locale avec 3790 kg/ha.

Le classement des variétés sur l'ensemble des sites du Mali permet de ressortir trois variétés IR 61920-3B-22-2-1; WAS 73-B-B-231-4 et D14 avec des rendements respectifs de 6343; 6287 et 6208 kg/ha. Le rendement du témoin (variété locale) est à 5570 kg/ha.

**Tableau 9**  
Moyennes des rendement (kg/ha) par variété.

Genotypes	FMS	Classe	Gambie	Classe	N1	Classe	N9	Classe	Sénégal	Classe	Moyenne	Classe
WAS 174-B-1-10	2311	39			2988	32	3541	27	1469	29	2577	33
FL 478	2549	38	1251	8	3015	31	2556	36	3312	10	2537	34
WAS 174-B-1-1	2555	37			2753	35	3632	25	2844	15	2946	26
IR 4630 (Tolérant)	2614	36	2105	1	2686	37	2523	37			2482	36
ROHYB 6	2732	35	1130	13	5552	2	5286	5	2969	13,5	3534	12
CSR-89IR15	3050	34			2824	34	3840	22			3238	19
WAS 174-B-1-14	3077	33			3050	30	3500	28	1562	28	2798	30
IR 29	3251	32	870	19	2732	36	2326	38	5625	1	2961	25
POKKALI (Tolérant)	3351	31	1795	4	3368	26	3884	20	4000	5	3280	18
IR 59418-7B-21-3	3381	30	912	17	4262	13	4347	13	5219	2	3624	9
IR 73571-3B-11-2	3425	29	340	28	3645	21	2756	35	1375	33	2308	38
IR 72593-B-3-2-2-2-B	3818	28	638	20	2977	33	3831	23	1375	33	2528	35
IR 65192-4B-11-3	3832	27	1269	6	3808	17	5111	7	2688	17	3341	16
WAS 191-7-WAB-1-WAS-1	3917	26			3639	22	4226	14	2563	18	3586	10
IR 61920-3B-22-2-1	4262	25			6344	1	5379	3	3906	8	4973	1
IR 31247-3B-8-2-1	4321	24	406	26	3146	28	1608	39	1438	30	2183	40
IR 66946-3R-178-1-1	4380	23	1278	5	4313	12	5052	9	3125	12	3630	8
IR 76346-B-B-10-1-11	4392	22	1969	3	4454	10	3286	29	1313	34	3083	24
IKP	4423	21	298	29			2884	32	1719	27	2331	37
WAS 73-B-B-231-4	4429	20			3853	16	6287	1	3750	9	4580	2
IR 71991-3R-2-6-1	4433	19	1221	10	3566	24	5372	4	2250	20	3368	15
IR 72593-B-3-2-3-5	4460	18	1097	14	3970	15	3121	31	2063	23	2942	27
IR 67076-2B-8-2	4476	17	1174	11	3599	23	2882	33	2063	23	2839	29
IR 72593-B-3-2-3-8	4506	16	1223	9	3565	25	3914	19	2781	16	3198	21
WAS 73-B-B-253-2	4508	15			3213	27	3188	30	1875	25	3196	22
IR 1829-3R-89-1-1	4547	14	899	18	5023	5	4826	11	3938	7	3847	6
IR 72593-B-3-2-1-2-B	4607	13	580	23	3731	20	3624	26	5188	3	3546	11
IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	4688	12	629	21	3145	29	2771	34	2219	21	2690	32
IR 76393-2B-7-1-13-1	4701	11	1252	7	4728	9	3804	24	3938	7	3684	7
IR 71895-3R-60-3-1	4760	10	430	25	4204	14	3849	21	1250	35	2899	28
NSIC RC 106	4797	9	292	30	2445	38	3942	18	2500	19	2795	31
WAS 201-B-2	4858	8			4805	8	5256	6	3250	11	4542	4
Témoin local	4901	7	2005	2	3790	18	5570	2	844	38	3422	13
IR 72593-B-3-2-3-14	4934	6	970	15	5280	4	3982	17	5063	4	4046	5
IR 61247-3B-8-2-1	4998	5	594	22	5357	3	4624	12	969	37	3308	17
IR 66401-2B-6-1-3	5039	4	1134	12	4395	11	4947	10	1406	31	3384	14
IR 64419-3B-13-3	5166	3	398	27					1125	36	2230	39
ECIA 31-6066 (Sahel 210)	5284	2	920	16	3783	19	4219	15	1813	26	3204	20
D14	6208	1			4966	6	4060	16	2969	14	4551	3
BW 293-2 (Sahel 201)			558	24	4854	7	5062	8	2063	23	3134	23
Moyenne	4152		988		3890		3971		2627			
Probabilité (Genotype x Sites)												<0.001
Probabilité (Genotype)												0.0077

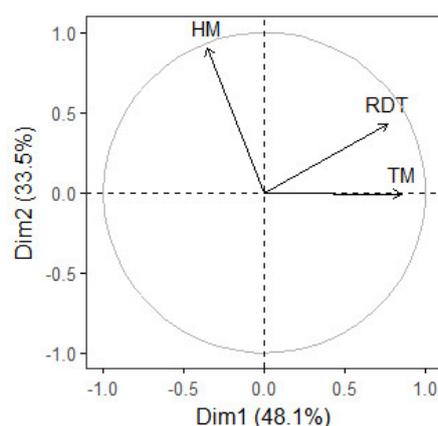
**Tableau 10**  
Pedigree des variétés choisies par les producteurs.

Parents	Variétés	Pays
IR 20/IR 24//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)	IR 72593-B-3-2-2-2-B	Sénégal
IR 20/IR 24//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)	IR 72593-B-3-2-3-14	Gambie
IR 20/IR 24//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)	IR 72593-B-3-2-3-8	Mali
IRRI 126/IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)	IR 76346-B-B-10-1-1-1	Mali - Gambie
IR 9884-54-3-1E-P1 (PSB RC 48)/KUATIK PUTIH	IR 65192-4B-11-3	Gambie
IR 31375-3-3-1-1/GETU (ACC 17041)//IR 10198-66-2	IR 59418-7B-21-3	Sénégal
IR 4630-22-2/IR 31785-58-1-2-3-3	WAS 73-B-B-231-4	Sénégal - Mali
BG 367-4/AT 401	IR 61247-3B-8-2-1	Gambie
D 14	D 14	Sénégal

**Tableau 11**  
Variétés sélectionnées pour les essais multi locaux (avancés).

Sénégal	Mali	Gambie
IR 72593-B-3-2-3-14	IR 61920-3B-22-2-1	IR 76346-B-B-10-1-11
*IR 72593-B-3-2-1-2-B	WAS 73-B-B-231-4	IR 65192-4B-11-3
IR 59418-7B-21-3	D14	IR 66946-3R-178-1-1
IR 76393-2B-7-1-13-1	ROHYB 6	FL 478
IR 1829-3R-89-1-1	IR 71991-3R-2-6-1	IR 76393-2B-7-1-13-1
IR 61920-3B-22-2-1	IR 61247-3B-8-2-1	IR 71991-3R-2-6-1
WAS 73-B-B-231-4	IR 72593-B-3-2-3-14	IR 72593-B-3-2-3-8
WAS 201-B-2	WAS 201-B-2	IR 67076-2B-8-2
FL 478	IR 76346-B-B-10-1-1-1	IR 61247-3B-8-2-1
D14	IR 72593-B-3-2-3-8	IR 72593-B-3-2-3-14

\* Variété choisie par les producteurs



**Figure 1:** Analyse des composantes principales de rendement - Corrélation entre les différents paramètres étudiés.

Les sept variétés complétant le top des 10 meilleures variétés suivant le rendement sont: ROHYB 6; IR 71991-3R-2-6-1; ECIA 31-6066 (Sahel 210); IR 61247-3B-8-2-1; IR 72593-B-3-2-3-14; WAS 201-B-2 et IR 64419-3B-13-3.

#### Sénégal

Trois variétés testées: IR 59418-7B-21-3; IR 72593-B-3-2-1-2-B et IR 72593-B-3-2-3-14 ont des rendements plus élevés que le témoin tolérant POKKALI (4000 kg/ha). Les dix variétés testées qui s'adaptent mieux dans ce site d'après les moyennes de rendements du GXE sont : IR 59418-7B-21-3; IR 72593-B-3-2-1-2-B; IR 72593-B-3-2-3-14; IR 1829-3R-89-1-1; IR 76393-2B-7-1-13-1; IR 61920-3B-22-2-1; WAS 73-B-B-231-4; FL 478 et WAS 201-B-2.

#### Gambie

Les variétés testées ont des rendements plus faibles que les deux meilleurs témoins (IR 4630 et la variété locale avec 2105 et 2005 kg/ha respectivement). Les dix meilleures variétés testées : IR 76346-B-B-10-1-11; IR 66946-3R-178-1-1; IR 65192-4B-11-3; IR 76393-2B-7-1-13-1; FL 478; IR 72593-B-3-2-3-8; IR 71991-3R-2-6-1; IR 67076-2B-8-2; IR 66401-2B-6-1-3 et ROHYB 6 ont des rendements évoluant entre 1969 et 1130 kg/ha.

## Discussions

### Choix des producteurs

Neuf variétés ont été choisies dans les trois pays. L'analyse de leur généalogie (Tableau 10) permet de constater que:

- trois variétés sont sœurs: IR 72593-B-3-2-2-2-B; IR 72593-B-3-2-3-14 et IR 72593-B-3-2-3-8;
- quatre variétés ont les mêmes donneurs du caractère de tolérance à la salinité PSB RC 86: les 3 variétés sœurs et IR 76346-B-B-10-1-1-1
- la variété IR 65192-4B-11-3 (Gambie) a un parent PSB RC 48.

En fait, les variétés donneurs PSB RC 86 et PSB RC 48 font partie des premières développées en IRRRI pedigree modifié (bulk à partir de F2 jusqu'à F4 ou F5, ensuite sélection par panicule comme pedigree) et «shuttle breeding» ou sélection par navette.

La variété IR 59418-7B-21-3 a aussi un parent tolérant à la salinité: GETU qui fait aussi partie des premières variétés de l'IRRI développées par la sélection conventionnelle (46).

La variété WAS 73-B-B-231-4 (Mali et Sénégal) a comme parent récurrent IR 4630 qui est un témoin international tolérant à la salinité.

Quant à la variété IR 61247-3B-8-2-1 (Gambie), son parent donneur AT 401 est un descendant de POKKALI qui fait partie des premières variétés traditionnelles tolérantes à la salinité découverte en Inde (pedigree AT 401: AT 94-1/POKKALI). Ce choix des producteurs traduit donc une expression génétique issue d'un schéma de sélection variétale très riche.

### Paramètres agronomiques

L'effet significatif de l'interaction génotype et l'environnement sur la variation des paramètres étudiés traduisent la différence des types de salinité différents entre les pays. Au Mali, la salinité est sous forme d'une alcalinisation caractérisée par une faible teneur en sels solubles, un pourcentage Na<sup>+</sup> échangeables ESP élevé  $\geq 15$  et dégradation de la structure des sols. Au Sénégal, la salinité est de type salin. Les sols salins sont dominés par les cations de sodium avec une conductivité électrique de plus de 4 dS/m, les anions dominants sont généralement du chlore et du sulfate solubles. Les valeurs du Ph et SAR sont beaucoup plus faibles que dans les sols sodiques (11). En Gambie, les mangroves sont classées dans le type de salinité salin mais se distinguent dans la gestion de la lame d'eau. La non-maîtrise de cette lame d'eau (système pluvial – défaut de drainage) entraîne des remontées salines plus importantes et fatales sur les jeunes plantules. La réaction des variétés riz à la salinité durant la phase de tallage est similaire à celle généralement développée par certaines variétés de riz soumises à un déficit hydrique au stade végétatif. L'effet défavorable du déficit hydrique peut être compensé chez les variétés à stade végétatif long par l'apparition de nouvelles talles après la période de sécheresse, mais lorsque celle-ci devient trop longue et sévère et que certains pieds sont flétris, la compensation n'est plus possible (48).

L'évolution du nombre de talles/plant n'est pas significative entre les variétés ( $Pr=0,514$ ). Le riz est une plante peu sensible à la salinité au tallage et très sensible en maturité (25).

La hauteur aussi a une variation entre les variétés non significative ( $Pr=0,525$ ). La croissance du riz en stade plantule est ralentie en condition de salinité (2). Cependant au niveau du rendement, les variétés se distinguent significativement ( $Pr=0,0077$ ). Le riz est très sensible à la salinité durant la phase de reproduction: diminution du nombre de talles fertiles, des grains remplis (5). Les effets de la salinité sont plus graves au Sénégal et en Gambie. En Gambie, avec la mangrove la gestion de la parcelle devient plus difficile à cause du manque de drainage. L'eau stagne parfois pendant longtemps et n'est renouvelée que pendant la pluie, ce qui entraîne des niveaux de salinité très élevés.

Dans cette zone, le niveau de mortalité des plants est plus important (10 variétés perdues) et les rendements sont les plus faibles. Au Sénégal, les pics de salinité de 7 à 12 dS/m ont entraîné des pertes de rendement considérables. La variété locale comme témoin utilisée est la Sahel 108 qui a une performance en milieu paysan dans des conditions de non stress salinité de 7,5 tonnes / ha n'a donné que 843,75 kg/ha. Ce qui traduit l'incidence de salinité de -87% pour une variété sensible.

Au Mali, le niveau faible de la CE et le pH, pas très basique, a permis aux plantes de mieux s'exprimer en rendement. En moyenne au niveau des trois sites, 28 variétés ont donné des meilleurs que le témoin local.

### Combinaison du choix des producteurs et des résultats statistiques

Parmi les critères de choix dégagés par les producteurs, trois seulement sont analysés statistiquement : le rendement, le tallage et la hauteur. L'analyse des composantes principales de rendement permet de montrer la bonne corrélation entre le tallage TM et le rendement RDT (Figure 1). Le critère hauteur a été choisi en Gambie et s'explique par le mode de récolte. Dans ces zones de mangrove, la récolte s'effectue manuellement et les plants de grande taille sont plus faciles à récolter. Ce critère est très déterminant pour faire adopter une variété dans ces zones.

La première variété WAS 73-B-B-231-4 choisie par les producteurs du Mali, se distingue des deux autres par son rendement qui, dans les trois sites, a une moyenne de 6287 kg/ha (supérieur au meilleur témoin). Au niveau du tallage, les variétés IR 76346-B-B-10-1-1-1 et IR 72593-B-3-2-3-8, choisies par les producteurs, ont un nombre de talles par plant moyen de 17 et 14 respectivement. Ce tallage est plus important que les deux témoins tolérants. Au Sénégal, les variétés IR 72593-B-3-2-1-2-B et IR 59418-7B-21-3, choisies par les producteurs ont des rendements respectifs de 5218 et 5187 kg/ha, rendements supérieurs aux deux témoins tolérants. Quant à la variété WAS 73-B-B-231-4, elle se distingue aussi de ses grains longs et fins. Les Sénégalais préfèrent les grains de riz longs et fins. La variété IR 72593-B-3-2-2-2-B choisie par les producteurs, s'exprime aussi en tallage comme le témoin tolérant IR 4630.

En Gambie, les deux variétés choisies par les producteurs ont donné de bonnes performances: IR 76346-B-B-10-1-1-1 (meilleure variété testée) et IR 65192-4B-11-3 (3<sup>ème</sup> position) dans le classement des moyennes de rendement après GXE. La combinaison du choix des producteurs et des moyennes des paramètres après les analyses combinées de variances permet d'intégrer les critères des producteurs qui ne sont pas souvent pris en compte dans le processus de sélection. En dehors des composantes du rendement, les producteurs, en fonction des pratiques culturelles, des modes alimentaires ou du marché, cherchent d'autres caractères sur le riz liés aux attaques d'oiseaux, la qualité du grain, la taille, la réaction du plant à une pression des mauvaises herbes (capacité du plant à se développer vite). Faisant suite au processus de la sélection variétale participative, les essais multi locaux (45) conduits en année 2 vont être composés 10 variétés sélectionnées par pays (Tableau 11):

Sénégal: 9 variétés suivant les analyses de paramètres agronomiques contenant déjà 3 variétés choisies par les producteurs et la variété D14; Mali: 8 variétés dont une déjà choisie par les producteurs et 2 ajoutées : IR 76346-B-B-10-1-1-1 et IR 72593-B-3-2-3-8;

Gambie: 2 variétés choisies par les producteurs sont déjà dans la liste des 8 meilleures performances agronomiques et 2 autres complètent la dizaine: IR 61247-3B-8-2-1 et IR 72593-B-3-2-3-14.

### Conclusion

L'implication des producteurs dans le schéma de sélection de sélection revêt une importance capitale. Elle permet d'avoir les critères majeurs d'appréciation des variétés au niveau producteurs et améliore le taux d'adoption des variétés homologuées. Cette implication des producteurs permet, dès ce stade de la sélection, de prendre en compte leur choix et de diffuser les performances des variétés.

Dans le cadre des activités du groupe d'actions des sélectionneurs de riz en Afrique, le nombre de variétés testées en première année de la SVP est une trentaine et, si la quantité de semence n'est pas un facteur limitant, le dispositif expérimental utilisé est généralement un alpha lattice avec 3 répétitions (15). Les autres essais qui suivent pendant les deux autres années sont essentiellement conduits en milieu paysan, ce qui va permettre aux producteurs de confirmer les performances des variétés dans leur propre champ et de juger le niveau d'adoption. L'objectif de tout programme de sélection est de mettre à la disposition des producteurs des variétés plus productives que les dernières vulgarisées avec un taux d'adoption meilleur. Cependant, la sélection variétale participative, telle qu'utilisée pour intégrer le choix du producteur, connaît quelques limites. En effet, dans un dispositif statistique, le producteur effectue son choix sans tenir compte des répétitions ou des blocs. Dans certains cas, le choix est effectué dans une seule répétition. Au lieu donc d'un choix, un barème de notation simple de chaque parcelle permettrait de faire des analyses statistiquement et ainsi de mieux les intégrer les avis des producteurs. En année 2, les 10 variétés choisies dans chaque pays seront conduites en essais multi locaux et en essais paysans. Les premiers essais doivent être au nombre de 4 dont un site en station pour faire la caractérisation DHS (Distinction Homogénéité et Stabilité) et les 3 autres pour les VATE (Valeur Agronomique et Environnement).

L'homologation des variétés est du ressort du Comité National Semences Plants qui, en son sein, doit disposer d'une unité chargée d'effectuer les tests de caractérisation DHS et VATE.

La variété est une œuvre scientifique de plusieurs années de recherches, elle doit être ainsi être bien identifiée pour une bonne protection.

## Références bibliographiques

1. AfricaRice, 2010, *Rapport annuel 2009, Cotonou Bénin*
2. Amirjani M.R., 2010, Effect of NaCl on Some Physiological Parameters of Rice. *EJBS*, **3**, 1, 6-16.
3. Ammar M. 2004, *Molecular mapping of salt tolerance in rice. New Delhi, India*. Ph.D. Thesis, Indian Agricultural Research Institute.
4. Amtmann A. & Leigh R. 2010, *Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation*. In: A. Pareek, S. Sopory, H. Bohnert, & Govindjee, *Ion homeostasis* (pp. 245–262)
5. Asch F., Dingkuhn N. & Dorffling K., 2000, Salinity increases CO<sub>2</sub> assimilation but reduces growth in field-grown, irrigated rice. *Plant Soil*, **218**, 1-10.
6. Assemien N.K., 1984, *Réponse physiologique du riz (Oryza sativa L.) au déficit hydrique. Etude comparée de types culturaux (variété pluviale, variété aquatique)*. Thèse de doctorat ingénieur à Ecole Nationale Supérieure Agronomique.
7. Blumwald E., Grover A. & Good A., 2004, *Breeding for abiotic stress resistance: challenges and opportunities «New directions for a diverse planet»*. 4<sup>th</sup> International Crop Science Congress
8. BMS 3.0.8, 2015, *Manage list*.www.integratedbreedingsystem.net téléchargé 17/03/2015
9. Bot A.J., Nachtergaele F.O. & Young A., 2000, Land resource potential and constraints at regional and country levels. *World Soil Resour. Reports*, **90**. FAO, 113.
10. Bouharmont J., 1991, *Utilisation de la variation somaclonale et de la sélection in vitro à l'amélioration du riz*. In: *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides* (pp. 1-8.). Paris: AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext.
11. Chinnusamy V., Jagendorf A., Zhu J.K., 2005, Understanding and improving salt tolerance in Plants. *Crop Sci.*, **45**, 2, 437(12) (ISSN: 0011-183X)
12. Diagne A., Eyram A.A., Futakuchi K., & Wopereis M.C., 2013, *Estimation of Cultivated Area, Number of Farming Households and Yield for Major Rice-growing Environments in Africa*. In: Wopereis M.C., D. E. Johnson N., Ahmadi E. Tollens, & Jalloh A., *Realizing Africa's Rice Promise* pp. 46-68. CABI, AfricaRice.
13. FAO SOIL PORTAIL. <http://www.fao.org/>: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affected-soils/en/> accédé 06/08/2015
14. FAO, MAFA, SPAAA, 2013, *Analyse des incitations et pénalisation pour le riz au Mali*. <http://www.fao.org/mafap/accueil-du-spaaa/fr/> téléchargé le 03/02/2015
15. Federer W.T., & Raghavarao D., 1975, On augmented Designs. *Biometrics*, **31**, 29-35.
16. Flowers T., Koyama M., Flowers S., Sudhakar C., Singh K. & Yeo A., 2000, QTL: their place in engineering tolerance of rice to salinity, *J. Exp. Bot., Col.*, **51**, 342.
17. Flowers T., Troke P., & Yeo A., 1977, The mechanisms of salt tolerance in halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **28**, 89-121.
18. Ghassemi F., Jakeman A., & Nix H., 1995, *Salinization of Land and Water Resources*. Canberra, Australia. Univ. New South Wales Press, Ltd.
19. Gregorio G.B., Senadhira D., & Mendoza R.D., 1997, *Screening for salinity tolerance*. IRRI Discussion Paper Series N° 22.
20. Gregorio G., Senadhira D., Mendoza R., Manigbas N., Roxas J., & Guerta C., 2002, *Progress in breeding for salinity tolerance and other abiotic associated stresses in rice*. *Field Crops Res.*
21. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/> (accédé 25/12/2015)
22. IPTRID, 2006. *Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation*. [https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Salinisation\\_irrigation.pdf](https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Salinisation_irrigation.pdf) téléchargé le 31/01/2014
23. IRRI, 1996, *Standard Evaluation System for Rice*. IRRI.
- 23'. IRRI, 2015 Récupéré sur [http://www.knowledgebank.irri.org/ricebreedingcourse/Breeding\\_for\\_salt\\_tolerance.htm](http://www.knowledgebank.irri.org/ricebreedingcourse/Breeding_for_salt_tolerance.htm). (accédé ce 25/12/2015) ».
24. KAFACI, 2012, <http://www.kafaci.org/projects/project.asp> téléchargé le 30/07/2015
25. Koyama M., Levesley A., Koebner R., Flowers T., & Yeo A., 2001, Quantitative trait loci for component physiological traits determining salt tolerance in rice, *Plant Physiol.* **125**, 406-422.
26. Laffitte H.R., Yongsheng G., Yan S., & Li Z.K., 2007, Whole plant responses, key processes, and adaptation to drought stress: the case of rice, *J. Exp. Bot.*, **58**, 2, 169-75.
27. Le Quang H. 2004, *Analyse de la tolérance du riz à la salinité par l'approche SSH-microarrays*. Rennes: ENSAR, XV-175 p: Thèse de doctorat: Biologie et agronomie.
28. Lee S., Ahn J., Cha Y., Yun D., Lee M., Ko J. & Eun M., 2006, Mapping of Quantitative Trait Loci for salt tolerance at the seedling stage in rice. *Mol. Cell.*, **21**, 2, 192-196
29. Lin H., Zhu M., Yano M., Gao J., Liang Z., Su W. & Chao D., 2004, QTLs for Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> uptake of the shoots and roots controlling rice salt tolerance, *Theor. Appl. Genet.* **108**, 253-260.
30. MAER, 2014, *Programme National Autosuffisance en Riz. Rapport, Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural du Sénégal*.
31. Marius C., 1985, *Mangroves du Sénégal et de la Gambie - Ecologie Pedologie Géochimique Mise en valeur et aménagement*. ORSTOM.
32. Mérieau C., 2001, *Etude des conditions d'intensification des productions bovines de la zone de Niono*, "Office du Niger", Mali. Mémoire d'ingénieur.
33. Munns R., 2005, Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.*, **167**, 3, 645-63.
34. Munns R., & Termaat A. 1986. Whole-plant responses to salinity, *Aus. J. Plant Physiol.*, **13**, 1, 143-160.
35. Munns R., & Tester M., 2008, Mechanism of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, **59**, 651-81.

36. Ndiaye M. & Guindo D. 1998. *Evolution des sols irrigués de la vallée Niger (Mali) Sodisation et alcalinisation sous riziculture*. IER, Mali.
37. Patricio Mendez del Villar, Jean-Martin Bauer, Aliou Maiga & Laouali Ibrahim, 2011, *Crise rizicole, évolution des marchés et sécurité alimentaire en Afrique Ouest. Agence Française de Développement*, <http://www.inter-reseaux.org/ressources/article/etude-crise-rizicole-evolution-des?lang=fr> accédé 02/02/2015.
38. Rana M., & Mark T., 2008, Mechanisms of Salinity Tolerance, *Annu. Rev. Plant Biol.*, **59**, 651-81.
39. Rana Munns & Mark Tester, 2008, Mechanisms of salinity tolerance, *Annu. Rev. Plant Biol.*, **59**, 651-81
40. Rhoades R.E. & Booth R.H., 1982, Farmer-back-to-farmer: a model for generating acceptable agricultural technology. *Agric. Administration*, **11**, 127-137
41. Sairam R., & Tyagi A., 2004, Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci.*, **86**, 407-421.
42. Seck P.A., Touré A.A., Coulibaly J.Y., Diagne A. & Wopereis M.C., 2013, *Africa's Rice Economy Before and After Rice Crisis*. In: M.C. Wopereis, D.E. Johnson, N.T. Ahmadi & A.E. Jalloh, *Realizing Africa's Rice Promise* (pp. 24 - 34). AfricaRice Cotonou Bénin: CAB International 2013.
43. Senadhiraa D., Zapata-Arias F., Gregorio G., Alejar M., Cruz H., Padolina T. & Galvez A., 2002, Development of the first salt-tolerant rice cultivar through indica/indica anther culture. *Field Crop Res.*, **76**, 89-222
44. Shabala S., & Cui T., 2007, Potassium transport and plant salt tolerance, *Physiol. Plant*, **133**, 4, 651-69.
45. Sié M., Dogbé S. & Diatta M., 2009, *Sélection variétale participative du riz - Manuel du technicien*. AfricaRice.
46. Singh A.K., Ansari M.W., Pareekh A. & Sneh L.S.P., 2008, Raising salinity tolerant rice: recent progress and future perspectives. *Physiol. Mol. Biol. Plant.*, **14**, 1&2.
47. Singh R. & PBGB I., 2015, *Breeding salt tolerant*. Retrieved from R.K. Singh: [www.irri.org](http://www.irri.org) accédé 02/07/2015
48. Stern W.G. & Voight L., 1959, Effect of salt concentration on growth of red mangrove in culture. *Bot. Gaz.*, **121**, 36-39.

O. Ndaw Faye, Sénégalais, PhD, Chercheur, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles – Centre de Saint Louis, Sénégal.

T. Gueye, Sénégalais, PhD, Enseignant- Chercheur, Université de Thiès, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles – Centre de Saint Louis, Sénégal.

A. Dieng, Sénégalais, PhD, Directeur, Université de Thiès, Ecole Nationale Supérieur d'Agriculture, École Doctorale Développement Durable et Société, Thiès, Sénégal.

## Paramètres de croissance et d'exploitation de *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lecepede, 1803) (Siluriformes, Bagridae) dans une lagune tropicale: lagune Ebrié (Secteur I: lagune Potou, Côte d'Ivoire)

A.T. Bédia<sup>1</sup>, R. N'doua Etilé<sup>1\*</sup>, G.I. Goore<sup>1</sup>, P. Essetchi Kouamelan<sup>1</sup> & V. N'douba<sup>1</sup>

**Keywords:** *Chrysichthys nigrodigitatus*- Exploitation Parameters- Ebrié lagoon- Ivory Coast

### Résumé

Les paramètres de croissance et d'exploitation de *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lecepede, 1803) ont été étudiés pour la première fois dans la lagune Ebrié, secteur Aghien-Potou. Un total de 1038 individus de tailles comprises entre 80 mm et 410 mm (moyenne: 204,7 mm) ont été examinés durant cette étude. Les paramètres de croissance tels que la longueur asymptotique ( $L_{\infty}$ ), le coefficient de croissance ( $K$ ) et l'indice de performance de croissance ( $\Phi'$ ) de *C. nigrodigitatus* sont respectivement de 53 cm, 0,33 an<sup>-1</sup> et 2,968. L'âge théorique de *C. nigrodigitatus* à la taille nulle ( $t_0$ ) est estimé à -0,69 an tandis que l'âge maximum (ou longévité,  $t_{max}$ ) est estimé à 9,09 an. Les valeurs des coefficients de mortalité totale ( $Z$ ), naturelle ( $M$ ) et par pêche ( $F$ ) ainsi que le taux d'exploitation ( $E$ ) de *C. nigrodigitatus* sont respectivement de 1,79 an<sup>-1</sup>; 0,73 an<sup>-1</sup>; 1,73 an<sup>-1</sup> et 0,59. Cette étude montre ainsi qu'au niveau du secteur Potou de la lagune Ebrié, *C. nigrodigitatus* subit une mortalité par pêche (1,73 an<sup>-1</sup>) largement supérieure à la mortalité naturelle (0,73 an<sup>-1</sup>). En outre, *C. nigrodigitatus* se trouve en état de surexploitation avec un taux d'exploitation ( $E= 0,59$ ) supérieur au taux d'exploitation maximale estimé ( $E_{max} = 0,414$ ).

### Summary

#### Growth and Exploitation Parameters of *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lecepede, 1803) (Siluriformes, Bagridae) in a Tropical Lagoon: Ebrié lagoon (Potou Lagoon Sector, Ivory Coast)

The growth and exploitation parameters of *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lecepede, 1803) have been studied for the first time in the lagoon Ebrié (sector Aghien-Potou). A total of 1038 individuals with size ranging from 80 to 410 mm (Average: 204.7 mm) have been examined during this survey. Growth parameters of *C. nigrodigitatus* as the asymptotic length ( $L_{\infty}$ ), the growth rate ( $K$ ) and the growth performance index ( $\Phi'$ ) were respectively 53 cm, 0.33 year<sup>-1</sup> and 2.968. The theoretical age of *C. nigrodigitatus* ( $t_0$ ) at length zero was estimated to -0.69 while the maximum age (or longevity,  $t_{max}$ ) was estimated to 9.09 year. The values of the total mortality coefficients ( $Z$ ), natural mortality ( $M$ ) and fishing mortality rate ( $F$ ) as well as the exploitation rate ( $E$ ) of *C. nigrodigitatus* were respectively 1.79 year<sup>-1</sup>, 0.73 year<sup>-1</sup>, 1.73 year<sup>-1</sup>, and 0.59. This study shows that in the sector Potou of the Ebrié lagoon, *C. nigrodigitatus* is subjected to a fishing mortality (1.73 year<sup>-1</sup>) far superior to the natural mortality (0.73 year<sup>-1</sup>). Besides, *C. nigrodigitatus* is overfished with exploitation rate ( $E= 0.59$ ) superior to the maximal exploitation rate ( $E_{max}$ ) to 0.414.

<sup>1</sup>Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-technologie des Eaux, Abidjan, Côte d'Ivoire.

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

Reçu le 12..01.17 et accepté pour publication le 03.03.17

## Introduction

L'importance du rôle joué par les produits de la pêche dans l'alimentation, la réduction de la pauvreté et l'économie des populations humaines n'est plus à démontrer. En Afrique de l'ouest, l'exploitation des ressources halieutiques porte principalement sur les poissons et les crevettes. Au niveau des poissons, pratiquement toutes les espèces rencontrées dans les eaux locales sont exploitées avec une intensification de l'effort de pêche sur les poissons chats du genre *Chrysichthys* dont la chair est très fortement prisée et appréciée par les populations autochtones. Cet intérêt accordé aux poissons du genre *Chrysichthys* appelés le mâchoiron a suscité plusieurs travaux de recherche portant sur les différents aspects de la biologie et l'écologie des espèces appartenant à ce genre dont *Chrysichthys nigrodigitatus* (1, 5, 11, 12, 15, 18, 21).

En Côte d'Ivoire, les espèces du genre *Chrysichthys* sont également appréciées par les autochtones et présentent un intérêt économique. Elles subissent de ce fait une intense pression d'exploitation et pourraient être menacées de surpêche. Des mesures de gestion doivent être prises pour éviter l'effondrement du stock des espèces du genre *Chrysichthys* en général et celui de *C. nigrodigitatus*. Mais avant la mise en place de toute mesure de gestion, une évaluation de l'état du stock s'avère nécessaire. A ce jour aucune étude sur les paramètres d'exploitation des espèces du genre *Chrysichthys* n'est disponible en Côte d'Ivoire. L'objectif de cette étude est d'estimer les paramètres de croissance et d'exploitation de *Chrysichthys nigrodigitatus* et d'apprécier le niveau d'exploitation actuel de cette ressource dans la lagune Ebrié, notamment au niveau du secteur I (complexe lagunaire Aghien-Potou).

## Matériel et méthodes

### Milieu d'étude

Le système lagunaire Ebrié, d'une superficie de 566 km<sup>2</sup>, s'allonge d'Est en Ouest sur 125 km le long du littoral ivoirien entre 3°40-4°50W. Il comporte la lagune Ebrié proprement dite (523 km<sup>2</sup>) et le système lagunaire Aghien-Potou (43 km<sup>2</sup>). Localisé entre 5°15-5°27 N et 3°43-3°56 W, le complexe lagunaire Aghien-Potou s'étend sur 72 km de périmètre et 32 km de longueur de l'axe médian (10) (Figure 1).

Le climat de la zone d'étude est de type équatorial caractérisé par quatre saisons dont une grande saison sèche de décembre à mars, une grande saison de pluie d'avril à juillet, une petite saison sèche d'août à septembre et une petite saison de pluie d'octobre à novembre. C'est une zone où les précipitations interannuelles sont supérieures à 1500 mm. Cette zone renferme un réseau hydrographique important, composé des rivières Bété et Djibi et du fleuve Mé.

Les rivières Bété et Djibi débouchent directement dans la lagune Aghien alors que la Mé débouche dans le canal naturel reliant la lagune Potou à la lagune Aghien (38). La lagune Potou est caractérisée par des profondeurs faibles (< 3 m). Les profondeurs les plus importantes sont enregistrées au niveau des canaux reliant les lagunes Aghien et Potou (5 à 7 m) d'une part et la lagune Potou au reste de la lagune Ebrié (7 m) (22) d'autre part. En Côte d'Ivoire, le fait que cette espèce est appréciée des populations, induit un fort intérêt économique.

### Collecte des données

La collecte des données a été effectuée à Vitré 2 d'avril 2004 à mars 2006. Les spécimens examinés proviennent de la pêche commerciale et expérimentale et ont été identifiés à l'aide de la clé de Paugy *et al.* (27, 28). Sur chaque spécimen, la longueur à la fourche exprimée en cm a été déterminée à l'aide d'un ichtyomètre gradué au millimètre près.

### Paramètres démographiques

#### Spectres de tailles des captures

Les tailles des spécimens mesurés ont été regroupées en classes de 1 cm (16, 36) pour permettre d'avoir un nombre représentatif d'individus. Ces classes de tailles sont représentées par leurs points médians. Les tailles moyennes des espèces ont été déterminées par la formule I:

$$\bar{X} = x_i \frac{f_i}{n} \quad (I)$$

$\bar{X}$  = taille moyenne (mm) de l'espèce *i*;  $x_i$  = classe de longueur à la fourche ( $L_f$ , mm);  $f_i$  = effectif correspondant à chaque  $L_f$  et  $n$  = effectif de l'échantillon.

### Paramètres de croissance et d'exploitation

Les compositions en tailles des captures totales, utilisées dans cette étude, proviennent exclusivement des prises de pêches commerciales réalisées dans le secteur lagunaire Potou. Le logiciel FISAT II (version 1.2.2) a été utilisé pour estimer les paramètres démographiques (courbe de capture, équation de mortalité naturelle de Pauly, courbe de recrutement, rendement et biomasse par recrue). Pour estimer les paramètres de croissance et d'exploitation: longueur asymptotique ( $L_\infty$ ) et coefficient de croissance ( $K$ ), l'équation de croissance de Von Bertalanffy (13) a été utilisée (Formule II),

$$L_t = L_\infty \times \left(1 - e^{-K(t-t_0)}\right) \quad (II)$$

Avec,  $L_t$  = longueur du poisson à l'âge  $t$  (cm),  $L_\infty$  = longueur asymptotique (cm), longueur que pourrait atteindre l'espèce si elle continue à vivre et à croître indéfiniment,  $K$  = coefficient de croissance ou taux de croissance caractérisant la vitesse avec laquelle, l'espèce croît vers  $L_\infty$  (an<sup>-1</sup>) et  $t_0$  = âge théorique du poisson à la taille nulle (année).

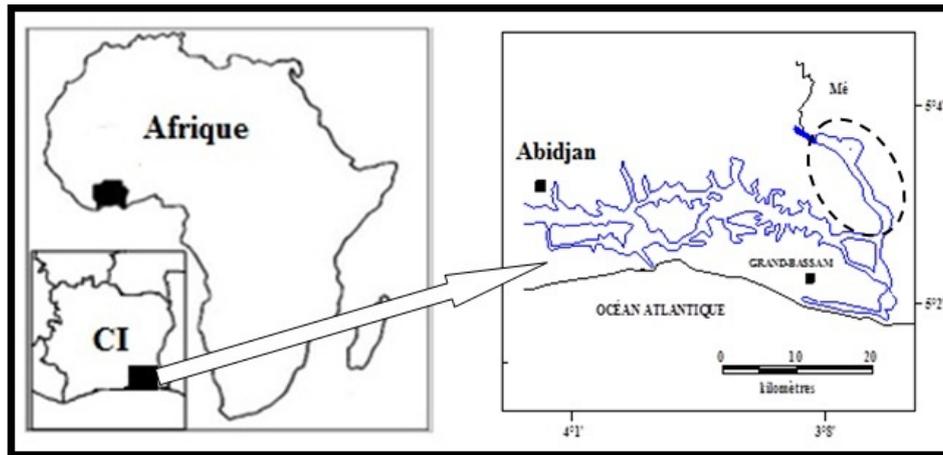


Figure 1: Carte de la zone d'échantillonnage

L'âge théorique  $t_0$  a été obtenu à partir de l'équation (III) de Pauly (29).

$$\log_{10}(-t_0) = -0,392 - 0,275 \log_{10}L^\infty - 1,038 \log_{10}K \quad (\text{III})$$

L'indice de performance de croissance ( $\emptyset'$ ) a été évalué à partir de la formule IV proposée par Pauly & Munro (34).

$$\emptyset' = \text{Log}_{10} K + 2 \text{Log}_{10} L^\infty \quad (\text{IV})$$

La courbe de croissance obtenue sert à convertir les fréquences de tailles en classe d'âge (31, 32), afin de déterminer les coefficients instantanés de mortalités (Z, M et F). Le coefficient instantané de mortalité totale Z a été estimé par la méthode des courbes de captures selon les longueurs mesurées avec le logiciel FiSAT II (version 1.2.2) avec la formule V:

$$N_{t+1} = N_t e^{-Z} \quad (\text{V})$$

$N_t$  = effectif des poissons au temps t, et  $N_{t+1}$  = effectif des poissons au temps  $t+1$ . La construction de cette courbe de capture tient compte de  $L^\infty$ , K,  $t_0$  ( $t_0 = 0$ ) et de la température (T °C) pour le tracé d'un graphique avec  $\text{Log } N_t$  en ordonnée, t en abscisse et  $Z = -b$  la pente de la droite régression, selon la formule VI.

$$\text{Log } N_t = a + bt \quad (\text{VI})$$

avec  $N_t$  = nombre d'individus dans la classe de taille t, a = ordonnée à l'origine de la droite de régression, b = pente de la droite de régression, Le graphique ( $\text{Log } N_t$ ) définitif permet d'obtenir les taux instantanés de mortalité (Z, M et F) et d'exploitation (E). La mortalité naturelle (M) peut être également obtenue par l'équation VII de Pauly (30).

$$\text{Log}_{10} M = a + b \text{Log}_{10} L^\infty + c \text{Log}_{10} K + d \text{Log}_{10} T \quad (\text{VII})$$

Avec, a = -0,0066, b = -0,279, c = 0,6543, d = 0,4634 et T, la température moyenne annuelle de l'eau dans la lagune Potou.

Dans la présente étude, la température annuelle de 27°C, déterminée par Albaret *et al.* (4) et Villanueva (39) a été considérée.

#### Taille de première capture et période de recrutement

La probabilité de capture est obtenue grâce aux points ascendants situés à gauche de la courbe de capture pour chaque classe de taille (33). Cette méthode a permis de déterminer les paramètres de sélectivité dont la taille pour laquelle la probabilité de capture est de 50% de la prise totale ( $L_C$  ou  $L_{50}$ ). En outre, avec les paramètres de croissance  $L^\infty$ , K et  $t_0$ , un histogramme de fréquence relative des naissances par mois a été construit à l'aide du logiciel FiSAT II (version 1.2.2). Ce graphique indique les variations mensuelles du recrutement des jeunes poissons.

#### Détermination du niveau d'exploitation

Pour évaluer l'état de la ressource, trois approches ont été utilisées. Il s'agit des analyses basées sur le taux d'exploitation (E), la mortalité par pêche (F) et de la taille de première maturité sexuelle ( $L_m$ ). Le taux d'exploitation indique le degré d'exploitation d'un stock. Pour un stock faiblement exploité,  $E < 0,5$  et pour un stock fortement exploité,  $E > 0,5$ ; suivant l'hypothèse que l'exploitation du stock est optimale quand  $F=M$  (ou  $E=0,5$ ) (14). Le taux d'exploitation est obtenu par la formule:  $(E) = F / Z = F / (F + M)$  avec  $F = Z - M$  (35). La taille de première maturité sexuelle ( $L_m$ ) est comparée à la taille de première capture ( $L_c$ ) de l'espèce. L'espèce est qualifiée de surexploitée quand  $L_c < L_m$ . Par contre, elle est sous exploitée lorsque  $L_c > L_m$ .

#### Rendements et biomasses par recrue

Les courbes de rendement relatif ( $Y'/R$ ) et de biomasse relative par recrue ( $B'/R$ ) pour des valeurs fixées de  $L_c/L^\infty$  et  $M/K$  ont permis la détermination des points de référence biologiques de Beverton & Holt (8) pour une gestion optimale de la population *C. nigrodigitatus* étudiée.

Les tracés de  $Y/R$  sur  $E$  ( $E = F/Z$ ) et de  $B/R$  sur  $E$ , qui permettent l'estimation graphique des points de références biologiques  $E_{max}$  (tracé jaune),  $E_{0,1}$  (tracé vert) et  $E_{0,5}$  (tracé rouge) (Voir figure 7) ont été fait à l'aide du logiciel FiSAT II (version 1.2.2). Ces points de référence biologique ( $E_{max}$ ;  $E_{0,1}$  et  $E_{0,5}$ ) correspondent respectivement à l'exploitation ayant le rendement productif maximum ( $E_{max}$ ), au taux d'exploitation pour une augmentation du rendement par recrue relative de 1 / 10 de sa valeur à  $E = 0$  ( $E_{0,1}$ ) et à la valeur de  $E$  pour laquelle le stock est réduit à 50 % de sa biomasse inexploitée ( $E_{0,5}$ ). En outre, les analyses des fréquences de tailles ont été effectuées avec le logiciel FiSAT II (version 1.2.2).

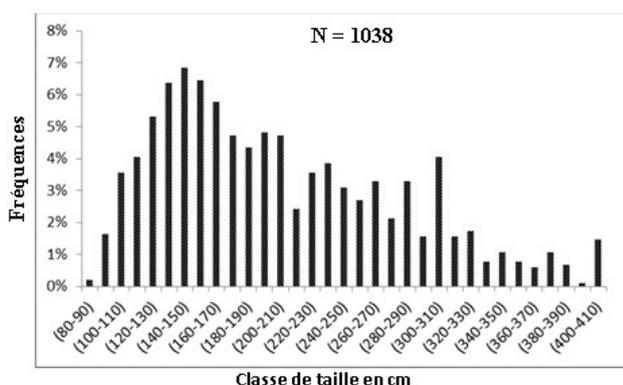
## Résultats

### Structure des tailles de la population

La figure 2 illustre les fréquences des tailles (longueur à la fourche) des individus de la population de *Chrysichthys nigrodigitatus* obtenues durant cette étude. L'analyse montre que les captures portent sur des individus ( $N = 1038$ ) de tailles comprise entre 80 mm et 410 mm (Moyenne: 204,7 mm), avec une dominance des classes de taille comprise entre 130 mm à 160 mm.

### Paramètres de croissance ( $L_{\infty}$ , $K$ et $\phi'$ )

Les paramètres de croissance  $L_{\infty}$  et  $K$ , ainsi que l'indice de performance de croissance  $\phi'$  de *Chrysichthys nigrodigitatus* échantillonné dans la lagune Ebrié, secteur Potou sont présentés dans le tableau 1. La courbe de croissance ayant permis la détermination de ces différents paramètres de croissance est illustrée à la figure 3. La longueur asymptotique ( $L_{\infty}$ ) et le coefficient de croissance ( $K$ ) sont respectivement de 53 cm et  $0,33 \text{ an}^{-1}$  tandis que l'indice de performance de croissance ( $\phi'$ ) est 2,968 cm. L'âge théorique du poisson à la taille nulle ( $t_0$ ) est estimé à -0,69 tandis que l'âge maximum (ou longévité,  $t_{max}$ ) est estimé à 9,09 an.



**Figure 2:** Structure de taille chez *Chrysichthys nigrodigitatus* échantillonné dans la lagune Potou d'avril 2004 à mars 2006.

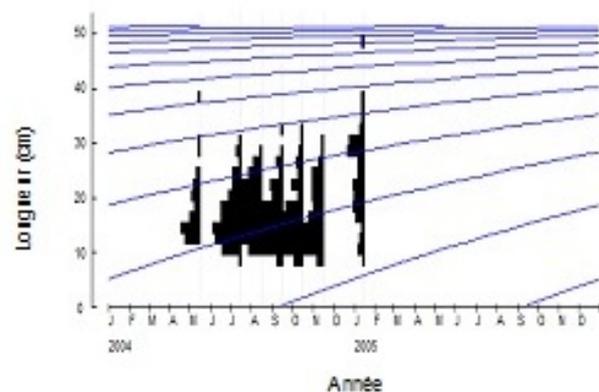
### Coefficients de mortalité totale, naturelle et par pêche, et taux d'exploitation

Les valeurs des coefficients de mortalité totale ( $Z$ ), naturelle ( $M$ ) et par pêche ( $F$ ) et le taux d'exploitation ( $E$ ) ainsi que les classes d'âge soumises à l'exploitation sont mentionnées dans le tableau 1. La courbe de capture convertie en longueur tracée est présentée à la figure 4. Les coefficients de mortalité totale ( $Z$ ), naturelle ( $M$ ) et par pêche ( $F$ ) de *C. nigrodigitatus* obtenus à partir de la température moyenne de  $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$  sont respectivement de  $1,79 \text{ an}^{-1}$ ;  $0,73 \text{ an}^{-1}$  et  $1,73 \text{ an}^{-1}$ . Ce résultat montre une mortalité par pêche est largement supérieure à la mortalité naturelle de *C. nigrodigitatus* au niveau du secteur Potou de la lagune Ebrié. Le taux d'exploitation est de 0,59 (Tableau 1) et (Figure 4).

**Tableau 1**

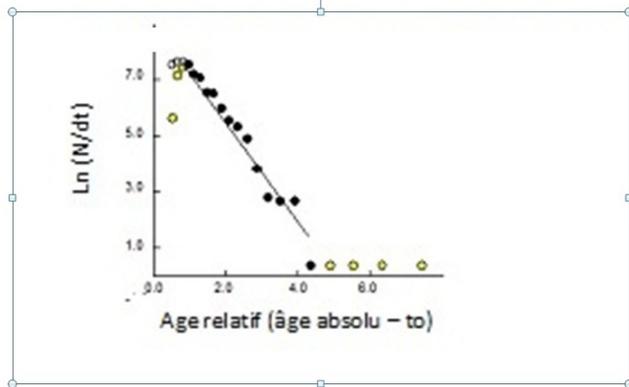
Caractéristiques démographiques de *Chrysichthys nigrodigitatus* dans la lagune Ebrié (Potou, Côte d'Ivoire) échantillonné d'avril 2004 à mars 2006

Paramètres démographiques de <i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	Values
Longueur maximale théorique ( $L_{\infty}$ , en cm)	53
Facteur de croissance ( $k$ , en $\text{an}^{-1}$ )	0,33
Longévité ( $t_{max}$ , an)	9,09
Indice de performance de croissance ( $\phi'$ )	2,968
Mortalité naturelle ( $M$ , $\text{an}^{-1}$ )	0,73
Mortalité par pêche ( $F$ , $\text{an}^{-1}$ )	1,73
Mortalité totale ( $Z$ , $\text{an}^{-1}$ )	1,79
Taux d'exploitation calculé ( $E$ )	0,59
Taux d'exploitation optimale ( $E_{max}$ )	0,414
Taille de première capture ( $L_c$ , en cm)	8,21



**Figure 3:** Courbes de croissance, selon le modèle de Von Bertalanffy de *Chrysichthys nigrodigitatus*, exploitées dans la lagune Ebrié (Potou, Côte d'Ivoire) d'avril 2004 à mars 2006.

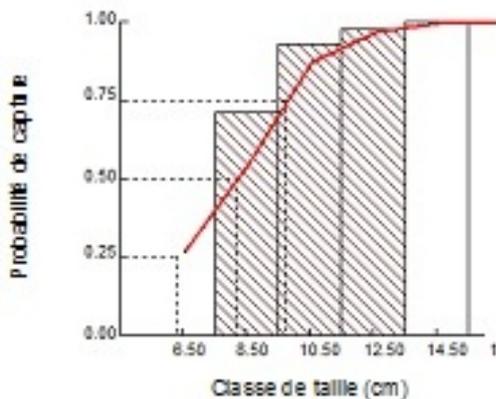
(Pour  $Z = 1,79$ ;  $M$  (à  $27^{\circ}\text{C}$ ) =  $0,73$ ;  $F = 1,07$ ;  $E = 0,59$ )



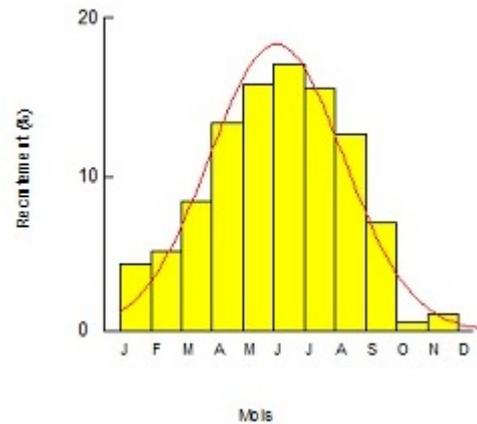
**Figure 4:** Courbe de capture selon les longueurs de *Chrysichthys nigrodigitatus*, exploitée dans le secteur de Vitré 2 (lagune Potou, Côte d'Ivoire) d'avril 2004 à mars 2006.

#### Tailles de première capture et recrutement des jeunes poissons

La figure 5 illustre la courbe de sélectivité montrant la variation de la probabilité de capture en fonction des tailles de *Chrysichthys nigrodigitatus*. La taille moyenne de première capture calculée ( $L_c$  ou  $L_{50}$ ) ou taille à laquelle 50% des individus de l'espèce sont vulnérables à la capture a été estimée à 8,21 cm. L'analyse du même graphique montre que les tailles auxquelles 25% et 75% des poissons *C. nigrodigitatus* sont capturés sont respectivement de 6,4 cm et de 9,5 cm.



**Figure 5:** Courbe de sélectivité montrant la probabilité de capture pour chaque classe de taille de *Chrysichthys nigrodigitatus*, exploitée dans la lagune Ebrié (Potou, Côte d'Ivoire) d'avril 2004 à mars 2006.

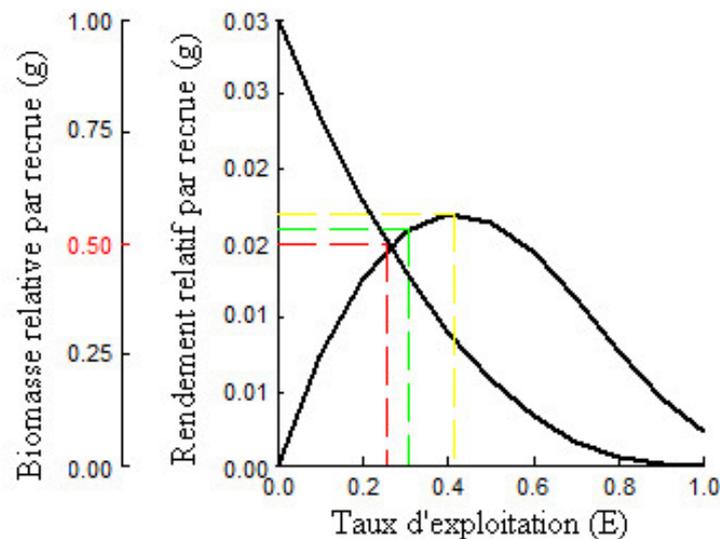


**Figure 6:** Courbe de recrutement de *Chrysichthys nigrodigitatus*, exploitée dans le secteur de Vitré 2 (lagune Potou, Côte d'Ivoire) d'avril 2004 à mars 2006.

Le recrutement ou processus par lequel les jeunes *C. nigrodigitatus* intègrent la pêcherie est illustré par le graphe 6. Il montre un recrutement continu toute l'année avec cependant un pic centré sur les mois de mai à juillet, période correspondant à la grande saison des pluies dans la région du complexe lagunaire Aghien-Potou (littorale).

#### Biomasse et rendement par recrue de Beverton et Holt

L'analyse des courbes de biomasses et de rendements par recrue (Figure 7), tracé avec le logiciel Fisat II, montre que les points de références biologiques de *Chrysichthys nigrodigitatus*,  $E_{0,1}$ ,  $E_{0,5}$  et  $E_{max}$  sont respectivement de 0,307; 0,257 et 0,414. Ainsi donc, au niveau de la portion lagune Potou, l'espèce *Chrysichthys nigrodigitatus* présente un taux d'exploitation ( $E = 0,59$ ) supérieur au taux d'exploitation maximal ( $E_{max} = 0,414$ ).



(Emax: tracé jaune), E 0,1: tracé vert) et E 0,5: tracé rouge).

**Figure 7:** Courbes de la variation du rendement relatif par recue ( $Y/R$ ) et de la biomasse relative par recue ( $B/R$ ) en fonction du taux d'exploitation ( $E$ ) de *Chrysichthys nigrodigitatus*, exploitée dans la lagune Potou (Côte d'Ivoire) d'avril 2004 à mars 2006.

## Discussion

Les valeurs des paramètres de croissance de *Chrysichthys nigrodigitatus* obtenues dans le secteur Potou de la lagune Ebrié sont: longueur asymptotique ( $L_{\infty} = 53$  cm), coefficient de croissance ( $K = 0,33 \text{ an}^{-1}$ ) et indice de performance de croissance ( $\Phi' = 2,968$ ). La longueur asymptotique est la plus grande longueur théorique que les individus d'une espèce peuvent atteindre dans un habitat compte tenu des particularités écologiques de ce milieu tandis que  $K$  est la vitesse à laquelle ils croissent pour tendre vers cette longueur finale. La longueur asymptotique de *C. nigrodigitatus* obtenue dans la présente étude ( $L_{\infty} = 53$  cm) est relativement plus importante que celles de la même espèce obtenues dans le lac Volta (Ghana) ( $L_{\infty} = 44.5$  cm; (26)), le lac Kainji (Nigeria) ( $L_{\infty} = 49$  cm; (9)), le lac Nokoue (Benin) ( $L_{\infty} = 26$  cm; (23)), le lac d'Ayamé I (Côte d'Ivoire) ( $L_{\infty} = 46$  cm; (37)), le lac Akata (Etat du Benué, Nigeria) ( $L_{\infty} = 37,28$  cm; (15)).

Le facteur de croissance de *C. nigrodigitatus* estimé à  $0,33 \text{ an}^{-1}$  est inférieur à 1 ( $< 1$ ), traduisant que *C. nigrodigitatus* est une espèce à longue durée de vie (15). Le facteur de croissance de *C. nigrodigitatus* estimé dans ce présent travail est inférieur aux valeurs rapportées par Niyonkuru *et al.* (23) dans le lac Nokoué ( $K = 0,9 \text{ an}^{-1}$ ), par Du feu (9) dans le lac Kainji ( $K = 0,53 \text{ an}^{-1}$ ) et par Ikongbeh *et al.* (15) dans le lac Akata ( $0,53 \text{ an}^{-1}$ ). Il est par contre plus élevé que celui rapporté par Tah *et al.* (37) dans le lac d'Ayamé ( $0,24 \text{ an}^{-1}$ ). Cela signifie que la croissance

de *Chrysichthys nigrodigitatus* dans ce secteur de la lagune Ebrié (Potou) est moins rapide que celle enregistrée dans les écosystèmes précités à l'exception du lac d'Ayamé. Concernant l'indice de performance de croissance, sa valeur estimée ( $\Phi' = 2,968$ ) est relativement du même ordre de grandeur que celles obtenues dans la littérature:  $\Phi' = 2,95$  dans le lac Nokoue (23),  $\Phi' = 3,10$  dans le lac Kainji (9),  $\Phi' = 2,71$  dans le lac d'Ayamé I (37),  $\Phi' = 2,87$  dans le lac Akata (15). Cette variabilité des paramètres de croissance de *C. nigrodigitatus* d'un écosystème aquatique à l'autre pourrait être mise en relation avec plusieurs facteurs. Parmi ces facteurs, peuvent être cités la disponibilité de la nourriture et la densité de la population (8), la différence d'accessibilité à la nourriture (33), la différence de température des écosystèmes (17, 26), la pollution environnementale, la dégradation des pêcheries (3) et la pression de pêche (20). Selon Odo & Inyang (24), cette variabilité des paramètres de croissance d'une espèce, d'un écosystème à l'autre pourrait également être en relation avec les différences entre les populations émanant elles même de facteurs génétiques d'une part et aux variables environnementales des habitats aquatiques de ces populations d'autre part. L'indice de performance de croissance de *C. nigrodigitatus* obtenu dans la présente étude (2,968) se trouve dans l'intervalle d'indice de performance de croissance des poissons d'Afrique (2,65 et 3,32) défini par Bajiot & Moreau (6) et permet de conclure que l'espèce a une croissance lente dans ce secteur de la lagune Ebrié.

Les coefficients de mortalité totale (Z), naturelle (M) et par pêche (F) de *C. nigrodigitatus* à partir d'une température moyenne de 27°C, sont respectivement de 1,79 an<sup>-1</sup>; 0,73 an<sup>-1</sup> et 1,73 an<sup>-1</sup>. Ainsi donc, au niveau de la lagune Potou, la mortalité par pêche de *C. nigrodigitatus* (1,73 an<sup>-1</sup>) est supérieure à la mortalité naturelle (0,73 an<sup>-1</sup>), traduisant une exploitation intensive de l'espèce. Cela pourrait aussi traduire que *C. nigrodigitatus* a peu de prédateurs dans ce milieu d'étude. Ce résultat de la mortalité par pêche de *C. nigrodigitatus* supérieure à la mortalité naturelle confirme le taux d'exploitation de l'espèce (E=0,59) qui est supérieur au taux d'exploitation maximale (E<sub>max</sub>= 0,414). En outre, le taux d'exploitation de *Chrysichthys nigrodigitatus* dans la lagune Potou (E= 0,59) est supérieur au taux de référence optimum défini par Gulland (1971) (E = 0,50), traduisant que *C. nigrodigitatus* est en état de surexploitation dans ce secteur de la lagune Ebrié. Ce résultat est confirmé par le ratio Z/K (5,42). En effet, selon Barry & Tegner (7) cité par Lederoun *et al.* (20), si Z/k <1, cela traduit la prédominance de la croissance sur la mortalité dans une population de poisson. Lorsque Z/K= 1, la population est en équilibre (mortalité en équilibre avec la croissance). Par contre, lorsque dans une population de poissons Z/K≈ 2, la mortalité prédomine sur la croissance et elle est donc légèrement exploitée. Dans le cas de la population de *C. nigrodigitatus* dans le secteur Potou de la lagune Ebrié, le ratio Z/K= 5,42 > 2. La taille de première capture (L<sub>c</sub>) de *C. nigrodigitatus* obtenue dans la présente étude (L<sub>c</sub>= 8,21 cm) comparée aux tailles de première maturité sexuelle de l'espèce empruntée à la littérature: 24 cm dans le lac Nokoué au Bénin (19); 11,5-16,7 cm dans la rivière Cross au Nigéria (25); 16,67 cm dans l'estuaire côtier de l'Etat de Ugun au Nigéria (1) montre que dans la lagune Potou, les individus de la population de *C. nigrodigitatus* sont capturés avant qu'ils n'atteignent la taille de première maturité sexuelle.

Ces résultats ci-dessus confirment l'état de surexploitation de cette espèce dans ce secteur lagunaire Potou.

-l'utilisation fréquente des sennes de plage, l'effort de pêche non contrôlé dans ce secteur lagunaire -où le libre accès à la ressource et -l'intérêt économique de l'espèce, seraient les principales causes de la surexploitation de l'espèce. La même tendance d'état de sous exploitation est également observée chez *C. nigrodigitatus* au niveau du lac Akata, avec un taux d'exploitation E= 0,265 (15). Ce résultat concorde par contre avec ceux de Dossou (8) dans la vallée de l'Oueme (Benin) où une espèce congénère (*Chrysichthys auratus*) est en état de surexploitation, avec un ratio Z/K= 3,1 largement supérieur à 2.

### Conclusion

Cette étude donne pour la première fois des informations sur les paramètres de croissance et d'exploitation de *Chrysichthys nigrodigitatus* dans la lagune Ebrié (secteur Potou). Elle montre un recrutement continu de *C. nigrodigitatus* toute l'année avec cependant un pic centré sur les mois de mai à juillet période correspondant à la grande saison des pluies dans la région du complexe lagunaire Aghien-Potou. Elle indique également qu'au niveau du secteur Potou de la lagune Ebrié, *C. nigrodigitatus* subit une mortalité par pêche largement supérieure à la mortalité naturelle et est en état de surexploitation. Au regard de ce résultat, des mesures correctives sont recommandées afin de permettre une meilleure gestion des stocks actuels et une reconstitution durable des populations de *C. nigrodigitatus* et les autres espèces congénères. Au nombre de ces mesures, nous recommandons l'instauration d'une période de fermeture de la pêche, notamment durant la période de ponte de l'espèce.

### Références bibliographiques

1. Abdul W.O., 2015, Life history change in silver catfish, *Chrysichthys nigrodigitatus*, family bagridae, in Ogun State coastal estuary, Nigeria, *Ife J. Sci.*, **17**, 3, 691-700.
2. Abowei J.F.N. & Ezekiel E.N., 2013, The Length-weight relationship and condition factor of *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepède, 1803) from Amassoma River flood plains, *Sci. Agric.*, **3**, 2, 30-37.
3. Abowei J.F.N. & Hart A., 2007, Size, Composition, age, growth, mortality and exploitation rate of *Chrysichthys nigrodigitatus* from Nun River, Niger Delta, Nigeria. *Afr. J. Appl. Zool. Environ. Biol.*, **9**, 44 - 50.
4. Albaret J.J., Simier M., Darboe F. S., Écoutin J. M., Raffray J. & Tito De Morais L., 2004, Fish diversity and distribution in the Gambia Estuary, West Africa, in relation to environmental variables. *Aquat. Living Res.*, **17**, 35-46.
5. Andem A.B., George U.U. & Eyo V.O.; 2013, Length Frequency Distribution of (*Chrysichthys nigrodigitatus*) (Lacepède, 1803) (*Chrysichthys, Bagridae*) from Itu Head Brigde, in Akwa Ibom State, Nigeria, *Int. J. Sci. Res. (IJSR)*, **2**, 9, 258-260.
6. Baijot E. & Moreau J. 1997, *Biology and demographic status of the main fish species in the reservoirs of Burkina Faso*, pp. 79-109. In: Baijot, E. Moreau, J. Barry J. & Bouda S. (Editors), *Hydrological aspects of fisheries in small reservoirs in the Sahel Region*, Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Commission of the European Communities, Wageningen, Netherlands.
7. Barry J.P. & Tegner M.J., 1989, Inferring demographic processes from size-frequency distributions: simple models indicate specific patterns of growth and mortality. *Fish. Bull.*, **88**: 13-19.

8. Beverton R.J.H. & Holt S.J., 1966, *Manuel of methods for fish stock assessment Part 2. Tables of yield functions*. FAO Fisheries Technical Papers, 67 p.
8. Dossou S., 2013 *Exploitation et biologie comparée de deux espèces de Chrysichthys (Poissons, Siluriformes) à Késsounou dans la vallée de l'Ouémé, Bénin*. Mémoire pour l'obtention du DEA en sciences agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Aquaculture, 58 p.
9. Du Feu, 2003, *Tropical Reservoir Fisheries; Lake Kainji, Nigeria- a case study*. Thesis submitted for the Degree of PhD, University of Hull, 324p.
10. Durand J.R. & Guiral D., 1994, *Hydroclimat et hydrochimie* 59-89p, In: Durand J.R., Dufour P., Guiral D. & Zabi S.G.F. (Editors) *Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire*, Tome II. Les milieux lagunaires. Editions ORSTOM, Abidjan.
11. Eyo V.O., Ekanem A.P., Eni G. & Edet A.P., 2013, Relationship between fecundity and biometric indices of the silver catfish *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepede) in the cross river estuary, Nigeria, *Croat. J. Fish.*, **71**, 131-135.
12. Francis A. & Elewuo U., 2012, Aspects of the biology of trap caught *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepede: 1803) from the New Calabar River, Nigeria, *Int. J. Fish. Aquacult.*, **4**, 6, 99-104.
13. Gayanilo F.C.J.R., Sparre P. & Pauly D., 2002, *The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II (FISAT II Version 1.2.2)*. FAO, Available at: <http://www.fao.org/fi/statist/fisof/fisat> (last accessed 25 may 2013).
14. Gulland J.A., 1971, *The fish resources of the oceans. Fishing New (Books) Ltd., west by fleet*, for FAO, England, 225p.
15. Ikongbeh O.A., Ogbe F.G., Solomon S.G., & Ataguba G.A., 2015. Age, growth and mortality of *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède, 1803) from Lake Akata, Benue State, Nigeria, *Asian J. Conserv. Biol.*, **4**, 1, 81-88.
16. Kantoussan J., 2007. *Impacts de la pression de pêche sur l'organisation des peuplements de poissons: application aux retenues artificielles de Sélingué et de Manantali, Mali, Afrique de l'Ouest*. Thèse de Doctorat, Université Agrocampus Rennes, France, 195 p.
17. King R.P. & Etim L., 2004, Reproduction, growth, mortality and yield of *Tilapia mariae* Boulenger, 1899 (Cichlidae) in Nigerian rain forest Westland stream, *J. Appl. Ichthyol.*, **20**, 502-510.
18. Kouamé A., Koco N.C.S., & Alla Y.L., 2014, Aquacultural Potential of Silver Catfish *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepede, 1803) Bred in Fresh and Brakish Water in Three Rearing Systems: Enclosures, Cement Tanks and Earth Ponds, *Adv. Biores.*, **5**, 2, 165-171.
19. Lalèyè P., Philippart J-C., Poncin P., 1995, Biologie de la reproduction de deux espèces de *Chrysichthys* (Siluriformes, Bagridae) du lac Nokoué et de la lagune de Porto-Novo au Bénin. *J. Afr. Zool.*, **109**, 213-224.
20. Lederoun D., A. Chikou, E. Vreven, J. Snoeks, J. Moreau, P. Vandewalle, & P. Lalèyè, 2015, Population parameters and exploitation rate of *Sarotherodon melanotheron* rüppell, 1852 (Cichlidae) in Lake Toho, Benin. *J. Biodivers. Environ. Sci.*, **6**, 2, 259-271.
21. Montchowui E., Kogbeto M. & Laleye P., 2009, Weight-length relationships for commercial fish species caught in Lake Hlan in Benin (West Africa). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **3**, 3, 612-616.
22. N'guessan Y.A., Mondé S., Wango T.E., Wognin V. & Aka K., 2009, Récentes analyses morphologiques et sédimentologiques du système lagunaire Adjin-Potou en zone littorale de la côte d'ivoire, *Rev. Ivoirienne Sci. Technol.*, **14**, 217-229.
23. Niyonkuru C., Lalèyè P., Villanueva M.C. & Moreau J., 2003. *Population Parameters of Main Fish Species of Lake Nokoue' in Benin*. Abstract. Third Internat. Conf. Pan African Fish and Fisheries Association, Cotonou, Benin, 10-14 November 2003.
24. Odo G.E. & Inyang N.M., 2001. Growth, feed utilization and survival of African Catfish, *Clarias gariepinus* (Burhill, 1822). Fingerlings reared in tanks at different salinity levels, *J. Aquat. Sci.*, **16**, 127-131.
25. Offem B.O., Akegbejo-Samsons Y. & Omoniyi I.T., 2008, Diet, size and reproductive biology of the silver catfish, *Chrysichthys nigrodigitatus* (Siluformes: Bagridae) in the Cross River, Nigeria. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)*, **56**, 4, 1785-1799.
26. Ofori-Danson P.K., de Graaf G.J. & C.J. Vanderpuyé, 2002, Population parameter estimates for *Chrysichthys auratus* and *C. nigrodigitatus* (Pisces: Claroteidae) in Lake Volta, Ghana. *Fish. Res.*, **54**, 2, 267-277.
27. Paugy D., Leveque C. & Teugels G.G., 2003 a, *Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome I*. IRD (Paris), MNHN (Paris), MRAC (Tervuren), 457 p.
28. Paugy D., Leveque C. & Teugels G.G., 2003 b, *Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome II*. IRD (Paris), MNHN (Paris), MRAC (Tervuren), 815 p.
29. Pauly D., 1979, *Theory and management of tropical multispecies stocks: a review with emphasis on the Southeast Asian demersal fisheries*. ICLARM Studies Review 1. 35 p.
30. Pauly D., 1980, On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks, *J. Conseil Int. Explor. Mer*, **39**, 175-192.
31. Pauly D., 1983, Length converted catch curves. A powerful tool for fisheries research in the tropics (Part I). *ICLARM Fishbyte*, **1**, 2, 9-13.
32. Pauly D., 1984, Length-converted catch curve: a powerful tool for fisheries research in the tropics (Part II). *ICLARM Fishbyte*, **2**, 17-19.
33. Pauly D. 1994, Quantitative analysis of published data on the growth, metabolism, food consumption, and related features of the red-bellied piranha, *Serrasalmus nattereri* (Characidae). *Environ. Biol. Fishes*, **41**, 423-437.
34. Pauly D. & Munro J.L., 1984, Once more on the comparison of growth in fishes and invertebrates. *Fishbyte*, **2**, 21-22.
35. Sparre P. & Venema S.C., 1996, *Introduction à l'évaluation des stocks de poissons tropicaux. Première partie*. FAO. Document Technique sur les pêches. N° 306 / 1, Revue.1. FAO, Rome, 401 p.

36. Tah L., 2012. *Exploitation du lac d'Ayamé I (Côte d'Ivoire) après le départ des pêcheurs Bozo en 1998 et impact sur les structures démographiques des populations ichtyologiques*. Thèse de Doctorat, Hydrobiologie, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 170 p.
37. Tah L., Joanny T.G. N'Douba V., Kouassi J.N. & Moreau J., 2010, Preliminary estimates of the population parameters of major fish species in Lake Ayame´ I (Bia basin; Côte d'Ivoire). *J. Appl. Ichthyol.*, **26**, 57663.
38. Traoré A., Soro G., Kouadio E.K., Bamba B.S., Oga M.S., Soro N. & Biémi J., 2012, Evaluation des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques des eaux d'une lagune tropicale en période d'étiage: la lagune Aghien (Côte d'Ivoire), *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**, 7048-7058.
39. Villanueva M.C.S., 2004, *Biodiversité et relations trophiques dans quelques milieux estuariens et lagunaires de l'Afrique de l'ouest: adaptations aux pressions environnementales* Thèse de Doctorat, Institut Normal Polytechnique de Toulouse, France, 248 p.

---

A.T. Bédia, Ivoirien, PhD, Enseignant Chercheur, Université Félix Houphouët-Boigny, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-technologie des Eaux, UFR Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire.

R. N'doua Etilé, Ivoirien, PhD, Enseignant Chercheur, Université Félix Houphouët-Boigny, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-technologie des Eaux, UFR Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire.

G.I. Goore, Ivoirien, PhD, Enseignant Chercheur, Université Félix Houphouët-Boigny, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-technologie des Eaux, UFR Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire.

P. Essetchi Kouamelan, Ivoirien, PhD, Professeur, Université Félix Houphouët-Boigny, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-technologie des Eaux, UFR Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire.

V. N'douba, Ivoirien, PhD, Professeur, Université Félix Houphouët-Boigny, Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Eco-technologie des Eaux, UFR Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire.

## A Two-stage Empirical Analysis of Market Participation in Yam-growing Areas of West Africa

D.B. Mignouna<sup>1\*</sup>, T. Abdoulaye<sup>1</sup>, A.A. Akinola<sup>1, 2</sup>, A. Alene<sup>3</sup>, A. Oparinde<sup>4</sup>, V.M. Manyong<sup>5</sup>, N. Maroya<sup>1</sup> & R. Asiedu<sup>1</sup>

**Keywords:** Two-stage empirical analysis- Market participation- Yam- Nigeria- Ghana

### Summary

*The transition from semi-subsistence to commercialized agriculture has been subject of global debates in Africa for more than a half century. This is the reminiscence of the necessity to formulate policies and programs to increase the yields and stimulate the investments in agriculture. Participation in agricultural markets could be a viable channel to transform subsistence agriculture thereby lifting millions of poor farmers out of hunger and poverty traps. Unfortunately, most of the potential beneficiaries are hindered by several factors in their quest to participate in yam market. This study investigated the underpinning drivers of market participation among small-scale farmers in the yam belt of West Africa. Using a multistage random sample of 1,400 households from Nigeria and Ghana, the study tested the hypothesis that factors affecting the farmers' decision to participate are not necessarily the same as those affecting the level of participation. Non-price constraints played a significant role in decision-making concerning market participation. Creation of an enabling environment and strengthening the social institutions should be considered in order to generate adequate marketable surplus to make market participation possible and valuable. Policies that reduce transaction costs and encourage farmers to commercialise their production could be alternatives to price-based policies. Moreover, improving the productivity of farmers will not only increase the likelihood of market participation but also the volumes offered for sale.*

### Résumé

#### Une analyse empirique à deux niveaux de participation au marché dans les zones de production d'igname de l'Afrique de l'Ouest

*Depuis plus d'un demi-siècle, passer de l'agriculture de semi-subsistance à une agriculture commerciale fait objet de nombreux débats en Afrique. Ceci est une réminiscence de la nécessité d'élaborer des politiques et des programmes adéquats pour augmenter les rendements et stimuler les investissements dans ce secteur. La participation aux marchés agricoles pourrait être un catalyseur de la transformation de l'agriculture de subsistance capable de faire sortir des millions d'agriculteurs se trouvant dans des conditions de famine et de pauvreté chroniques. Malheureusement, plusieurs facteurs entravent la participation de la plupart des agriculteurs au marché de l'igname. Cette étude avait pour but de déterminer les facteurs qui sous-tendent la participation des petits agriculteurs au marché dans la ceinture de la culture de l'igname en Afrique de l'Ouest. Un échantillon aléatoire à plusieurs degrés de 1400 fermiers a été utilisé dans cette étude réalisée au Nigeria et au Ghana. L'objectif de l'étude était de tester l'hypothèse selon laquelle les facteurs affectant les décisions des agriculteurs à participer au marché ne sont pas nécessairement les mêmes que celles qui affectent le degré de participation. Les facteurs non liés au prix ont joué un rôle significatif dans la détermination des décisions concernant la participation au marché. La création d'un environnement favorable et le renforcement des institutions sociales devraient être considérés afin de générer des excédents commercialisables suffisants pour rendre possible et intéressante la participation au marché. Les politiques réduisant les coûts de transaction et incitant les agriculteurs à commercialiser leur production pourraient constituer des alternatives par rapport aux politiques fondées sur le prix. De plus, améliorer la productivité des fermiers ne va pas seulement augmenter la probabilité de participation au marché mais également les volumes offerts à la vente.*

<sup>1</sup>International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Nigeria

<sup>2</sup>Obafemi Awolowo University, Nigeria

<sup>3</sup>International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Malawi

<sup>4</sup>International Food Policy Research Institute (IFPRI), U.S.A.

<sup>5</sup>International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Tanzania

\*Corresponding author: Email: D.Mignouna@cgiar.org

## Introduction

### Background information

A high percentage of the population of most African countries is dependent on arable crop agriculture (14). Although the African contribution to the supplies of some of these arable crops has been phenomenal in the region, the contributions to worldwide supplies of grains are modest: maize, about five percent; rice, three percent; wheat, three percent in the late 2000s (15). Africa has been a lead player in the supplies of cassava with 50 percent of world production and of yam with 95 percent of world production. Research efforts have been directed to cereals but cassava is now enjoying some level of support (33). However, yam has received lowered attention in national food policy programs in West Africa which remains one of the main areas challenged by hunger and poverty. Yam can be a great defense against the menace of hunger and poverty, if investments in food crop Research and Development, specifically directed on yam by national governments, regional and non-governmental organizations, and donors, are used to bring the crop into a central focus in national food policies. An approach in this regard is the encouragement of yam-growing rural farming households and other stakeholders in the yam sector to participate in the market. Agricultural growth depends on agricultural/food commercialization contributing largely to economic development. According to Mathenge *et al.* (31), market-oriented production could be highly instrumental in realizing welfare gains by exploiting the opportunities and benefits provided via specialization and comparative advantage, economies of scale, and the regular interaction and exchange of ideas. Moreover, increasing agricultural output will amount only to an exercise in futility if it is devoid of markets that effectively bind the increasingly specialized activities of widely dispersed producers into an integrated national economy. Therefore, participation in agricultural markets could be one of the key schemes in lifting millions of poor farmers out of the hunger and poverty traps. Market participation appears as an effect as much as a cause of development and getting good prices does not induce broad-based, welfare-enhancing market participation (4). Farmers must have access to productivity-increasing technology, inputs, and capital in order to produce a marketable surplus; and market structures to realize the value of increased production. Moreover, the institutional and physical infrastructure necessary to ensure low-cost access to markets structures. So what does it take to unlock most of the farmers

from subsistence farming trap through their participation in yam market? And what are the drivers of effective market participation in Nigeria and Ghana? Stimulating small scale farmers' participation in agricultural markets will help them to enjoy the benefits necessary to boost food security in the region. Enhancing returns from yam production through improved access to market can be a way-in for welfare gain and a way-out of poverty. Farmers in the study area have been locked into the traditional marketing system and thus confronted with problems indicated by low farm-gate prices in spite of the high yam market value, leaving households with low income. Empirical evidence in this domain especially with respect to yam crop has been very thin. Literature on market participation in rural areas continues to be relatively scarce (5).

This case study, thus, intends to fill those knowledge gaps by clarifying the drivers of market participation among small-scale farmers in the yam area and looks beyond the decision to participate. In the first stage, households that produce yam decide whether or not to sell the commodity in the market. In the second stage, the households that decide to sell determine the extent of their participation. The study will help therefore inform decision-makers at the national and project levels, and other researchers about factors hindering smallholder yam producers' decision-making that could have impacts on the transition towards a commercially-oriented yam market. The remainder of this article is organized as follows. In the next section, we discuss the overview of yam marketing in West Africa, followed by some previous empirical work on agricultural market participation and provide some background from a theoretical model. Then we describe the farm survey data and the methodologies used, before presenting and discussing regression results. The concluding section discusses policy implications.

### The state of Agricultural Market Participation and yam marketing in West Africa

Participation in the agricultural market has been conceived as the integration of subsistence farmers into the input and output markets of agricultural products with a view to increasing their income level and hence to reducing poverty (21). In the study carried out on agricultural supply response and poverty in Mozambique participation in agricultural markets by rural households has been conceived as a fundamental approach to alleviating poverty and enhancing food security in developing countries (21). Inopportunately, many challenges constrain reaching these goals:

- (i) Farmers in a whole do lack a coordinated decision-making with production and marketing not well-linked;
- (ii) Lack of trust in markets from the supply side; few farmers believe that there will be enough yam to purchase on the market, and more of them prefer to grow and consume their own yam;
- (iii) Farmers fail in planning. Although most farmers plan how much of their yam production to market, production decisions are driven more by the (known) prices of inputs than the (supposed) market prices of output;
- (iv) Lack of proper storage facilities, with detrimental effects on the yam quality;
- (v) Farmers are not selling to preferred buyers; and if they do, this is mainly because the need to receive a quick cash from a local trader or middleman overriding the desire to sell for a higher price to a more convenient buyer.

Omiti *et al.* (36) while working on factors influencing the intensity of market participation by smallholders in Kenya observed that most farmers in rural areas produce lower volumes of relatively low-value and less perishable marketed surpluses than their peri-urban counterparts. They also sell mainly at the farm gate and in rural markets. Only a small proportion of the total output is taken to the more lucrative (but distant) urban markets. The study showed that distance indeed confines rural farmers to the perpetual production of low-value and less perishable commodities and suggested that farm-to-market roads should be upgraded with equipped retail market centers. However, agricultural marketing may be productivity-enhancing over time. In fact, firms or farms with high productivity have tended to become highly commercialized and export-inclined (6). In their work on farm productivity and household market participation in Tanzania, Vietnam, and Guatemala, Rios *et al.* (40) asserted that enhancing market access through the construction of roads may not consistently lead to improvements in agricultural productivity. In contrast, increasing output directly through investments in irrigation equipment and improved seeds is likely to have a more consistent impact on participation.

On market infrastructure and institutional factors, Tung and Costales (49), in the study of market participation of smallholder poultry producers in northern Viet Nam, found that market infrastructure and the institutional aspects of market access are crucial for improving the opportunities of smallholders to increase market participation. However, general or local market instability, manifested in unpredictable price fluctuations, has a far larger negative impact on the livelihoods of smallholder producers than the dominance of traders. Fischer and Qaim (16) while investigating the determinants of intensity of participation in marketing asserted that participation could be expected to be driven by a clear personal benefit in terms of higher sale prices. Farmers with

lower transaction costs participated in markets and sold more because they were likely to recover their production and marketing costs (22). Distance to roads, markets, or towns, was important and farmers with the means of transportation or more labor were found to participate and sell more products. Population density positively affected market participation and sales as farmers in more densely populated areas faced greater demand for their farm produce (3). Poor infrastructure often increases the transaction costs of smallholders' market participation (5). The ease of flow of market information to the farmers in a way that enhances their information base would improve market access (46). In developing countries, agrarian rural areas are among the poorest and the largest, so strategies and policies that stimulate their participation in the market will enhance economic growth. However, agricultural households often face imperfect or incomplete markets for some goods and factors, which are then non-tradable (42) and decisions on production and consumption are no longer separable. Sadoulet and de Janvry (42) summarize the sources of such incomplete or imperfect markets including costs resulting from distance to markets, poor infrastructure, high marketing margins, imperfect information and supervision, and incentive costs. These are the reasons for the literature's interest in the effects of transaction costs on market participation (18, 23, 23, 37, 44). As a result, the reduction of transactions costs as a means of increasing market participation has been identified as a goal of development policy (13).

Significant barriers exist to entry into commercial yam markets that discourage significant sales by smallholder producers. In fact, Renkow *et al.* (39) observed that the food crop marketing system, including that for yam, has been inefficient in most African countries. As a result, farmers find it difficult to dispose of their produce at attractive prices and in places of their choice due to such perceived weaknesses. This development reduces any enthusiasm about raising production and improving supply; this often steps up food prices to consumers and restricts any increase in farm income (41). In the case of yam markets, the bulkiness of the raw materials increases the likelihood of spoilage and losses during processing or transport. The associated costs reduce the profitability of marketing yam.

## Material and Method

### Underlying theoretical background

Any decision-making process entails defining the objective, identifying possible choices, collection relevant information and drawing appropriate inferences (12).

This paper considers farmers' participation in the market and recognizes that this decision may be

made in a single or a sequential two-step process. In the sequential process, the farmers decide whether or not to participate in the market and, if they choose market participation, the next step in the decision is about the quantity to sell (5, 24, 50). Making a simultaneous decision-making means that the farmers make choices about market participation and quantity at the same time (1, 9). For more details on how farmers make sequential or simultaneous decisions to participate in the market, based on a utility model used prescriptively in decision analysis and predictively in economics, an interested reader is referred to Mignouna *et al.* (33).

In modeling the utility or satisfaction resulting from the farmers' participation in yam markets as integrated into the smallholder farming scheme, the benefits or economic values associated need to be considered. A typical smallholder-farming household seeks to participate in the commercial market to maximize a multi-dimensional objective function, including increasing incomes and food security and reducing risks (47). In the local market economy, the basic decisions are taken by individual farmers for market that lacks regulatory and advisory actions.

### Model specification

On a general note, not all households participated in yam market. This could be explained in two ways. First the farming households that did not have yam to take to market or the households that have yam but did not take it to market, for some reason like believing there are too many yam sellers in the market. The zero values in the former case are behavioral zeros related to the respondents' yam ownership decisions, while the random zeros in the latter case result from random events<sup>1</sup>. Second the generation of zero values could be related to the design of the time use survey due to the fact that the same time use questionnaire are posed to the households without initially asking whether they have yam or not.

According to Tobin (48) allowing incorporation of all observations including those censored at zero without taking into account the sources of the zeros is appropriate in handling data that have such many zeros. The Tobit model enforces assumptions that the zeros values result from other factors than non-participation decisions. The model estimator fits conceptually when we think of decisions on market participation and yam supply as being made simultaneously. Using a Tobit indicates that fixed costs associated with market participation do not significantly affect a farmer's decision to participate in commercial markets. It also means that factors affecting market participation and quantity decisions are one and the same, affecting the dependent variable in the same direction.

As opposed to the Tobit model, Heckman (19) in his model considers the zero values generated by non-participation decisions to arise mainly from respondents' self-selection.

Heckman (19) asserts that an estimation on a selected subsample results in sample selection bias. The model established a two-step estimation procedure known as heckit to solve the problem. The selection or participation equation is estimated with a Probit followed by a censored estimation carried out on the selected subsample to depict the level of participation conditional on observing positive values. The model assumes that different sets of variables could be used in the two-step estimations. The heckit model differs from the Tobit model but could be viewed as a generalized version of the Tobit approach.

Cragg (10) proposed an alternative to the Tobit model to overcome its restrictive assumption allowing a first set of parameters to control the likelihood of a limit observation, and a second to determine the density of the non-limit observations. He thus suggested the Double Hurdle (DH) approach to tackle the issue of many zeros in the data by providing distinct treatment to the participation decision. In this model, two hurdles must be crossed in order to report participation and level of participation decisions. When thinking of decisions on market participation and yam supply as a sequential process, the DH model is appropriate for analyzing the possibility that the factors influencing a farmer's decision to participate in the yam market may not affect the quantity sold. The DH model also allows us to consider that the same factor can potentially affect participation and the amount sold in different ways. We relied on this approach and estimated a DH model which combines a Probit estimation with a truncated normal regression in the second step (7). The heckit and the DH models are comparable in recognizing that the discrete (zero or positive) outcomes are governed by the selection and level decisions to participate. However, in contrast the heckit assumes that there will be no zero observations in the second stage once the first-stage selection is passed while the DH considers the possibility of zero realizations in the second-hurdle arising from the households' deliberate choices or random circumstances. In this regard, the DH model can be considered as an improvement both on the standard Tobit and generalized Tobit (heckit) models. In terms of policy relevance, our analysis clearly shows that participation and the level of participation may be different decisions and that an estimation of participation intensity on the basis of factors affecting the participation decision, as implied by other approaches, may be liable to error.

<sup>1</sup>Carlin and Flood (9) refer the presence of many zeros in the data either to censoring or to incorrect reporting, or other random effects.

The DH model has been extensively applied in several studies (27, 30-34). However, it has not been much used in the area of market participation. The DH approach implies that farmers make two decisions with regard to their decision to participate in the commercial market. The first decision is whether they will participate. The second decision is about the amount of yam that they will convey into the market, conditional on the first decision.

The two decisions are, therefore, whether to participate and how much to participate. The importance of treating the two decisions independently lies in the fact that the factors that affect a decision to participate may be different from those that affect the decision on how much to participate. The DH model allows for the possibility that these two decisions are affected by a different set of variables. The advantage with this approach is that it allows us to understand the characteristics of a class of households that would never participate. Thus, the probability of a household belonging to a particular class depends on a set of household characteristics. The DH model is a parametric generalization of the Tobit model, in which two separate stochastic processes determine the decision to participate and the level of participation. As defined from Mignouna *et al.* (33), the first equation in the DH model relates to the decision to participate and can be expressed in equation I.

$$\begin{aligned} y_i &= 1 \text{ if } y_i^* > 0 \text{ and } 0 \text{ if } y_i^* \leq 0 \\ y_i^* &= x_i' \alpha + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (I)$$

Where:

$y_i^*$  is latent participation variable that takes the value of 1 if a household participates and 0 otherwise,  $x$  is a vector of household characteristics and  $\alpha$  is a vector of parameters;

The second hurdle, which closely resembles the Tobit model, is expressed from Mignouna *et al.* (33) in the equation II:

$$\begin{aligned} t_i &= t_i^* > 0 \text{ and } y_i^* > 0 \\ t_i &= 0 \text{ otherwise} \\ t_i^* &= z_i' \beta + u_i \end{aligned} \quad (II)$$

Where:

$t_i$  is the observed response on how much yam should be conveyed to market,  $z$  is a vector of the household characteristics and  $\beta$  is a vector of parameters.

The decisions whether or not to participate in market and about how much yam to convey to market can be jointly modelled, if they are made simultaneously by the household; and independently, if they are made separately; or sequentially, if one is made first and affects the other as in the dominance model (30). If the independence model applies, the error terms are distributed in equation III.

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &\sim N(0, 1) \text{ and} \\ u_i &\sim N(0, \delta^2) \end{aligned} \quad (III)$$

If both decisions are made jointly (the Dependent DH) the error term can be defined in equation IV.

$$(\varepsilon_i, u_i) \sim BVN(0, Y) \quad (IV)$$

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & p\delta \\ p & \delta^2 \end{bmatrix}$$

Where:

The model is said to be a dependent model if there is a relationship between the decision to participate and the level of participation. This relationship can be expressed in equation V.

$$p = \frac{\text{cov}(\varepsilon_i, u_i)}{\sqrt{\text{var } \varepsilon_i \text{ var } u_i}} \quad V$$

If  $p=0$  and there is dominance (the zeros are associated only with non-participation, not standard corner solutions) then the model decomposes into a Probit for participation and a standard OLS for  $Y$ . Following Smith (52) we assume that the error terms and  $\varepsilon_i$  and  $u_i$  are independently and normally distributed and thus we have the expression in equation VI.

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_i \\ u_i \end{pmatrix} \sim N \left[ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \delta^2 \end{pmatrix} \right] \quad VI$$

And finally, the observed variable in a DH model is  $t_i = y_i$  and the log-likelihood function for the DH model is expressed in equation VII.

$$\text{LogL} = \sum_0 \ln \left[ 1 - \phi(x_i' \alpha) \phi \left( \frac{z_i' \beta}{\delta} \right) \right] + \sum \ln \left[ \phi(x_i' \alpha) \frac{1}{\delta} \left( \frac{t_i - z_i' \beta}{\delta} \right) \right] \quad VII$$

Thus in this study we estimate the decision to participate and the level of participation using a DH model.

In order to check for multicollinearity in the model, variance inflation factor (VIF) for categorical variables was estimated (17). According to Maddala (28), VIF can be defined in equation VIII.

$$VIF(X_i) = 1/(1-R_i^2) \text{ With } (1-R_i^2) = TOL(X_i) \quad (VIII)$$

Where:

$R_i^2$  is the squared multiple correlation coefficient between  $X_i$  and the other explanatory variables; TOL is Tolerance. The larger the value of VIF, the more troublesome it is.

To avoid the problem of multicollinearity, it was essential to exclude the variables with the TOL of less than 0.20 or a VIF of 5 and above (35).

Similarly, there might also be an association between dummy variables. In order to test multicollinearity problem between discrete variables, contingency coefficient (CC) which is, chi-square based measure of the relation between two categorical variables (proposed by Pearson, the originator of the Chi-square test) was computed. The values of contingency coefficient range between 0 and 1, with zero indicating no association between the variables and values close to 1 indicating a high degree of association. If the value of contingency coefficient is greater than 0.75, the variable is said to be collinear. The contingency coefficient can be defined in equation IX.

$$CC = [\chi^2 / (n + \chi^2)]^{1/2} \quad (IX)$$

Where:

CC= Contingency coefficient,  $n$ = sample size,  $\chi^2$ = Chi-square value.

### Empirical specification

We use a DH model. These decisions are made in a sequential manner and can be subject to two very different decision-making processes. Therefore, we use a set of explanatory variables. The choice of the variables used in this study is largely based on work by Bellemare and Barrett (5), Alene *et al.* (2), and Xu *et al.* (50), who extensively reviewed factors that influence farmers to participate in marketing. The set of independent variables potentially expected to influence market participation are grouped into the following classes: household characteristics, physical assets, social capital, transaction costs, livelihood development services, and regional variables. Households' background characteristics are captured by age, education, household size, and number of female in the household. The relationship with age is expected to be negative depending on the levels of development. Younger farmers are expected to be progressive, more open to new ideas, to join forces in setting up strong cooperatives and understand better the benefits of agricultural commercialization. In most cases, older farmers view farming as a way of life rather than as a business and have a strong emotional or almost biological connection with farming and the land. Intellectual capital as captured by education is expected to play a positive role in influencing market participation. The level of education gives an indication of the household's ability to process information and causes some farmers to have better access than others to understanding and interpreting information. However, the expectation may be reversed when there are competing and more remunerative employment opportunities available in the area requiring skills that are enhanced by more education (1).

Household size is included as a proxy for the availability of family labor. Household size may be relevant for attending group meetings while number of female in the household for attending market days and transporting yam, emphasizing higher probability of market participation. Therefore, a household with a large number of members is expected to produce a larger marketable output (22) hypothesized that the propensity to participate in the market economy declines with lower numbers of household members. Physical assets are captured through the storage facilities farmers own that could preserve the quality of harvested yam. Owning a storage facility is expected to exert a positive impact on both the likelihood that participation will occur and the proportion of sales that will be undertaken once the decision to participate has been made. This hypothesis is supported by Heierli and Gass (20) who argue that the acquisition and ownership of productive assets can catalyze a family to participate in economic activities.

Again, households using motorized equipment to market are likely to convey their agricultural product easily and on time to the market before it loses value. It is therefore hypothesized that such households are more likely to participate in commercialization and will have a larger quantity of yam to transport to market. Sufficient farm land is required for raising overall output with surplus for trade. This variable is measured by the size of the farm land that the household operates and is likely to be important. The larger the size of land a household uses, the higher the production levels are likely to be, and the higher the probability of market participation. However, large farms may face high transaction costs and a lack of economies of scale, leading to a lowering of the additional benefits of participation.

Non-farm activities mostly consist of non-farm employment usually available in nearby towns. Off-farm income may lead to risk-reduction in a household's decision-making and, with it, an increased propensity to undertake activities with a higher level of risk, notably selling crops or producing for the market.

Membership in yam producer and marketing groups/cooperatives is another construct of transaction costs as applied in the study. Membership has been linked to a variety of outcomes which can improve smallholders' market power and ensure a more equitable distribution of benefits (25) and it is through networks that information and other resources can be transmitted (43).

Membership strengthens farmers' bargaining and lobbying power and facilitates coordination and the obtaining of institutional solutions to some problems (32). This variable is expected to have a positive impact on market participation.

However, membership could be a limiting factor as an indication of other preoccupations that are taking members away from commercialization. This could generate unsuccessful group action (29, 38).

Transaction costs are hypothesized to impede market participation because they impose added cost burdens on the efficient conduct of market entry activities. The following factors were used to capture the transaction costs variable: distance from residence to farm, access to market information, and price factor.

Distance from residence to farm is a proxy for the time and cost of transportation. The proximity reflects how far farmers have to travel to reach the farm. Thus, the further away a household is from the farm, the higher the transaction costs of obtaining a farm outlet (26, 24, 5). A long distance from residence to farm is expected to influence market participation negatively. Another variable used as a proxy for transaction costs is access to information on output markets and prices. Marketing efficiency is hindered by delay and difficulty in obtaining information which increases transaction costs by raising search and bargaining costs. Therefore, access to market information becomes crucial in capturing the information relevant to predict market participation. Small-scale farmers are often not aware of prices and market opportunities for their yam and find it difficult to participate in alternative markets. Access to such information is hypothesized to influence market participation positively.

The price factor influences market participation positively as pointed out by (2) and (11). The output price is an incentive to sellers to supply more in the market. The final construct of transaction costs applied in the study is the country dummy that is included in the analyses to capture differences that might arise due to diversity in human, economic, and ecological conditions among households located in both countries.

### Sampling and data collection

This study was conducted in Nigeria and Ghana. In both countries, yam is a food and cash crop; it plays an important role in food security and in the livelihoods of close to 60 million people. The crop is cultivated mostly in the Derived, Humid and Southern Guinea Savannah agro-ecologies. About 48 million tons of yams (95 percent of global supply) are produced on 4 million hectares annually in West Africa with Nigeria and Ghana constituting major share. This study employed primary data collected from farming households in Nigeria and Ghana. The household survey was carried out between May and September 2012.

Using a carefully designed and tested questionnaire, we conducted structured, household-level interviews with yam growers in communities classified as yam-growing areas. A multistage, random sampling procedure was adopted to get the total sample size of

1400 households from both Nigeria and Ghana which were selected with equal probability from each community. The first stage involved a purposive selection of eight states in Nigeria and five districts in Ghana based on high yam production potential in the two countries. Afterwards, based on probability proportional to the level of yam production and number of communities in each state/district, 200 and 100 communities were selected in Nigeria and Ghana, respectively. Finally, a total selection of 800 households in Nigeria and of 600 households in Ghana was made from all communities with an equal probability of selection (33). In selecting the households, a sampling frame consisting of all households in the surveyed communities was developed by extension agents in collaboration with community heads. Then a random selection of farm households was achieved through a random number generator using Microsoft Excel. Under simple random sampling, at the 95% confident level desired, the sample size  $n$  must satisfy the equation X.

$$n \geq \frac{Z_{0.95}^2 NP(1-P)}{(N-1)e^2 + Z_{0.95}^2 P(1-P)} \Rightarrow n \geq \frac{Z_{0.95}^2 P(1-P)}{e^2} \quad (X)$$

if  $N > 10,000$

Where:

$Z$  = value of the standard variate at a given confidence level and to be worked out from the table showing the area under normal curve, at 1.96 corresponding to 95% confidence level;

$N$  = Total population

$$n \geq \frac{(1.96)^2 \times 0.45 \times 0.45 \times 0.55}{0.05^2}$$

$n \geq 380$  Provided that response rate is 100%

$n_{srs} = 380/r = 380/0.95 = 400$  given 95% response rate.

Under cluster sampling, for the results to be useably reliable, we apply a default value of design effect<sup>2</sup> of 2.0 in Nigeria and 1.5 in Ghana is expressed in equation XI.

$$n_{cls} = x \ n_{srs} \quad (XI)$$

Where:

$n_{cls}$  = Sample size under cluster sampling;  
 $\delta$  = Design effect, given the default effect  $\delta = 2.0$  for Nigeria and 1.5 for Ghana (United Nations 2005);

$n_{cls}$  (Nigeria) =  $2.0 \times 400 = 800$

$n_{cls}$  (Ghana) =  $1.5 \times 400 = 600$

The extent of market participation was captured by the proportion of quantity of yam produced that ended up being sold for each household. For all the households across Nigeria and Ghana, about 55% of the yam production was marketed, with zero as the lowest registered and almost the total production (99.92%) as the highest percentage marketed (Table 1). This is reflective of the importance of yam as a main source of income in the region. The average age of the farmers was 50 years, an indication that most of them are still economically active with strength and ability to carry out agricultural activities. Availability of labor for farming (especially family labor) was indicated by the large size of households (10). Illiteracy was frequent in both countries, as most farmers did not complete six years of primary education. The farmers cultivate small plots of land with an average size of about 2.5 ha. Access to non-farm credit was extremely low as a sizeable proportion of the respondents claimed that they had never had access to loan facilities from any formal or informal institutions. The yields obtained from the farms vary from farmer to farmer but are low on average (about 9 t/ha).

The econometric estimation results of output market participation among households using the DH of (10) are discussed in this section. Correlates are hypothesized of yam market participation (whether a household sold yam) and extent of participation (the proportion of yam sold) are hypothesized variables focused on existent literature of interest which will inform conclusions for this. The estimation was done separately for each of Nigeria and Ghana before being pooled together. Based on relevant statistical tests as evidenced by the values of Wald  $\chi^2$  and Log Likelihood as well as signs and magnitude of the estimates, the pooled regression made better statistical sense and was therefore used in explaining market participation decisions.

The Probit results on the decision to participate in markets and truncated regression analysis results on the extent of market participation for the three regressions are presented (Table 2).

## Results

Age was negative and insignificant in influencing market participation but significant in affecting the extent of participation, meaning that more of the younger people participated in yam marketing. Similarly, number of females was negative but insignificant in influencing decision and extent of market participation. Education was negative and significantly related to decision to participate in yam market.

Farm size was positively and significantly associated with a higher probability of participating in the yam market. In addition, farm size positively and significantly influenced marketed volumes for yam. This is in agreement with the a priori expectation. The result also showed that the yield of yam was positively and significantly related to the probability of participating in marketing activities. The higher the yam yields the greater the tendency for the farmers to sell yam. After the decision to participate in the market has been made, yield has a significant influence on the proportion of yam sold. Membership of a yam producer and marketing group/cooperative society was positively associated with the extent of participation in the yam market. After the decision to participate has been made, membership has a significant influence on the share allocated for sale. Contrary to expectations, the price for yam was negatively, albeit insignificantly, associated with the decision to sell. This is in agreement with the findings of Mathenge *et al.* (31).

The country variable is significantly and positively associated with both market participation and the extent of participation. This underscores the associated socioeconomic and population-related factors that are more available and evident in Nigeria and cumulate in higher demand for the yam crop there.

<sup>2</sup>A design effect represents the combined effect of a number of components such as stratification, clustering, unequal selection probabilities, and weighting adjustments for non-response and non-coverage. Specific design effect has been applied for Nigeria and Ghana due to the different form of complex sample design employed.

**Table 1**  
Descriptive statistics

Variables	Symbol	Obs.	Mean	Std. Dev.
<i>Dependents</i>				
Yam market participation (=1 if the household sold yam; 0 otherwise)		1400	0.97	0.17
Proportion of yam sold		1400	55.32	25.76
<i>Independents</i>				
Age of the household head (years)	AGE	1400	50.09	14.29
Education status (=1 if the head has 6 years of schooling or more; 0 otherwise)	EDUCS	1400	0.46	0.50
Number of female in the household	NFEM	1400	4.51	2.62
Household size (number)	HSIZE	1400	10.02	5.61
Total farm size (ha)	TFSIZE	1400	2.51	1.16
Yam yield (kg/ha)	YYIELD	1379	8932	12203
Average price at which each unit of yam is sold (\$/kg)	PRICE	1400	0.49	0.44
Off-farm income (in \$US)	OFF-INC	1400	413.88	1358.33
Access to output markets and prices (=1 if household has access; 0 otherwise)	AOMP	1400	0.11	0.32
Membership of yam producer and marketing group/cooperative (=1 if a member; 0 otherwise)	MBER	1400	0.03	0.17
Yam storage facility ownership (=1 if household has a storage room, yam barn, or raised huts; 0 otherwise)	YSFO	1400	0.54	0.50
Means of transport used from residence to market (=1 if use motorized equipment; 0 otherwise)	MTUM	1400	0.57	0.50
Distance from residence to farm (in minutes of walking time)	DISTF	1391	43.53	44.42
Country (=1 for Nigeria and 0 for Ghana)	CTRY	1400	0.57	0.50

**Table 2**  
Estimates of Double-Hurdle Model of Determinants of yam market participation decision and degree of participation

Variable	NIGERIA		GHANA		POOL	
	Coefficient	Z- value	Coefficient	Z- value	Coefficient	Z- value
First Hurdle						
AGE	-0.00034	-0.04	-0.01205	-1.59	-0.00711	-1.38
NFEM	-0.09968	-1.57	-0.02261	-0.29	-0.06819	-1.38
EDUCS	-0.24161	-0.96	-0.32342	-1.33	-0.29410**	-1.72
HSIZE	0.02231	0.61	0.03174	0.68	0.03487	1.17
TFSIZE	0.08444	0.84	0.26693***	2.67	0.17629***	2.54
PRICE	-0.16912	-0.69	-0.37952	-1.45	-0.24941	-1.42
MBER	3.32360	0.02	-0.31452	-0.55	0.13125	0.28
DISTF	0.00026	0.09	0.00083	0.33	0.00110	0.58
MTUM	0.01745	0.07	-0.36826**	-1.73	-0.19923	-1.28
YYIELD	0.00003**	1.76	0.00004**	1.67	0.00003***	2.36
OFF-INC	3.77e-07	0.07	0.00022	0.89	6.59e-06	0.17
AOMP	0.05079	0.12	0.00882	0.03	0.00447	0.02
CTRY	-	-	-	-	0.40899***	2.30
CONSTANT	2.14636***	3.57	1.77728***	3.19	1.79255***	4.65
Second Hurdle						
AGE	-0.17008***	-2.67	-0.11565	-1.49	-0.13937***	-2.81
NFEM	-0.03096	-0.07	-0.76202	-1.21	-0.32086	-0.89
EDUCS	-0.86820	-0.47	2.02278	0.77	0.26102	0.17
HSIZE	0.05943	0.29	0.34455	1.17	0.16943	0.99
TFSIZE	0.87674	1.14	0.90772	0.89	0.76689	1.24
MBER	7.39265**	1.73	6.80771	0.85	8.15127***	2.11
DISTF	0.03053	1.46	-0.06612***	-2.87	-0.01889	-1.23
MTUM	-1.27318	-0.69	-4.18795**	-1.90	-2.43567**	-1.71
YYIELD	0.00068***	9.04	0.00031***	3.94	0.00049***	8.93
OFF-INC	9.94e-06	0.82	-0.00025	-1.52	7.12e-06	0.57
AOMP	-2.94375	-0.94	0.70747	0.23	-0.37325	-0.17
YSFO	-4.97950***	-2.47	2.26733	0.87	-2.51182	-1.55
CTRY	-	-	-	-	6.37639***	3.52
CONSTANT	62.0677***	12.83	57.97048***	10.65	56.33972***	16.15
Sigma	22.97337***	35.90	24.27748***	28.56	23.84733***	45.73
Number of obs	790	582	1372			
Wald chi2 (12)	8.49	18.15	23.68			
Prob>chi2	0.7461	0.1113	0.0342			
Log likelihood	-3572.89	-2626.7816	-6224.6287			

\* P < 0.01, \*\*P < 0.05, \*\*\*P < 0.10

## Discussions

The rationale behind greater participation of younger farmers than older ones was that younger people tend to be energetic and risk takers. Results implies that more the education, the less the willingness to sell yam by farming households. The tendency could be attributed to improved understanding of storage and possession of better storage facilities by seemingly educated yam farmers. Moreover, the findings show that farmers with large farms produce beyond what they use for home consumption. An increase in farm size naturally implies an increase in output. This underscores the constraints that farmers who happen to have farms of smaller sizes face in getting access to markets due perhaps to their inability to produce a marketable surplus. Also, increased productivity which correlates with positively with market participation could be due to a larger marketed surplus of yam which could drive the commercialization of other crops. Consequently, engendering the potential to release some forest and other resources tied up in subsistence farming. Importance of social capital in the volume of yam sold by the poor smallholder farmers indicates that facilitating and strengthening social institutions such as farmers' cooperative society is a potent factor that could drive increased market participation of the yam farming households. A possible explanation for this unexpected behavior in the sign of price could be connected with the status of the households as net buyers of food crops. A high price could stimulate farmers to keep as much yam as possible on the farm to prevent significant spending on the food crop. Moreover, resource-poor households do participate in the market immediately after harvest when the prices are low and purchase at other times when prices are high. Another reason is the fluctuation in prices occasioned by a lack of storage facilities and high perishability of yam crop. Large population and state of yam market in Nigeria underscore increased tendency of market participation in Nigeria than Ghana.

## Conclusion

Yam was the main source of income for most smallholder farmers in the region and stimulating increased participation by small scale yam farmers is becoming crucial to reach considerable gains. Evidently there exists significant obstacles that impede number of potential beneficiaries in their quest to participate in the yam market. This study, thus, examined the underpinning drivers of market participation among small-scale yam farmers in the yam sector. The DH estimation reveals that market participation is governed by two independent decisions: the decision to participate in the market and the decision on the extent of participation. The estimation results show that these two separate decisions are determined by different sets of factors. Non-price constraints played a significant role in determining decisions on market participation. Education of household head, farm size, yam yield, and country-specific variable were found to influence the decision to participate. Age of the household head, membership of a yam producer and market group/cooperative, yam yield, distance from farm to residence, means of transport used from residence to market and country variable influenced the extent of participation. Therefore, the study suggests policy thrust aimed at large scale yam production to increasing market participation of farming households. Consideration should be given to creation of enabling environment to generate adequate marketable surplus to make market participation possible and valuable. Moreover, improving productivity of farmers will not only increase the probability of market participation but also the volumes of produce offered for sale in the market. The productivity gains could be addressed through development and deployment of improved seed yam varieties and associated crop management practices to farming households. Better disease and pest management approaches could also ameliorate shortages that hamper productivity. Concerted efforts should also be made to encourage farmers to form farming organization that would afford them synergy of activities to pull resources and produce together for active participation in commercialization of yam. Drawing from above, policies that reduce transactions costs and induce farmers to commercialize could be critical alternatives to policies based on price to promote a marketed surplus and the commercialization of agriculture as a way-in for welfare gain and a way-out of poverty.

## Literature

1. Abdoulaye T. & Sanders J.H., 2005, Stages and Determinants of Fertilizer Use in Semiarid African Agriculture: The Niger Experience, *Agric. Econ.*, **32**, 167-179.
2. Alene A.D., Manyong V.M., Omanyua G., Mignouna H.D., Bokanga M. & Odhiambo G. 2008, Smallholder market participation under transactions costs: Maize supply and fertilizer demand in Kenya, *Food Pol.*, **33**, 4, 318-328.
3. Balint B. & Wobst P., 2005, Institutional factors and market participations: The case of Romania, *Int. Food Pol. Res. Inst.*, **48**, 223-224.
4. Barrett C.B., 2007, *Displaced Distortions: Financial Markets Failures and Seemingly Inefficient Resource Allocations in Low-Income Rural Communities*. Paper presented in Seminar on Resource Allocation among Low-Income Farmers, Cornell University, 12-15 December 2007.
5. Bellemare M. & Barrett C., 2006, An Ordered Tobit Model of Market Participation: Evidence from Kenya and Ethiopia, *Am. J. Agric. Econ.*, **88**, 2, 324-337.
6. Bernard A.B. & Jensen J.B., 1999, Exceptional Exporter Performance: Cause, Pathway, or Both?, *J.Int. Econ.*, **47**, 1, 1-25.
7. Burke W.J., 2009, Fitting and Interpreting Cragg's Tobit Alternative Using Stata, *Stata J.*, **9**, 4, 584-592.
8. Carlin P. & Flood L., 1997, Do Children Affect the Labor Supply of Swedish Men? Time Diary vs. Survey Data, *Labour Econ.*, **4**, 167-183.
9. Chirwa E.W., 2005, Adoption of Fertilizer and Hybrid Seeds by Smallholder Maize Farmers in Southern Malawi, *Dev. South Afr.*, **22**, 1-12.
10. Cragg J.G., 1971, Some Statistical Models for Limited Dependent Variables with Application to the Demand for Durable Goods. *Econometrica*, **39**, 5, 829-844.
11. Cunningham L.T., Brown B.W., Anderson K.B. & Tostao E., 2008, Gender differences in marketing styles. *Agric. Econ.*, **38**, 1, 1-7.
12. Dams T., Kenneth E. & Hunt E.K., 1978, *Decision Making and Agriculture*, University of Nebraska Press Publication, 603pp.
13. Delgado C., 1995, *Africa's Changing Agricultural Development Strategies: Past and Present Paradigms as a Guide to the Future*, IFPRI, Washington D.C., USA.
14. FAO, 2009, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. On-line and Multilingual Database <http://faostat.fao.org/>
15. FAO, 2013, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. On-line and Multilingual Database <http://faostat.fao.org/>
16. Fischer E. & Qaim M., 2011, *Smallholder Farmers and Collective Action: What Determines the Intensity of Participation?* Proceedings of the German Development Economics Conference, Berlin 2011, No. 28. Available at: <http://hdl.handle.net/10419/48336>
17. Fox J. & Monette G., 1992, Generalized Collinearity Diagnostics. *J. Am. Stat. Assoc.*, **417**, 178-183.
18. Goetz S.J., 1992, A Selectivity Model of Household Food Marketing behavior in sub-Saharan Africa, *Am. J. Agric. Econ.*, **74**, 2, 444-452.
19. Heckman J., 1979, Sample selection bias as a specification error, *Econometrica*, **47**, 1, 153-161.
20. Heierli U. & Gass T., 2001, *Enhancing employment and income generation in rural areas*. Paper submitted to the Operations Committee of the Swiss Agency for Development and Cooperation (DEZA) 11 October 2001 [online]. [www.deza.admin.ch/themen](http://www.deza.admin.ch/themen) (Accessed 02/06/2014).
21. Heltberg R. & Tarp F., 2001, Agricultural Supply Response and Poverty in Mozambique. Presented Paper at the Conference on Growth and Poverty at WIDER. 25-26 May 2001, Institute of Economics, University of Copenhagen.
22. Holloway G.J., Nicholson C., Delgado C., Ehui S. & Staal S., 2000, Agroindustrialization through Institutional Innovation: Transaction Costs, Cooperatives and Milk Market Development in the East African Highlands, *Agric. Econ.*, **23**, 279-288.
23. Holloway G.J., Nicholson C., Delgado C., Staal S. & Ehui S., 2004, A revised Tobit Procedure for Mitigating Bias in the Presence of Non-Zero Censoring with an Application to Milk Market Participation in the Ethiopian Highlands, *Agric. Econ.*, **3**, 97-106.
24. Holloway G.J., Barrett C.B. & Ehui S., 2005, The Double-Hurdle Model in the Presence of Fixed Costs, *J. Int. Agric. Trade & Dev.*, **1**, 17-28.
25. Key N. & Runsten D., 1999, Contract farming, smallholders and rural development in Latin America: the organization of agroprocessing firms and the scale of outgrower production, *World Dev.*, **27**, 2, 381-401.
26. Key N., Sadoulet E. & de Janvry A., 2000, Transaction costs and agricultural household supply response, *Am. J. Agric. Econ.*, **82**, 1, 245-259.
27. Langyintuo A.S. & Mungoma C., 2008, The effect of household wealth on the adoption of improved maize varieties in Zambia, *Food Pol.*, **33**, 6, 550-559.
28. Maddala G.S., 1992, *Introduction to Econometrics*. Second Edition. New York: Macmillan Publishing Company. 631pp.
29. Markelova H., Meinzen-Dick R. Hellin, J. & Dohrn S., 2009, Collective action for smallholder market access, *Food Pol.*, **34**, 1, 1-7.
30. Martínez Espifeira R., 2006, A Box-Cox double-hurdle model of wildlife valuation: the citizen's perspective, *Ecol. Econ.*, **58**, 1, 192-208.
31. Mathenge M., Place F., Olwande J. & Mithoefer D., 2010, *Participation in Agricultural Markets among the Poor and Marginalized: Analysis of Factors Influencing Participation and Impacts on Income and Poverty in Kenya, a study report*. Tegemeo Institute of Agricultural Policy and Development, Nairobi, Kenya.
32. Matungul P.M., Lyne M.C. & Ortmann G.F., 2001, Transaction costs and crop marketing in the communal areas of Impendle and Swayimana, KwaZulu Natal, *Dev. Southern Afr.*, **18**, 3, 347-363.
33. Mignouna D.B., Abdoulaye T., Akinola A., Kamara A.Y., & Oluoch M., 2016, Understanding market participation choices and decisions of maize and cowpea farmers in Northern Nigeria, *Tropicicultura*, **34**, 1, 26-39.
34. Moffatt P.G., 2003, *Hurdle models of loan default*. School of Economic and Social Studies University of East Anglia. Available on-line at <http://www.crc.ems.ed.ac.uk/conference/presentations/moffat.pdf>

35. O'Brien R.M., 2007, A Caution Regarding Rules of Thumb for Variance Inflation Factors, *Qual. Quant.*, **41**, 5, 673- 690.
36. Omiti J.M., Otieno D.J., Nyanamba T.O. & Mccullough E., 2009, Factors Influencing the Intensity of Market Participation by Smallholder Farmers: A Case Study of Rural and Peri-urban areas of Kenya, *Afjare*, **3**, 1, 57-82.
37. Poulton C., Kydd J. & Dorward A., 2006, Overcoming market constraints on pro-poor agricultural growth in sub-Saharan Africa, *Dev. Pol. Rev.*, **24**, 3, 243-277.
38. Poulton C., Dorward A. & Kydd J., 2010, The future of small farms: New directions for Services, institutions, and intermediation, *World Dev.*, **38**, 10, 1413-1428.
39. Renkow M., Hallstrom D.G. & Karanja D.D., 2004, Rural Infrastructure, Transactions Costs and Market Participation in Kenya, *J. Dev. Econ.*, **73**, 1, 349-367.
40. Rios A.R., Masters W.A. & Shively G.E., 2009, *Farm Productivity and Household Market Participation: Evidence from LSMS Data*. [http://www.agecon.purdue.edu/staff/shively/RMS\\_IAAE.pdf](http://www.agecon.purdue.edu/staff/shively/RMS_IAAE.pdf) (Accessed May 2010).
41. Rosegrant M.W., Cline S.A., Li W., Sulser T.B. & Velmonte-Santos R.A., 2005, *Looking Ahead. Long-term Prospects for Africa's Agric.* Paper presented in a Seminar on 2020 Development and Food Security in Washington, D.C., 12-15 2005.
42. Sadoulet E. & de Janvry A., 1995, *Quantitative Development Policy Analysis*. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press.
43. Sharp J.S. & Smith M.B., 2003, Social capital and farming at the rural-urban interface: the importance of non-farmer and farmer relations, *Agric. Syst.*, **76**, 913-927.
44. Shilpi F. & Umali-Deininger D., 2008, Market facilities and agricultural marketing: Evidence from Tamil Nadu, India, *Agric. Econ.*, **39**, 281-294.
45. Smith M.D., 2003, On dependency in Double-Hurdle models. *Stat. Pap.*, **44**, 4, 581-595.
46. Stifel D. & Sahn D. E., 2003, Employing alternative measures of welfare in the absence of expenditure data. Review of income and wealth, *Int. Food Pol. Res. Inst.*, **49**, 463-489.
47. Strauss D., Bednar L. & Mees R., 1989, Does one percent of forest fires cause ninety-nine percent of the damage? *For. Sci.*, **35**, 319-328.
48. Tobin J., 1958, Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables. *Econometrica*, **26**, 24-36.
49. Tung D.X. & Costales A., 2007, *Market Participation of mallholder Poultry Producers in Northern Viet Nam*. Pro-Poor Livestock Policy Initiative (PPLPI) Research Report, March 2007, 14 pp.
50. Xu Z., Burke W.J., Jayne T.S. & Govereh J., 2009, Do Input Subsidy Programs Crowd In or Crowd Out Commercial Market Development? Modeling Fertilizer Use Decisions in a Two-Channel Marketing System, *Agric. Econ.*, **40**, 1, 79-94.

D. Mignouna Babatima, Togo, PhD, Regional Economist, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Nigeria.

T. Abdoulaye, Niger, PhD, Outcome/Impact Socio-Economist, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Nigeria.

A.A. Akinola, Nigeria, PhD, Agricultural Economist, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Nigeria, Obafemi Awolowo University, Nigeria.

A. Alene, Ethiopia, PhD, Impact Assessment Economist, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Malawi.

A. Oparinde, Nigeria, PhD, Agricultural Economist, International Food Policy Research Institute (IFPRI), U.S.A..

M.V. Manyong, RDC, PhD Director R4D for Eastern Africa, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Tanzania.

N. Maroya, Benin, PhD, YIIFSWA Project leader, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Nigeria.

R. Asiedu, Ghana, PhD, Director R4D for West Africa, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Nigeria

## Inventaire préliminaire des macromycètes du Parc National Fazao-Malfakassa du Togo, Afrique de l'Ouest

H. Kamou<sup>1\*</sup>, K.A. Gbogbo<sup>1</sup>, S.N. Yorou<sup>2</sup>, P. Nadjombe<sup>1</sup>, A.G. Abalo-loko<sup>1</sup>, A. Verbeken<sup>3</sup>, A. De Kesel<sup>4</sup>, K. Batawila<sup>1</sup>, K. Akpagana<sup>1</sup> & K.A. Guelly<sup>1</sup>

**Keywords:** Fungal diversity- Ectomycorrhiza- Sudanian woodland- Gallery forest- National Park Fazao-Malfakassa- Togo

### Résumé

*Cette étude présente l'état des connaissances sur les macromycètes du Parc National Fazao- Malfakassa (PNFM) au Togo. Les sporophores ont été récoltés dans les forêts claires et dans les galeries forestières dominées par Isoberlinia spp., Monotes kerstingii, Uapaca togoensis, Uapaca guineensis et Berlinia grandiflora, arbres ectomycorrhiziens. Les spécimens collectés, séchés et conservés dans l'herbier du Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale (LBEV, Université de Lomé) ont été étudiés. Un total de 179 taxa a été identifié et réparti en 17 ordres, 28 familles et 52 genres. Ces données préliminaires confirment que le PNFM du Togo présente une diversité importante de macromycètes rares et peu connus.*

### Summary

#### Preliminary inventory of the Macromycetes from the National Park Fazao-Malfakassa (Togo, West Africa)

*This study presents the state of knowledge on the macromycetes from the Fazao- Malfakassa National Park (FMNP) in Togo. The sporophores were collected from woodlands and gallery forests dominated by Isoberlinia spp., Monotes kerstingii, Uapaca togoensis, Uapaca guineensis and Berlinia grandiflora, all ectomycorrhizal trees. The collected specimens were dried and maintained in the Herbarium of the Laboratory of Botany and Plant Ecology (LBEV, Lomé University). A total of 179 taxa has been identified and classified in 17 orders, 28 families, and 52 genera. These preliminary data confirm that the FMNP in Togo presents a large diversity of rare and little-known macromycetes.*

<sup>1</sup>Université de Lomé, Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Département de Botanique, Faculté des Sciences, Lomé, Togo

<sup>2</sup>Université de Parakou, Parakou, Bénin.

<sup>3</sup>Dpt. Biology, Ghent University, Ghent, Belgium.

<sup>4</sup>Jardin National de Belgique, Meise, Belgique.

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

## Introduction

Les champignons en général et les macromycètes en particulier, jouent un rôle important et irremplaçable dans l'écologie de tout écosystème (2). Ils contribuent de diverses manières à la survie de différents organismes (24).

Les champignons ectomycorrhiziens contribuent à la régénération des forêts naturelles et secondaires, ainsi qu'à l'équilibre environnemental (1, 3, 15).

Les connaissances sur la diversité effective des macromycètes de l'Afrique tropicale sont très fragmentaires. Toutes les études monographiques récentes de genres pourtant très fréquents comme *Lactarius*, *Lactifluus*, *Russula* et *Cantharellus* ont révélé un taux de nouvelles espèces très élevé. Ceci confirme qu'un nombre considérable d'espèces africaines reste à découvrir. En Afrique de l'ouest, quelques travaux ont mis en évidence une richesse potentielle de macromycètes croissant en symbiose avec *Azelia africana* Sm. et *Uapaca guineensis* Müll. Arg. (2, 37, 44, 48, 49). Malgré l'importance accordée à la mycologie cette dernière décennie et l'accent particulier mis sur la nécessité d'études en mycologie tropicale, les informations sur la mycodiversité et la distribution spatiale des espèces fongiques au Togo sont non seulement embryonnaires mais aussi fragmentaires (22). La plupart des informations disponibles sur les macromycètes traitent des saprotrophes et se focalisent sur les espèces comestibles (18, 21, 22). Certaines de ces études fournissent des informations ethnomycologiques basées sur des collections et enquêtes provenant de la réserve de faune d'Aledjo et du Parc National Fazao-Malfakassa (22).

Les espèces ectomycorrhiziennes ont fait l'objet de quelques travaux (25, 26, 27, 28, 29, 30, 45, 50) qui traitent les genres *Lactarius* et *Lactifluus* du Togo et d'Afrique de l'Ouest.

L'étude écologique des écosystèmes de Fazao a été amorcée par des inventaires floristiques, entomologiques, ornithologiques, qui ont progressivement montré l'originalité et la richesse potentielle de ces milieux (31), alors que les données sur la mycologie restent rares. Toutefois, le Parc Fazao-Malfakassa fait partie des parcs d'Afrique de l'ouest où la diversité des macromycètes est véritablement élevée. La présente étude a pour objectif de faire l'état des connaissances sur la richesse spécifique des macromycètes du Parc National Fazao-Malfakassa (PNFM) afin de permettre une gestion intégrée et durable des écosystèmes du parc.

## Matériel et méthode

### Milieu d'étude

Les spécimens ont été collectés au Togo, dans le Parc National Fazao Malfakassa (192 000 ha). Le Parc National Fazao Malfakassa est localisé dans la

partie Ouest centrale du Togo sur la chaîne de montagne de l'Atacora, dans la zone de transition guinéo-soudanienne, entre 8°20' et 9°30' au Nord et 0°35' et 1°02' à l'Est. Il bénéficie d'un climat tropical humide (47). On y distingue quatre types de végétations à savoir : les forêts claires, les forêts sèches, les forêts galeries et les savanes. Les forêts claires sont dominées par *Isoberlinia doka* Craib & Stapf, *Anogeissus leiocarpa* Guill. & Perr., *Detarium microcarpum* Guill. & Perr., *Monotes kerstingii* Gilg et *Uapaca togoensis* Pax, *Azelia africana*, *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel. Les forêts sèches sont dominées par *Anogeissus leiocarpa* et *Bequartiodendron oblanceolatum* (S. Moore) Heine & J. H. Les forêts galeries sont constituées de *Berlinia grandiflora* Hutch. & Dalziel, *Uapaca guineensis* Müll. Arg. et *Khaya senegalensis* A. Juss. Les savanes sont dominées par les *Andropogonae* mais aussi des espèces du genre *Hyparrhenia*. La figure 1 indique la localisation du Parc National Fazao Malfakassa.

### Collecte des données

Les spécimens ont été récoltés de 2006 à 2015 dans le PNFM. Les collectes sont effectuées en saison pluvieuse, soit de mai à octobre, la période favorable à la poussée des champignons. Tous les macromycètes ont été ramassés, photographiés ex-situ avec un appareil photo de marque Olympus x D Image Carte (la maison d'édition: OLYMPUS IMAGING AMÉRIQUE INC) et les coordonnées géographiques ont été relevées avec l'aide d'un GPS de type Garmin eTrex® 20x. Les caractères morphologiques ont été relevés suivant un protocole standard élaboré dans (13) et (16). Les spécimens ont été séchés à partir d'un séchoir de terrain (12) pendant 24 heures à 60°C. Les spécimens séchés ont été emballés dans des sachets en plastique transparent de type Minigrip (16). Les spécimens séchés sont conservés à l'herbarium togoense de l'Université de Lomé (TOGO) (36).

### Traitement des données

L'étude macroscopique a été complétée par les examens microscopiques des spécimens. Les examens microscopiques ont ciblé principalement les spores, les basides, les cystides, la présence éventuelle de boucles, structure de la trame et structure du revêtement piléique. La plupart de ces éléments anatomiques ont été observés dans une solution de Rouge Congo Ammoniacal (composition voir dans 16) et dessinés au grossissement x100 à l'aide d'un microscope Olympus CX21 muni d'une chambre claire. L'identification s'est basée sur les documents publiés (6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 16, 20, 22, 30, 34, 50). Les noms acceptés suivent [www.indexfungorum.org](http://www.indexfungorum.org).

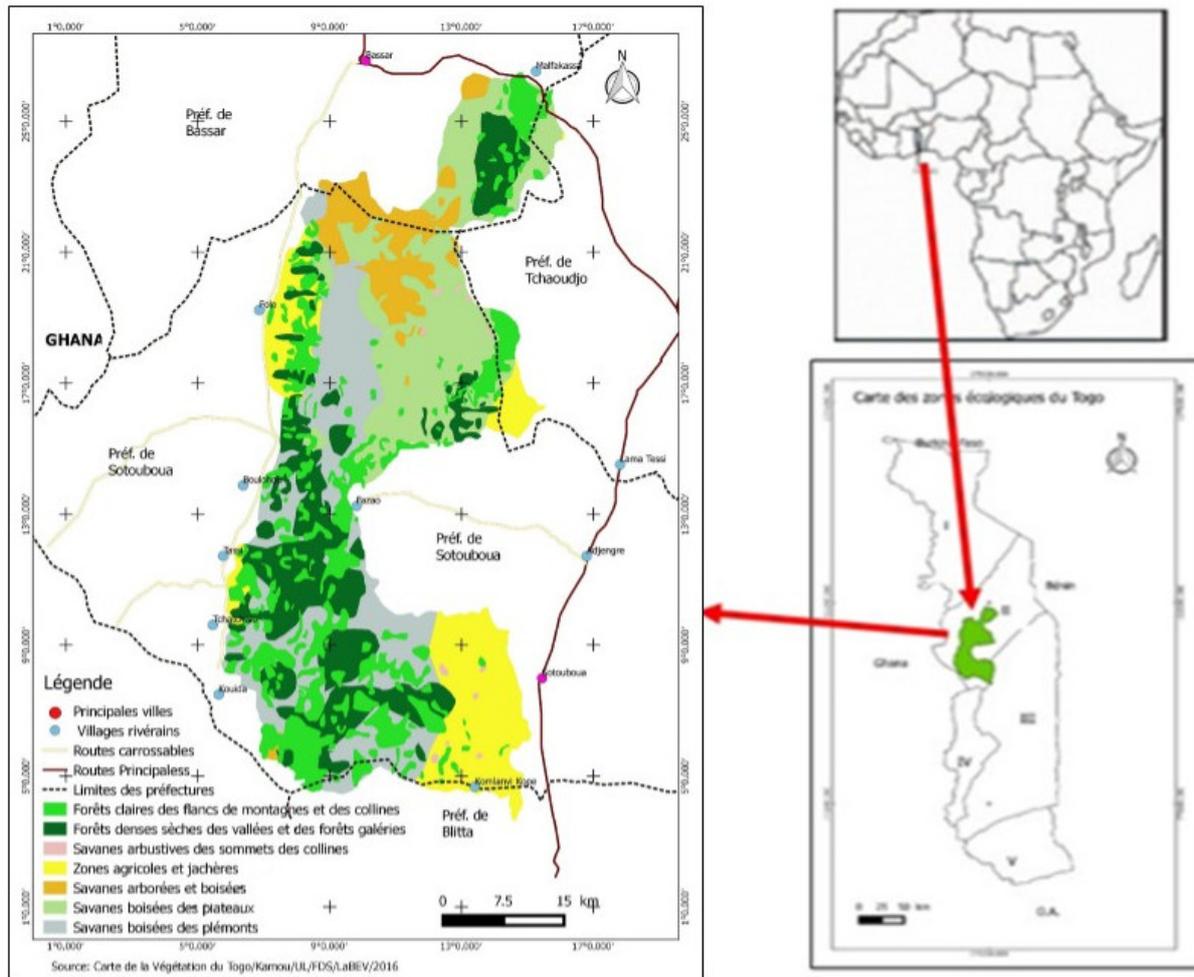


Figure 1: Localisation du Parc National Fazao Malfakassa.

**Résultats**

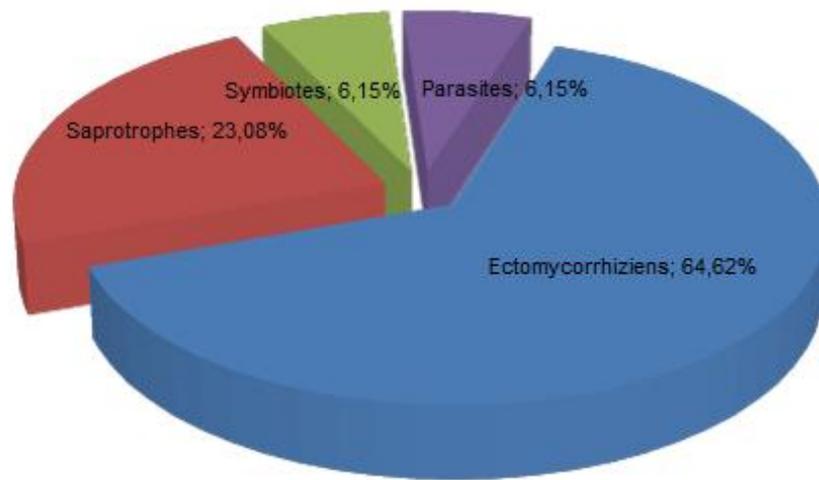
**Diversité des macromycètes du Parc National Fazao Malfakassa**

Le tableau 1 présente la liste de 179 taxa identifiées dont 4 ascomycètes et 175 basidiomycètes du Parc National Fazao Malfakassa. Dans la checklist, ces taxa sont repartis en 52 genres et 28 familles et 17 ordres. Le tableau 2 présente la diversité des macromycètes du Parc.

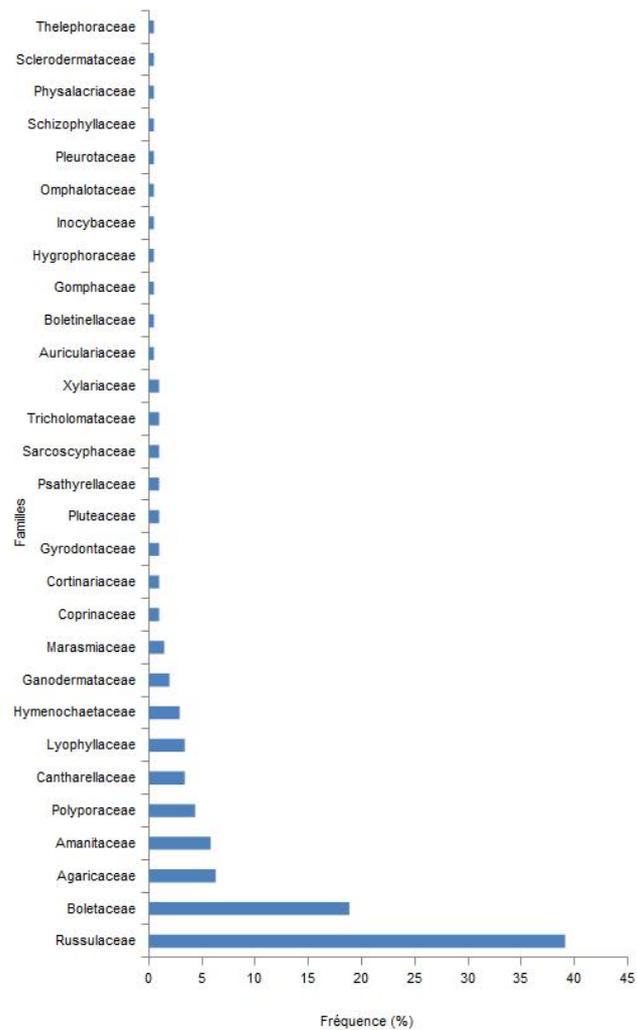
La figure 2 présente la répartition des taxa ramassés suivant leurs groupes fonctionnels. Il ressort de cette figure que les taxa ectomycorrhiziens sont les plus dominants, et constituent 65% de l'ensemble, contre 23% des saprotrophes, 6% des parasites et 6% des symbiotes. Les familles les plus représentées sont les Russulaceae (34,29%) et les Boletaceae (12,50%) (Figure 3). Le tableau 2 présente le checklist des taxa identifiés.

**Tableau 1**  
Diversité des macromycètes du Parc National Fazao Malfakassa

Phyla	Ordres	Familles	Genres	Taxa identifiés
Ascomycota	2	2	3	4
Basidiomycota	14	26	49	175
Total	17	28	52	179



**Figure 2:** Répartition des taxa récoltés en fonction de l'écologie.



**Figure 3:** Fréquence des familles.

**Tableau 2**  
Listes des espèces identifiées dans le Parc

Espèces	Ordres	Familles	Ecologie	Numéro d'herbiers	Références	Biotopes	Points GPS
<i>Afroboletus costatisporus</i> (Beeli) Watling	Boletales	Boletaceae	Ecto	C1814		FCIU	N09°10'40,3" ; E0°39'06,5"
<i>Afroboletus luteolus</i> (Heinem.) Pegler & T.W.K. Young	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK325, C3076, C3141		FCIU	N09°11'40,3" ; E0°59'06,9"
<i>Agaricus bingensis</i> Heinem.	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	C1533	De Kesel et Guelly, 2007	FC	N 8°44'30" E 0°48'17"
<i>Agaricus brunneopictus</i> Berk. & Broome	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	ADK4416		FC	N8°41,687' E0°46,530'
<i>Agaricus campestris</i> Heinem. & Gooss.-Font	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	C1501	De Kesel et Guelly, 2007	FC	N 8°44'29" E 0°48'16"
<i>Agaricus kivuensis</i> Heinem. & Gooss.-Font.	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	CK0180		FC	N 8°42'31" E 0°48'13"
<i>Agaricus ochrascens</i> Heinem. & Gooss.-Font.	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	CK0017	De Kesel et Guelly, 2007	FC	N 8°44'29" E 0°48'16"
<i>Agaricus subsaharianus</i> L.A. Parra, Hama & De Kesel	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	C3171	Yorou <i>et al.</i> , 2014	FC	N 8°44'29" E 0°48'16"
<i>Agaricus trisulphuratus</i> Berk.	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	CK0053	Kamou, 2012	FCIU	N 8°44'29" E 0°48'16"
<i>Agaricus volvatulus</i> Heinem. & Gooss.-Font.	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	C3211, C2376	De Kesel et Guelly, 2007	FCI	N 8°43'5" E 0°46'32"
<i>Amanita afrospinosa</i> Pegler & Shah-Smith	Agaricales	Amanitaceae	Ecto	CK213		FCUM, FCIUM, FCU	N 8°43'22" E 0°46'52"
<i>Amanita aurea</i> (Beeli) E.-J. Gilbert	Agaricales	Amanitaceae	Ecto	CK0147	De Kesel <i>et al.</i> , 2002	FCU, FGU	N 8°43'19" E 0°46'53"
<i>Amanita aureofloccosa</i> Bas	Agaricales	Amanitaceae	Ecto	CK0135	Yorou <i>et al.</i> , 2014	FCU, FGBU	N 8°43'18" E 0°46'55"
<i>Amanita crassiconus</i> Bas	Agaricales	Amanitaceae	Ecto	CK0137	Nadjombe, 2012	FGBU, FCI, FCUM, FCIUM, FCU	N 8°43'18" E 0°46'56"
<i>Amanita loosii</i> Beeli	Agaricales	Amanitaceae	Ecto	CK0013	Kamou, 2012; Kamou <i>et al.</i> , 2015	FCI, FCIUM, FCM, FCUM	N 8°43'18" E 0°46'56"
<i>Amanita masasiensis</i> Härk & Saarim.	Agaricales	Amanitaceae	Ecto	CK0148	Kamou, 2012; Yorou <i>et al.</i> , 2014, Kamou <i>et al.</i> , 2015	FCI, FCIUM, FCM, FCUM	N 8°43'18" E 0°46'57"
<i>Amanita pulverulenta</i> Beeli	Agaricales	Amanitaceae	Ecto	CK0155, C2326	De Kesel et Guelly, 2007 Kamou, 2012; Yorou <i>et al.</i> , 2014, Kamou <i>et al.</i> , 2015	FGBU, FCI	N 8°45'3" E 0°48'40"
<i>Amanita rubescens</i> Pers. s.l.	Agaricales	Amanitaceae	Ecto	CK0151		FCIUM, FCIU, FCI	N 8°45'3" E 0°48'43"
<i>Amanita strobilaceovolvata</i> Beeli	Agaricales	Amanitaceae	Ecto	CK0127, CK0135		FCIUM, FCIUM	N 8°45'3" E 0°48'43"
<i>Amanita subviscosa</i> Beeli	Agaricales	Amanitaceae	Ecto	CK0026	Yorou <i>et al.</i> , 2014, Kamou <i>et al.</i> , 2015	FCU, FCIU	N 8°45'3" E 0°48'43"
<i>Amaurodon angulisporus</i> Gardt & Yorou	Thelephorales	Thelephoraceae	Ecto	C4014	Gardt <i>et al.</i> , 2011	FCI	N 8°45'3" E 0°48'42"
<i>Auricularia cornea</i> Ehrenb.	Auriculariales	Auriculariaceae	Sapro	CK0113	De Kesel <i>et al.</i> , 2002; Yorou <i>et al.</i> , 2014	FCIU	N 8°45'3" E 0°48'42"
<i>Boletellus linderi</i> Singer	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK0063	De Kesel et Guelly, 2007	FCI	N 8°40'50" E 0°45'30"
<i>Boletellus longipes</i> Heinem.	Boletales	Boletaceae	Ecto	ADK4920		FCI	N08°42,883' E0°46,554'
<i>Boletus loosii</i> Heinem.	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK0156	De Kesel et Guelly, 2008	FCIU, FCI	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Boletus pallidissimus</i> Watling	Boletales	Boletaceae	Ecto	ADK4932		FGBU	N 8°50'42" E 0°53'51"
<i>Cantharellus addaiensis</i> Henn.	Cantharellales	Cantharellaceae	Ecto	CK0011	De Kesel <i>et al.</i> , 2002, Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015 ; De Kesel et Guelly, 2008	FCIU, FCI, FCU, FGU, FGB, FGBU	N 8°53'23" E 0°58'59"
<i>Cantharellus congolensis</i> Beeli	Cantharellales	Cantharellaceae	Ecto	C3033	De Kesel <i>et al.</i> , 2002, Yorou <i>et al.</i> , 2014; De Kesel et Guelly, 2007	FGB, FGU, FGBU	N 8°53'23" E 0°58'58"
<i>Cantharellus defibulatus</i> (Heinem.) Eys-sart. & Buyck	Cantharellales	Cantharellaceae	Ecto	ADK4467		FCU	N08°43,145' E0°46,332'
<i>Cantharellus platyphyllus</i> Heinem.	Cantharellales	Cantharellaceae	Ecto	CK300	Yorou <i>et al.</i> , 2014	FCU, FCI, FCIU	N 8°52'52" E 0°58'15"
<i>Cantharellus pseudocibarius</i> Henn.	Cantharellales	Cantharellaceae	Ecto	C3563	De Kesel et Guelly, 2007	FCI, FCU, FCIU, FGBU	N 8°52'3" E 1°2'36"

<i>Chalciporus phlebopoides</i> (Heinem. & Rammeloo) Klofac & Krisai	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK0123		FCIU	N 8°52'42" E 0°57'57"
<i>Chlorophyllum molybdites</i> (G.Mey.: Fr.) Massee	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	C2003	De Kesel <i>et al.</i> , 2002 ; De Kesel et Guelly, 2008	FC	N 8°52'41" E 0°57'56"
<i>Cookeina sulcipes</i> (Berk.) Kuntze	Pezizales	Sarcoscyphaceae	Sapro	C2121	De Kesel <i>et al.</i> , 2002 ; De Kesel et Guelly, 2008	FC	N 8°52'41" E 0°57'55"
<i>Cookeina tricholoma</i> (Mont) Kuntze	Pezizales	Sarcoscyphaceae	Sapro	ADK4454		FCIU	N08°40,680' E0°45,214'
<i>Coprinellus disseminatus</i> (Pers.) J.E. Lange	Agaricales	Psathyrellaceae	Sapro	C2532		FC	N 8°52'41" E 0°57'54"
<i>Daldinia eschscholtzii</i> (Ehrenb.) Rehm	Xylariales	Xylariaceae	Sapro	C4100	Guelly, 2007	FC	N 8°53'24" E 0°59'0"
<i>Ganoderma colossus</i> (Fr.) C.F. Baker	Polyporales	Ganodermataceae	Para	CK0007		FC	N 8°53'24" E 0°59'0"
<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst	Polyporales	Ganodermataceae	Para	CK0017	Kamou <i>et al.</i> , 2015	FC	N 8°53'24" E 0°59'0"
<i>Ganoderma resinaceum</i> Boud.	Polyporales	Ganodermataceae	Para	CK0148		FC	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Ganoderma tsugae</i> Murrill	Polyporales	Ganodermataceae	Para	CK0051		FC	N 8°52'56" E 0°59'28"
<i>Gymnopilus purpuratus</i> (Cooke & Massee)	Agaricales	Hymenogastraceae	Sapro	C3516		FC	N 9°10'33" E 0°53'46"
<i>Gyroporus castaneus</i> (Bull.) Quél.	Boletales	Gyrodontaceae	Ecto	CK0135		FCI, FCU, FCIU	N 9°10'24" E 0°53'45"
<i>Hygrocybe coccinea</i> (Schaeff. ex Fr.) P. Kumm.	Agaricales	Hygrophoraceae	Sapro	CK0141	Guelly, 2007	FCI, FCIU	N 9°10'14" E 0°53'26"
<i>Hygrocybe cortinata</i> Heinem.	Agaricales	Hygrophoraceae	Sapro	CK0005		FCI	N 8°53'24" E 0°59'0"
<i>cf. Imleria badia</i> (Fr.) Vizzini	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK272		FCIU, FCI	N 8°43,306' E 0°46,73'
<i>Lactarius afroscrobiculatus</i> Verbeken & Van Rooij	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0041		FCU	N 9°10'28" E 0°53'47"
<i>Lactarius atro-olivinus</i> Verbeken & Walley	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0072	Maba <i>et al.</i> , 2015	FGBU	N 9°10'36" E 0°53'45"
<i>Lactarius baliophaeus</i> Pegler	Russulales	Russulaceae	Ecto	C2358	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCU	N 9°10'26" E 0°53'45"
<i>Lactarius kabansus</i> Pegler & Pearce	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD300	Verbeken et Buyck 2011; Maba <i>et al.</i> , 2015	FCIU	N 9°10'35" E 0°53'46"
<i>Lactarius melanogalus</i> R. Heim	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD132	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCU	N 9°10'28" E 0°53'45"
<i>Lactarius miniatescens</i> Verbeken & Van Rooij	Russulales	Russulaceae	Ecto	C3438	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCIU	N 9°10'27" E 0°53'46"
<i>Lactarius saponaceus</i> Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	ADK4292, CK285	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCU	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Lactarius subbaliophaeus</i> Maba & Yorou	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD100	Maba <i>et al.</i> , 2014	FCIU	N 9°10'31" E 0°53'46"
<i>Lactarius tenellus</i> Verbeken & Walley	Russulales	Russulaceae	Ecto	C2142, MD126, MD129, CK307	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCIU, FCU	N 9°10'31" E 0°53'46"
<i>Lactifluus acrisimus</i> (Verbeken & Van Rooij) Nuytink	Russulales	Russulaceae	Ecto	AV 11-168, AV 11-142, EDC 14-448	Verbeken et Van Rooij 2003	FGBU	N 8°52'44" E 0°57'45"
<i>Lactifluus annulatoangustifolius</i> (Beeli) Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0016	Verbeken et Buyck 2011	FCU	N 9°10'31" E 0°53'46"
<i>Lactifluus annulatoangustifolius</i> Maba	Russulales	Russulaceae	Ecto	C3478	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCU	N08°43,3'8.5"E00°46,9'8"
<i>Lactifluus chamaeleontinus</i> (R. Heim) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	C3378	Maba <i>et al.</i> , 2015	FGBU	N08°42'59" E00°46'35"
<i>Lactifluus cocosmus</i> (Van de Putte & De Kesel) Van de Putte	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD152	Van de Putte <i>et al.</i> , 2009	FGBU	N09°11,6'30"E00°59'13,4"
<i>Lactifluus densifolius</i> (Verbeken & Karhula) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	C3271	Verbeken et Buyck 2011; Maba <i>et al.</i> , 2015	FGBU	N08°42'58" E00°46'22"

<i>Lactifluus edulis</i> (Verbeken & Buyck) Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0079	Yorou <i>et al.</i> , 2014	FGBU, FCIU	N08°42'21" E00°46'22"
<i>Lactifluus emergens</i> (Verbeken) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	C2018	Maba <i>et al.</i> , 2013	FGBU, FCIU	N08°42'32" E00°45'13"
<i>Lactifluus fazaoensis</i> Maba, Yorou & Guelly	Russulales	Russulaceae	Ecto	DPM04	Maba <i>et al.</i> , 2013	FCIU,	N0°8.42'12" E0°46' 32"
<i>Lactifluus flammans</i> (Verbeken) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD124, CK301	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCIU, FGBU	N08°40'8.1" E00°45'50"
<i>Lactifluus flavellus</i> Maba & Guelly	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD393	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCU, FCM	N09°13.9'8.1" E01°11'44.2"
<i>Lactifluus foetens</i> (Verbeken & Van Rooij) Verbeken,	Russulales	Russulaceae	Ecto	C2187, ADK4411	Maba <i>et al.</i> , 2015	FGBU/FCI	N09°16'28" E01°13'21"
<i>Lactifluus guellyi</i> Maba	Russulales	Russulaceae	Ecto	C2446	Maba <i>et al.</i> , 2015	FGBU	N08°43.9'6.3" E00°47.67.4"
<i>Lactifluus gymnocarpoides</i> (Verbeken) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD318	Verbeken <i>et Buyck</i> 2011; Maba <i>et al.</i> , 2015	FCU, FCIU, FCM	N08°43.3'8.5" E00°46.9'8.0"
<i>Lactifluus gymnocarpus</i> (R. Heim ex Singer) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD157	Verbeken <i>et Buyck</i> 2011; Maba <i>et al.</i> , 2015	FCU, FCIU, FCM	N09°11'45.9" E00°59'07.7"
<i>Lactifluus inversus</i> (Gooss.-Font. & R. Heim) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD397	Maba <i>et al.</i> , 2015	FGBU	N8°42'21" N0°46'22"
<i>Lactifluus longibasidius</i> Maba & Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD156, CK309	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCIU	N08°42'11" E00°46'24"
<i>Lactifluus longipes</i> (Verbeken) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	C2445	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCIU, FGBU	N08°43.9'6.3" E0°47.6'7.4"
<i>Lactifluus luteopus</i> (Verbeken) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD102, CK308	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCU, FCIU, FCM	N08°42'21" E00°46'22"
<i>Lactifluus medusae</i> (Verbeken) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD142	Verbeken <i>et Buyck</i> 2011; Maba <i>et al.</i> , 2013	FCIU	N08°42'23" E0°46'27"
<i>Lactifluus melleus</i> Maba	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD 157	Maba <i>et al.</i> , 2015	FGBU	N08°45'24" E00°48'08"
<i>Lactifluus membranaceus</i> Maba	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0074	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCU, FCIU, FCM	N08°43'08" E00°46.5'6.8"
<i>Lactifluus nonpiscis</i> (Verbeken) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD 101	Maba <i>et al.</i> , 2015	FGBU, FCIU	N08°42'27" E00°40'35"
<i>Lactifluus pectinatus</i> Maba & Yorou	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD140	Maba <i>et al.</i> , 2015	FGBU, FGU	N08°16'12" E00°46'18"
<i>Lactifluus pelliculatus</i> (Beeli) Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0059	Maba <i>et al.</i> , 2015	FGBU	N08°42'21" E00°46'18"
<i>Lactifluus pumilus</i> (Verbeken) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0166	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCIU, FCM	N 9°10'9" E 0°53'54"
<i>Lactifluus rubiginosus</i> (Verbeken) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD 389	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCIU, FCM	N 9°10'35" E 0°53'44"
<i>Lactifluus rufomarginatus</i> (Verbeken & Van Rooij) De Crop	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0283	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCIU, FCM	N 9°10'28" E 0°53'41"
<i>Lactifluus sudanicus</i> Maba, Yorou & Guelly	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD148	Maba <i>et al.</i> , 2013	FGBU	N 9°10'27" E 0°53'49"
<i>Lactifluus togoensis</i> Maba	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0026	Maba <i>et al.</i> , 2015	FCIU, FGBU	N 9°10'27" E 0°53'46"
<i>Lactifluus volemoides</i> (Karhula) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	AV 11-134, AV 11-138, AV 11-181		FCIU, FCM	N 9°11'18" E 0°43'42"
<i>Lactifluus zenkeri</i> (Henn.) Verbeken	Russulales	Russulaceae	Ecto	MD123, MD131		FCIU, FCM	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Lentinus cladopus</i> Lév.	Polyporales	Polyporaceae	Sapro	ADK4399		FGB	N08°38,737' E0°46,010'
<i>Neonothopanus hygrophanus</i> (Mont.) De Kesel & Degreef	Agaricales	Omphotaceae	Sapro	CK0022	De Kesel <i>et al.</i> , 2002; Kamou <i>et al.</i> , 2015	FCIU	N 8°53'24" E 0°59'0"
<i>Lentinus squarrosulus</i> Mont.	Polyporales	Polyporaceae	Sapro	CK0002	De Kesel <i>et al.</i> , 2002, Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015	FCI, FCIU	N 9°10'31" E 0°43'46"
<i>Lentinus tuber-regium</i> (Fr.) Fr	Polyporales	Polyporaceae	Sapro	CK0028	De Kesel <i>et al.</i> , 2002, Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015	FCI, FCIU	N 9°10'26" E 0°53'45"
<i>Lentinus villosus</i> var. <i>villosus</i> Klotzsch	Polyporales	Polyporaceae	Sapro	CK0176	Guelly, 2006	FCI	N 8°52'52" E 0°58'15"
<i>Leucocoprinus brebisonii</i> Moser	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	C1995	Guelly, 2006 De Kesel <i>et Guelly</i> , 2008 ;	FCIU	N 8°52'42" E 0°57'57"
<i>Leucocoprinus cretatus</i> (Loquin) Moser	Agaricales	Agaricaceae	Sapro	C3512	Guelly, 2006	FCIU	N 8°52'42" E 0°57'55"

<i>Leucopaxillus brasiliensis</i> (Rick) Singer & A.H. Sm	Agaricales	Agaricales	Sapro	C3442	Guelly, 2006 ; De Kesel et Guelly, 2008	FCI	N 8°52'41" E 0°57'56"
<i>Lignosus sacer</i> (Afzel ex Fr.) Torrend	Polyporales	Polyporaceae	Sapro	ADK4451		FCIU	N08°41,133' E0°45,623'
<i>Macrocybe lobayensis</i> (R. Heim) Pegler & Lodge	Agaricales	Tricholomataceae	Sapro	CK0033	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015	FCI	N 8°53'24" E 0°59'0"
<i>Marasmiellus inoderma</i> (Berk.) Sing.	Agaricales	Marasmiaceae	Sapro	C2019	Yorou <i>et al.</i> , 2011	FG	N 8°52'41" E 0°57'55"
<i>Flammulina ferrugineolutea</i> (Beeli) Singer	Agaricales	Physalacriaceae	Sapro	CK0056	Kamou <i>et al.</i> , 2015	FGU	N 8°52'41" E 0°57'54"
<i>Marasmius arborescens</i> (Henn.) Beeli	Tricholomatales	Marasmiaceae	Sapro	C4065	Guelly, 2006	FCI, FCIU	N 8°52'42" E 0°57'54"
<i>Mycoamaranthus congolensis</i> (Dissing & M. Lange) Castellano & Walley	Boletales	Boletaceae	Ecto	ADK4575		FCU	N09°11'36,3" E0°59'04,9"
<i>Octaviania ivoryana</i> Castellano, Verbeke & Thoen	Boletales	Boletaceae	Ecto	ADK4638		FCIU	N08°42'58,6" E0°46'22,2"
<i>Parasola plicatilis</i> (Curtis) Redhead, Vilgalys & Hopple	Agaricales	Psathyrellaceae	Sapro	C2447	Guelly, 2007	FC	N 8°52'42" E 0°57'54"
<i>Phellinus gilvus</i> (Schw ein.) Pat.	Hymenochaetales	Hymenochaetaceae	Para	CK0009		FC	N 8°43'18" E 0°46'56"
<i>Phellinus linteus</i> (Berk. & M.A. Curtis) Teng.	Hymenochaetales	Hymenochaetaceae	Para	CK0049		FC	N 8°43'18" E 0°46'57"
<i>Phellinus pomaceus</i> McKenzie	Hymenochaetales	Hymenochaetaceae	Para	CK0050		FC	N 8°45'3" E 0°48'40"
<i>Phellinus populicola</i> Niemelä	Hymenochaetales	Hymenochaetaceae	Para	CK0048		FC	N 8°45'3" E 0°48'43"
<i>Phellinus rimosus</i> (Berk.) Pflát	Hymenochaetales	Hymenochaetaceae	Para	CK0035		FC	N 8°45'3" E 0°48'43"
<i>Phellinus robustus</i> (P. Karst.) Bourdot & Galzin	Hymenochaetales	Hymenochaetaceae	Para	CK0001		FC	N 8°45'3" E 0°48'43"
<i>Phlebotus sudanicus</i> (Har. & Pat) Heinem	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK0133	Yorou <i>et al.</i> , 2014	FCI, FCIU	N 8°45'3" E 0°48'43"
<i>Phylloporus ampliporus</i> Heinem. & Rammeloo	Boletales	Boletaceae	Ecto	ADK4437		FCIU	N08°41,133' E0°45,623'
<i>Phylloporus rhodoxanthus</i> (Schw ein.) Bres.	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK0143		FCI, FCIU	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Pleurotus cystidiosus</i> O.K. Mill.	Agaricales	Pleurotaceae	Sapro	C2231	De Kesel et Guelly, 2008	FCIU	N 8°52'56" E 0°59'28"
<i>Polyporus colossus</i> Fr.	Polyporales	Polyporaceae	Sapro	C1787	Guelly, 2006	FC	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Psathyrella barrowii</i> A.H. Sm.	Agaricales	Psathyrellaceae	Sapro	C2823	Guelly, 2006 ; Guelly, 2007	FC	N 9°10'33" E 0°53'46"
<i>Psathyrella tuberculata</i> Smith	Agaricales	Psathyrellaceae	Sapro	CK0043	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015	FCI, FCIU	N 9°10'34" E 0°53'46"
<i>Pulveroboletus luteocarneus</i> Degreef & De Kesel	Boletales	Boletaceae	Ecto	ADK4652		FGBU	N08°44'31,9" E0°48'17,4"
<i>Pulveroboletus ravenelii</i> (Berk. & M.A. Curtis) Murrill	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK0153	Nadjombe, 2012	FGBU, FGU	N 9°10'34" E 0°53'46"
<i>Pulveroboletus viscidulus</i> (Pat. & C.F. Baker) Singer	Boletales	Boletaceae	Ecto	C3388	Nadjombe, 2012	FGBU, FGU	N 9°10'34" E 0°53'46"
<i>Pycnoporus sanguineus</i> (L.) Murrill	Polyporales	Polyporaceae	Sapro	CK0199	De Kesel <i>et al.</i> , 2002	FC	N 9°10'36" E 0°53'45"
<i>Ramaria flava</i> (Schaeff.) Quél.	Gomphales	Gomphaceae	Ecto	C4033	Guelly, 2006	FCI, FCIU, FCIU	N 9°10'35" E 0°53'46"
<i>Rubinoletus balloui</i> (Peck) Heinem.	Boletales	Boletaceae	Ecto	C2318	De Kesel et Guelly, 2006	FCI	N 9°10'28" E 0°53'45"
<i>Rubinoletus griseus</i> Heinem. & Rammeloo	Boletales	Boletaceae	Ecto	ADK4921		FCI	N08°42,883' E0°46,554'
<i>Rubinoletus luteopurpureus</i> (Beeli) Heinem & Rammeloo.	Boletales	Boletaceae	Ecto	PNR 031		FCI, FCIU, FCIU	N 9°10'27" E 0°53'46"
<i>Rubinoletus virescens</i> (Heinem) Heinem & Rammeloo	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK0081		FCI, FCIU	N 9°10'37" E 0°43'47"
<i>Russula afronigricans</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	NPR 029	Nadjombe, 2012	FGBU	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Russula albofocosa</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK387		FCUIM	N09°11'53,9" E0°59'13,0"
<i>Russula alveolata</i> R. Heim	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK384		FCI, FCIU, FCIU	N 9°10'27" E 0°53'46"
<i>Russula annulata</i> Heim	Russulales	Russulaceae	Ecto	PNR 037, CK305	Kamou, 2012	FCI, FCIU	N 9°10'31" E 0°53'46"

<i>Russula brunneoderma</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK402		FCI, FCIU, FCU, FCIUM	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Russula brunneofloccosa</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK396		FCI, FCIU, FCU, FCIUM	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Russula bururiensis</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0070		FGBU	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Russula cellulata</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	C2571		FCI, FCU	N 9°10'21" E 0°53'55"
<i>Russula compressa</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0060	Nadjombe, 2012	FCU, FGU	N 9°10'31" E 0°53'46"
<i>Russula congoana</i> var. <i>congoana</i> Patouillard	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0116	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Maba <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015	FCI, FCIU	N 9°10'26" E 0°53'45"
<i>Russula diffusa</i> var. <i>diffusa</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK408		FCI, FCIU	N 9°10'26" E 0°53'45"
<i>Russula fissurata</i> Sanon & Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK250		FCI, FCIUM, FCM, FCIUM	N 09°11'53,9"E 0°59'13,9"
<i>Russula flavobrunnea</i> var. <i>aurantioflava</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	PNR 039, CK367	Nadjombe, 2012	FCI, FCIU	N 9°10'9" E 0°53'54"
<i>Russula flavobrunnea</i> var. <i>flavobrunnea</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK306		FCI, FCIUM, FCM, FCIUM	N 9°10'8" E 0°56'54"
<i>Russula flavobrunnea</i> var. <i>violaceotincta</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK352		FCI, FCIUM, FCM, FCIUM	N 8°52'42" E 0°57'55"
<i>Russula fulvochrascens</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK376		FCI, FCIUM, FCM, FCIUM	N 8°43'5" E 0°46'31"
<i>Russula ingens</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK316		FCI, FCIUM, FCM, FCIUM	N 8°53'24" E 0°59'0"
<i>Russula liberiensis</i> Sing.	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK369		FCI, FCIUM, FCM, FCIUM	N 8°43'1" E 0°46'34"
<i>Russula ochrocephala</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0124		FGBU	N 9°10'30" E 0°54'42"
<i>Russula oleifera</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK281	Yorou <i>et al.</i> , 2014	FGBU	N 9°10'8" E 0°56'54"
<i>Russula parvulospora</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK391		FCI, FCIU	N 9°10'8" E 0°56'54"
<i>Russula phaeocephala</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK388		FCI, FCIU	N 9°10'8" E 0°56'54"
<i>Russula purpureomutabilis</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK0080	Yorou <i>et al.</i> , 2014	FGBU	N 9°10'8" E 0°56'54"
<i>Russula roseostriata</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK387		FGBU	N 9°10'8" E 0°56'54"
<i>Russula roseovelata</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK352		FGBU	N 9°10'8" E 0°56'54"
<i>Russula roseoviolacea</i> var. <i>roseoviolacea</i> Buyck	Russules	Russulaceae	Ecto	CK302		FCM, FCIU	N 8°52'42" E 0°57'55"
<i>Russula subfistulosa</i> var. <i>subfistulosa</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK385		FCM, FCIU	N 8°53'24" E 0°59'0"
<i>Russula sublaevis</i> (Buyck) Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK374		FCIU, FCI	N09°11'53,8"E 0°59'13,7"
<i>Russula testacea</i> Buyck	Russulales	Russulaceae	Ecto	CK368		FCI, FCU, FCIU, FCIUM	N 8°52'42" E 0°57'55"
<i>Schizophyllum commune</i> Fr.	Agaricales	Schizophylaceae	Sapro	CK0121	De Kesel <i>et Guelly</i> , 2007, 2008	FC	N 9°10'8" E 0°56'54"
<i>Scleroderma citrinum</i> Pers.	Boletales	Sclerodermataceae	Ecto	C2116		FC	N 9°11'6" E 0°57'22"
<i>Termitomyces clypeatus</i> R. Heim	Agaricales	Lyophylaceae	Symbio	CK0119	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015; Guelly, 2007	FC	N 9°7'33" E 0°51'54"
<i>Termitomyces eurrhizus</i> (Berk) R. Heim	Agaricales	Lyophylaceae	Symbio	C2458	Guelly, 2006	FCI, FCU, FCIU	N 8°44'30" E 0°48'17"
<i>Termitomyces fuliginosus</i> R. Heim	Agaricales	Lyophylaceae	Symbio	CK0014	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015; Guelly, 2007	FCI, FCU, FCIU	N 9°7'23" E 0°51'51"
<i>Termitomyces globulus</i> R. Heim & Gooss.-Font.	Agaricales	Lyophylaceae	Symbio	C4576		FC	N 8°52'42" E 0°57'55",
<i>Termitomyces letestui</i> R. Heim	Agaricales	Lyophylaceae	Symbio	C2420	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015; Guelly, 2006	FCI, FCU, FCIU	N 9°7'29" E 0°51'52"
<i>Termitomyces medius</i> R. Heim	Agaricales	Lyophylaceae	Symbio	CK0051	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015; Guelly, 2007	FCI, FCU, FCIU	N 8°23'4" E 0°46'35"
<i>Termitomyces microcarpus</i> (Berk. & Br.) Heim.	Agaricales	Lyophylaceae	Symbio	C3471	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015 ;	FCI, FCU, FCIU	N 8°42'4" E 0°46'25"
<i>Termitomyces robustus</i> R. Heim	Agaricales	Lyophylaceae	Symbio	CK0055	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015 ;	FCI, FCU, FCIU	N 8°43'5" E 0°46'32"

<i>Termitomyces schimperi</i> R. Heim	Agaricales	Lyophyllaceae	Symbio	CK0019	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015 ;	FCI, FCU, FCUI	N 8°24'20" E 0°48'27"
<i>Termitomyces singidensis</i> Saarim. & Härk.	Agaricales	Lyophyllaceae	Symbio	C4761		FCI, FCU, FCUI	N 8°52'22" E 0°57'54"
<i>Termitomyces striatus</i> Beeli & Heim	Agaricales	Lyophyllaceae	Symbio	CK0012	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015 ;	FCI, FCU, FCUI	N 8°49'29" E 0°48'16"
<i>Trametes elegans</i> (Spreng.) Fr.	Polyporales	Polyporaceae	Sapro	C4092	Guelly, 2006 ; De Kesel et Guelly, 2008	FCI	N 8°52'3" E 1°2'36"
<i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd	Polyporales	Polyporaceae	Sapro	CK0112	De Kesel et Guelly, 2008	FCI, FCU, FCUI	N 8°44'28" E 0°48'16"
<i>Tubosaeta brunneosetosa</i> (Singer) E. Horak	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK275		FCIU, FCI, FCU,	N 8°52'43" E 0°56'52"
<i>Tubosaeta goossensiae</i> (Beeli) E. Horak	Boletales	Boletaceae	Ecto	C3415		FGU, FGBU, FGB	N 8°45'29" E 0°48'26"
<i>Tubosaeta heterosetosa</i> Heinem.	Boletales	Boletaceae	Ecto	C3418		FGU, FGBU, FGB	N 8°44'29" E 0°48'16"
<i>Tylopilus nigerrimus</i> (R. Heim) Hongo & M. Endo	Boletales	Boletaceae	Ecto	ADK4919		FCI	N08°42,883' E0°46,554'
<i>Veloporphyrellus africanus</i> Watling	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK0149		FCI, FCUI	N 9°10'26" E 0°53'45"
<i>Volvariella volvacea</i> (Bull.) Singer	Agaricales	Pluteaceae	Sapro	CK0021	Kamou <i>et al.</i> , 2015	FCI, FCU, FCUI	N 8°41'3" E 0°48'43"
<i>Volvopluteus earlei</i> (Murrill) Vizzini, Contu & Justo	Agaricales	Pluteaceae	Sapro	CK0044	Yorou <i>et al.</i> , 2014; Kamou <i>et al.</i> , 2015 ; De Kesel et Guelly, 2008	FCI, FCU, FCUI	N 8°43'18" E 0°46'27"
<i>Xerocomus spinulosus</i> Heinem. & Gooss.	Boletales	Boletaceae	Ecto	CK0167	Nadjombe, 2012	FCI	N 8°42'3" E 0°48'33"
<i>Xerocomus subspinulosus</i> Heinem.	Boletales	Boletaceae	Ecto	ADK4348		FCUM	N09°11,630' E0°59,134'
<i>Xylaria papyrifera</i> (Link) Fr.	Xylariales	Xylariaceae	Sapro	CK0111		FCI	N 8°42'3" E 0°48'33"

Ecto= Ectomycorrhiziens; Sapro= Saprotrophes; Symbio= Symbiontes, Para= Parasites; FCI= les forêts claires à dominance *Isoblerlinia doka* et *Isoblerlinia tomentosa*, FCU= les forêts claires à dominance *Uapaca togoensis*, FCM= les forêts claires à dominance *Monotes kerstingii*, FCIM= les forêts claires à dominance *Isoblerlinia doka*, *Isoblerlinia tomentosa* et *Montes kerstingii*, FCUM= les forêts claires à dominance *Uapaca* spp et *Montotes kerstingii*, FCUI= les forêts claires à *Isoblerlinia doka* et *Isoblerlinia tomentosa* et *Uapaca togoensis*, FCUI= les forêts claires mixtes à *Isoblerlinia doka* et *Isoblerlinia tomentosa*, *Uapaca togoensis* et *Monotes kerstingii*, FGB= les forêts galeries à dominance *Berlinia grandiflora*, FGU= les forêts galeries à dominance *Uapaca guineensis*, FGBU= les forêts galeries mixtes à dominance *Berlinia grandiflora* et *Uapaca guineensis* (FGBU).

## Discussion

Un total de 404 spécimens d'herbier a été collecté dans le Parc National Fazao Malfakassa (PNFM). Cette grande diversité dans le PNFM illustre que la diversité des macromycètes dans les forêts d'Afrique tropicale est énorme (35, 42, 46). Au niveau spécifique, l'ensemble des taxa identifiés reste très faible avec 40%, ceci est lié à la non disponibilité des clés d'identification et le fait qu'il y a sans doute beaucoup d'espèces non décrites. Jusqu'à ce jour, plusieurs pays d'Afrique tropicale ne disposent pas encore de données sur la diversité spécifique des macromycètes des différents types de formations végétales. Contrairement à certains pays d'Europe, d'Amérique et d'Asie, les travaux basés sur les checklists sont souvent régionaux, l'on peut citer entre autres (17, 23). Au niveau écologique, il existe une différence significative entre les taxa récoltés. Les résultats ont montré que les espèces ectomycorrhiziennes dominent dans le Parc. Ceci est lié à la densité des arbres ectomycorrhiziens des formations explorées, mais aussi au fait que les espèces du groupe des ectomycorrhiziens notamment *Lactarius*, *Lactifluus*, *Cantharellus*, *Amanita* et les Boletales ont fait l'objet d'études par des spécialistes.

Dans ces formations, les champignons participent à l'évidence au maintien des arbres mycorrhizés (1, 2, 3, 32, 39, 40). Les investigations ethnomycologiques réalisées en Afrique de l'Ouest (50) ont estimé que les forêts d'Afrique tropicale regorgent d'une diversité de champignons ectomycorrhiziens.

Le nombre d'espèces identifiées ne représente qu'une fraction de la mycoflore des sites explorés du parc car de nombreux taxa n'ont pu être identifiés du fait de difficultés rencontrées lors de nos investigations. Ces difficultés sont liées au manque de littérature, de monographies et de bonnes clés d'identification.

Ceci constitue l'un des problèmes et confusion taxonomique sur les espèces fongiques en Afrique tropicale. Ces mêmes difficultés ont été signalées au Bénin (10, 11, 13, 48, 51, 52) et au Burkina Faso (19, 33, 34), lors des inventaires ethnomycologiques. Il a été constaté lors de cette étude que bien que la famille des *Boletaceae* soit très diversifiée dans les sites explorés, peu d'espèces ont été identifiées dans cette checklist. Ce faible taux d'espèces identifiées est lié à l'absence de données monographiques sur ce groupe de champignons en Afrique tropicale. Les études menées en Tanzanie ont confirmé que de nombreuses espèces de bolets restent de nos jours à décrire (38, 39, 40, 41). En Afrique de l'Ouest, il n'existe presque pas d'informations sur le genre *Boletus* (1, 2, 34).

Les seules informations disponibles concernent les espèces comestibles, notamment *Phlebopus sudanicus* (19).

Les données sur la famille des *Amanitaceae* en Afrique tropicale sont jusqu'à ce jour fragmentaires (9, 22). Seules les données d'origine congolo-zambienne (4, 5) ont permis d'identifier quelques espèces. En Afrique tropicale et en particulier en Afrique de l'Ouest, seules des données sur les espèces comestibles sont disponibles. C'est le cas de *Amanita loosii*, *Amanita aureofloccosa*, *Amanita crassiconus*, *Amanita massasiensis*, *Amanita rubescens*, *Amanita strobilaceovolvata*, *Amanita subviscosa* (19, 21, 22, 38).

En Afrique centrale environ 20 espèces ont été identifiées (52).

Au Burkina Faso, 7 espèces ont été signalées (19). D'après nos résultats, 32,33% des espèces identifiées appartiennent à la famille des *Russulaceae*. Les investigations de Maba et ses collaborateurs (25, 26, 27, 28, 29) ont permis une connaissance exhaustive des genres *Lactifluus* et *Lactarius* (ensemble les Lactaires) du Togo et de l'Afrique l'Ouest, avec un total de 12 nouvelles espèces décrites. Ces dernières études ont aussi démontré la très grande richesse spécifique des champignons ECM du parc, avec une forte probabilité de nouvelles espèces à décrire. Au Burkina Faso, plusieurs taxa du genre *Russula* ont été collectés dans les forêts claires et les forêts galeries dont plus de 20 espèces sont décrites (33, 34).

Sur l'ensemble des régions tropicales, 150 espèces des genres *Lactarius* et *Lactifluus* sont signalées dont 60 seraient originaires des forêts claires Sudano-Zambéziennes (43). Les mêmes travaux ont été conduits en Afrique de l'Ouest, avec environ 110 espèces dont 22 décrites du Bénin (49, 50). En Afrique tropicale, la diversité de *Russula* atteindrait 400 à 500 espèces et celle des Lactaires, 285 à 350 espèces (43).

Le genre *Cantharellus* est peu représenté dans les formations du Parc, seulement 5 espèces (*Cantharellus addaiensis*, *Cantharellus platyphyllus*, *Cantharellus congolensis*, *Cantharellus pseudocibarius*, *Cantharellus defibulatus*), se retrouvent dans le Parc National Fazao-Malfakassa. Cependant, 60 espèces environ de *Cantharellus* sont connues en Afrique tropicale (49, 50, 41) dont 14 espèces se retrouvent dans les forêts d'Afrique centrale. Au Bénin, 4 espèces ont été inventoriées (7, 50). Les mêmes espèces ont été rapportées dans les forêts de Niangoloko au Burkina Faso (19).

## Conclusion

Le présent article a rapporté les connaissances actuelles de la diversité des macromycètes du Parc National Fazao Malfakassa. Cependant, beaucoup de taxa du Parc doivent encore être identifiés. Avec l'appui de spécialistes, les études ultérieures se focaliseront spécialement sur les champignons ectomycorrhiziens tels que *Amanita*, les espèces de *Boletales*, *Russula*, *Lactarius* et *Cantharellus*. Une étude détaillée à l'échelle nationale permettrait de fournir des informations utiles sur la diversité, l'écologie et les connaissances endogènes des macromycètes ectomycorrhiziens du Togo. D'autre part, des investigations sur une sélection d'associations ectomycorrhiziennes pourraient être entreprises afin de reconstituer une répartition phylogéographique qui constitue une utilité potentielle de reboisement. Ces investigations seront basées sur l'étude des mycorrhizes.

## Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement:

- La GTI qui avoir financé le projet GTI/Ext C/2007. 10 De Kesel,
- The International Fondation For Science (IFS) pour leur soutien financier.

## Références bibliographiques

1. Bâ A., Duponnois D., Diabaté M. & Dreyfus B., 2011, *Les champignons ectomycorrhiziens des arbres forestiers en Afrique de l'Ouest: Méthodes d'étude, diversité, écologie, utilisation en foresterie et comestibilité*, IRD, 268 pp.
2. Bâ A., Duponnois R., Moyersoén, Abdala G. & Diédhiou A., 2012a, Ectomycorrhizal symbiosis of tropical African trees? *Mycorrhiza*, **22**, 1-29.
3. Bâ A.M., Mcguire K.L. & Diédhiou A.G., 2012b. *Ectomycorrhizal symbioses in Tropical and Néotropical forests*, CRC press, 37 pp.
4. Beeli M., 1936, Contribution à l'étude de la flore mycologique de Congo. XI. Fungi Goossensiani XII, *Bull. Jardin Bot. Etat Bruxelles*, **14**, 83-91.
5. Beeli B., 1989, *Bull. Jardin Bot. Etat Bruxelles*, **59**,1-2, 24 pp.
6. Buyck B., 1994b, *Russula I* (Russulaceae). *Flore Illustrée des Champignons d'Afrique Centrale*, 15.
7. Buyck B., 1994b, *Russula II* (Russulaceae). *Flore Illustrée des Champignons d'Afrique Centrale*, **16**, 411-542.
8. Buyck B., 1994c. Ubwoba, champignons comestibles de l'Ouest de Burundi. Administration Générale Cooperation, *Dév. Publ. Agric.*, **34**, 123.
9. Buyck B., 1997, *Russula III* (Russulaceae). *Flore Illustrée des Champignons de l'Afrique Centrale*, **17**, 545-597.
10. De Kesel A. & Yorou N. S., 2000, Preliminary studies of higher fungi associated with woodlands in North Benin, *Scripta Bot. Belg.*, **20**, 26.
11. De Kesel A., Codjia J. T. C. & Yorou N. S., 2000, Ethnomycological knowledge of Benin, *Scripta Bot. Belg.*, **20**, 29-30.
12. De Kesel A., 2001, A mushroom dryer for the travelling mycologist, *Field Mycol.*, **2**, 4, 131-133.

13. De Kesel A., Codjia J.T.C. & Yorou S.N., 2002, *Guide des champignons comestibles du Bénin Cotonou, République du Bénin, Jardin Botanique National de Belgique et Centre International d'Écodéveloppement Intégré (CECODI)*. Impr. Coco-Multimedia, pp 275.
14. De Kesel A. & Malaisse F., 2010, *Edible Wild Food. Fungi. In Malaisse, F. How to live and survive in Zambezi Open Forest (Miombo Ecoregion)*, Gembloux, Presses, agronomiques, 422pp. + CD rom, pp 41-56.
15. Diédhiou A.G., Ebenye H.C.M., Selossé M.A., Awan A.N.O. & Bâ A.M., 2013, *Diversity and community structure of ectomycorrhizal fungi in mixed and monodominant African tropical rainforest*, In *Tropical and Neotropical forest*. (eds) Bâ AM, McGuire KL and Diédhiou AG (2013) CRC Press.
16. Eyi Ndong H., Degreef J. & De Kesel A., 2011. *Champignons comestibles des forêts denses d'Afrique centrale. Taxonomie et identification*, ABC taxa, Bruxelles, 10, 255, <http://www.abctaxa.be>.
17. Flores Arzú R., Comandini O. & Rinaldi A., 2012, A preliminary checklist of macrofungi of Guatemala, with notes on edibility and traditional knowledge. *Mycosphere*, **3**, 1, 1-21., 10.5943/mycosphere/3/1/1.
18. Guelly K.A., 2006, *Inventaire de quelques Champignons Comestibles du Plateau Akposso*. Laboratoire de botanique et Ecologie végétale, 34 pp.
19. Guissou K., 2005, *Les macromycètes du Burkina Faso: Inventaire, ethnomycologie, valeurs nutritionnelles et thérapeutiques de quelques espèces*, Université de Ouagadougou, Thèse doc, 197 pp, Univ. de Ouagadougou.
20. Heim R. 1935, L'olatafa, *Arch. Mus. Nat. Hist.*, **6**, 12, 549-554.
21. Kamou H., 2012, *Diversité des macromycètes comestibles de Fazao (Préfecture de Sotouboua)*, Département de botanique, Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Université de Lomé, DEA, 83 + annexes.
22. Kamou H., Nadjombe P., Guelly K.A., Yorou S.N., Maba L.D. & Akpagana K., 2015, Les Champignons sauvages comestibles du Parc National Fazao-Malfakassa (PNFM) au Togo (Afrique de l'Ouest): Diversité et connaissances ethnomycologiques, *Agron. Afr.*, **27**, 1, 37-46.
23. Kishwar S., Chaudhary A.R., Abide R., Farah N., Gulshan I. & Muhammad I. U. H., 2011, Checklist of agarics of Kaghan valley, *Pak. J. Bot.*, **43**, 3, 1777-1787.
24. Lange L., 2014, The importance of fungi and mycology for addressing major global challenges, *IMA Fungus*, **5**, 2, 463-471.
25. Maba D., Guelly A., Yorou N., Verbeken A. & Agerer R., 2013. Two New *Lactifluus* species (*Basidiomycota*, *Russulales*) from Fazao Malfakassa National Park (Togo, West Africa), *Mycological Prog.*, **13**, 513-524.
26. Maba D., Guelly A., Yorou N., De Kesel A., Verbeken A. & Agerer R., 2014a, The genus *Lactarius* s. str. (*Basidiomycota*, *Russulales*) in Togo (West Africa): phylogeny and a new species described, *IMA Fungus*, **5**, 2, 39-49.
27. Maba D.L., Guelly A.K., Yorou N.S. & Agerer R., 2014c, Progress in molecular and morpho-anatomical screening of the genus *Lactarius sensu stricto* (*Basidiomycota*, *Russulales*) in West Africa, *Scripta Bot. Belg.*, **52**, 251.
28. Maba D L., Guelly A.K., Nourou N.S., Verbeken A. & Agerer R., 2015a, Phylogenetic and microscopic studies in the genus *Lactifluus* (*Basidiomycota*, *Russulales*) in West Africa, including the description of four new species, *IMA Fungus*, **6**, 1, 13-24.
29. Maba D.L., Guelly A.K., Yorou N.S. & Agerer R., 2015b, Diversity of *Lactifluus* (*Basidiomycota*, *Russulales*) in West Africa: 5 new species described and some considerations regarding their distribution and ecology, *Mycosphere*, (MY2015-142).
30. Maba D.L., 2015, *Diversity, Molecular phylogeny, Ecology and Distribution of the genera Lactifluus and Lactarius (Russulales, Basidiomycota) in West Africa.*, *Organismic Biology: Mycology*, Université de München, Doctorat, 193 pp.
31. MERF, 2014, Cinquième rapport National sur la diversité biologique du Togo, 2009-2014, 120.
32. Rivière T., Diédhiou A., Diabaté M., Senthilarasu G., Hatarajan K., Verbeken A., Buyck B., Dreyfus B., Béna G. & Ba A., 2007, Genetic diversity of ectomycorrhizal basidiomycetes from African and Indian tropical rain forests. *Mycorrhiza*, **17**, 415-428.
33. Sanon K., Bâ A. & Duponnois R., 2013, *Diversity and Function of Ectomycorrhiza between Scleroderma and Afzelia species in Burkina Faso*. In *Ectomycorrhizal symbioses, In Tropical and Neotropical forest*. (eds) Bâ AM, McGuire KL and Diédhiou AG (2013) CRC Press.
34. Sanon E., Guissou K.-L., Yorou N. & Buyck B., 2014, Le genre *Russula* au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest): quelques espèces nouvelles de couleur brunâtre Cryptogamie, *Mycologie*, **35**, 377-397, 10.7872/crym.v35.iss4.2014.377.
35. Tedersoo L., Bahram M., Toots M., Diedhiou A., Henkel T., Kjøller R., Morris M., Nara K., Nouhra E., Peay K., Polme S M. R., Smith M. & Kõljalg U., 2012, Towards global patterns in the diversity and community structure of ectomycorrhizal fungi, *Mol. Ecol.*, **21**, 4160-4170.
36. Thiers B., 2012, *Index Herbariorum: a global directory of public herbaria and associated staff*. New York Garden's Virtual Herbarium, <<http://sweetgum.nybg.org/ih/>> access
37. Thoen Q. & Ducouso M., 1989, Champignons et ectomycorrhizes de Fouta Djallon, *Bois For. Trop.*, **221**, 3 trimestre, 19 pp.
38. Tibuhwa D.D., Buyck B., Kivaisi A. & Tibell L., 2009, *Cantharellus fistulosus* sp. nov. from Tanzania, *Cyptogamie Mycol.*, **29**, 129-135.
39. Tibuhwa D.D., 2011a, Substrate specificity and phenology of macrofungi community at the university of Dar es Salaam main campus, *Tanzania J. Appl. Biosci.*, **46**, 3173-3184.
40. Tibuhwa D.D., 2011b, Diversity of macrofungi at the University of Dar es Salaam Mlimani main campus in Tanzania. *Int. J. Biodivers. Conserv.*, **3**, 11, 540-550, 2141-243X ©2011 Academic Journals, Available online at <http://www.academicjournals.org/IJBC> Available online at <http://www.academicjournals.org/IJBC>.
41. Tibuhwa D.D., Sanja S., Tibell L. & Kivaisi A.K., 2012, *Afrocantharellus* gen. stat. nov. is part of African *Cantharellaceae*, *IMA Fungus.*, **3**, 1, 25-38.X

42. Verbeken A. & Walley R., 2010. Fungus *Flora of Tropical Africa. Monograph of Lactarius in Tropical Africa*, 161, National Botanic Garden of Belgium, 161, Pl 54.
43. Verbeken A. & Buyck B., 2011, Diversity and ecology tropical ectomycorrhizal fungi in Africa, *Trop. Mycol.*, **1**, 14 pp.
44. Van Rooij P., De Kesel A. & Verbeken A., 2003. Studies in Tropical African Lactarius Species (*Russulales, Basidiomycota*), 11. Records from Benin, *Nova Hedwigia*, **77**, 1-2.
45. Van De Putte K., De Kesel A., Nuytinck J. & Verbeken A., 2009. A new Lactarius species from Togo with an isolated phylogenetic position, *Cryptogamie Mycol.*, **30**, 39-44.
46. Wang B. & Qiu Y., 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants, *Mycorrhiza*, **16**, 5, 299-363.
47. Woegan Y.A., Akpavi S., Dourma M., Atato A., Wala K. & Akpagana K., 2014. Etat des connaissances sur la flore et la phytosociologie de deux aires protégées de la chaîne de l'Atakora au Togo: Parc National Fazao-Malfakassa et Réserve de Faune d'Alédjo, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **7**, 5, 1951-1962, 1997-342X.
48. Yorou N.S., De Kesel A. & Sinsin B., 2002. *Preliminary assessment of diversity and productivity of edible mushrooms in woodlands of Western Africa*, Oslo, Norway 186 pp.
49. Yorou N.S., 2011. *Diversity and above-ground community structure of fungal symbionts of Isoberlinia doka and Isoberlina tomentosa in Benin*. International Workshop. Mycorrhizae: A biological tools for sustainable development in Africa, February 21<sup>st</sup> - 23<sup>rd</sup>, Dakar, Senegal.
50. Yorou N.S., Koné N.A., Guissou M.-L., Guelly A.K., Maba D. L., Ekué M.R.M. & De Kesel A., 2014. *Biodiversity and Sustainable Use of Wild Edible Fungi in the Sudanian Centre of Endemism: A Plea for Valorisation* In: Bâ AM., Mcguire K. & Diédhiou AG (Eds.) *Ectomycorrhizal Symbioses in Tropical and Neotropical Forests*. CRC Press, Boca Raton Tropical and Neotropical Forests, 241-270.
51. Yorou N., De Kesel A., Sinsin B. & Codjia J.T.C. (2002). *Diversité et productivité des champignons comestibles de la forêt classée de Wari Maro (Bénin)*. In: E. Robbrecht, J. Degreef & I. Friis (eds). *Plant Systematics and Phytogeography for the understanding of African Biodiversity*. Proceedings of the XVI<sup>th</sup> AETFAT Congress (2000, Meise, National Botanic Garden of Belgium). Syst. Geogr. Pl. 71, 613-625.
52. Yorou S.N. & De Kesel A., 2002, *Connaissances ethnomycologiques des peuples Nagot du centre du Bénin (Afrique de l'Ouest)*. In: E. Robbrecht, J. Degreef & I. Friis, (eds), *Plant Systematics and Phytogeography for the understanding of African Biodiversity*. Proceedings of the XVI<sup>th</sup> AETFAT Congress (2000, Meise, National Botanic Garden of Belgium). Syst. Geogr. Pl. 71: 627-637.

H. Kamou, Togolais, PhD, Université de Lomé, Faculté des Sciences, Département de Botanique, Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Lomé Togo.

A.G. Abalo-Loko, Togolais, PhD, Université de Lomé, Faculté des Sciences, Département de Botanique, Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Lomé Togo.

P. Nadjombe, Togolais, PhD, Université de Lomé, Faculté des Sciences, Département de Botanique, Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Lomé Togo. Togo.

K. Batawila, Togolais, PhD, Université de Lomé, Faculté des Sciences, Département de Botanique, Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Lomé Togo.

K. Akpagana, Togolais, PhD, Université de Lomé, Faculté des Sciences, Département de Botanique, Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Lomé Togo.

K. Atsu Guelly, Togolais, PhD, Université de Lomé, Faculté des Sciences, Département de Botanique, Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Lomé Togo.

A.G. Abalo-Loko, Togolais, PhD, Université de Lomé, Faculté des Sciences, Département de Botanique, Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Lomé Togo.

S.N. Yorou, Béninois, PhD, Enseignant-Chercheur, Université de Parakou, Parakou Benin.

A. Verbeken, Belge, PhD, Professor, Ghent University, Research Group Mycology, Dpt. Biology, Ghent, Belgium.

A. De Kesel, Belge, PhD, Jardin National de Belgique, Meise, Belgique.

## Distribution spatio-saisonnière des cyanobactéries le long du cours d'eaux, la Lobo Haut Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire)

N. Grogaa<sup>1\*</sup>, T.N. Akedrin<sup>1</sup>, K. Komoé<sup>1</sup>, K. Thiegbia<sup>1</sup>, D.S. Akaffou<sup>1</sup> & A. Ouattara<sup>2</sup>

**Keywords:** Phytoplankton- Cyanobacteria- Algae Blue-green- Lobo River- Ivory Coast

### Résumé

*Des peuplements de cyanobactéries ont été étudiés par la réalisation de relevés in situ le long de la rivière Lobo, source d'approvisionnement d'eau potable des 261.789 habitants de la ville de Daloa en Côte d'Ivoire. Ce milieu se caractérise par une profondeur moyenne de 5 m et une température moyenne de 30°C. Cette rivière est en majorité influencée par les activités anthropiques qui favorisent la croissance des végétaux aquatiques par son enrichissement en nutriments tel que le nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dont la concentration varie entre 0 et 1,54 mg. l<sup>-1</sup> et le phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) dont la concentration varie entre 0,001 et 0,71 mg.l<sup>-1</sup>. Les analyses des paramètres biologiques réalisées au niveau de six stations de septembre 2013 à juin 2014 ont permis d'identifier 13 taxons de cyanobactéries avec une dominance des genres Oscillatoria sp. (Ossp) et Pseudanabeana sp. (Pssp) représentant chacun 11%. Très peu de différences ont été observées entre les populations de cyanobactéries de chaque station. On a observé par contre une plus forte prolifération de celles-ci en saison sèche. L'espèce Aphanocapsa sp. (Apsp) présentait une densité maximale de 24.10<sup>3</sup> cellules ml<sup>-1</sup> au niveau de la station St5 en saison sèche alors qu'en saison pluvieuse elle n'était que de 5.10<sup>3</sup> cellules ml<sup>-1</sup> au même endroit.*

### Summary

#### Spatio-seasonal Distribution of the Cyanobacteria along the River Stream, Lobo Haut Sassandra (Daloa, Ivory Coast Ivory Coast)

*Cyanobacteria populations were studied through in situ records along the Lobo River, source of drinking water supply for the 261,789 inhabitants of the city of Daloa in Ivory Coast. This environment is characterized by an average depth of 5 m and an average temperature of 30°C. This river is mostly influenced by human activities that favour the growth of aquatic plants by enrichment in nutrients. The nitrate concentration varies between 0 and 1.54 mg.l<sup>-1</sup> (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) and phosphate concentration ranged from 0.001 to 0.71 mg.l<sup>-1</sup> (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). The analyzes of biological parameters carried out in six stations between September 2013 and June 2014 identified 13 taxa of cyanobacteria with a dominance of Oscillatoria sp. (OSSP) and Pseudanabaena sp. (PSSP) genera each representing 11%. Very little difference was observed between the cyanobacterial populations of each station. They proliferated more in the dry season than in the rainy season. The species Aphanocapsa sp. (APSP) presented a maximal density of 24.10<sup>3</sup> cells. ml<sup>-1</sup> on St5 station in dry season whereas in the rainy season it was only 5.10<sup>3</sup> cells ml<sup>-1</sup> at the same location.*

<sup>1</sup>Université Jean Lorougon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

<sup>2</sup>Université de Nanguy Abrogoua, U.F.R. S.G.E, Abidjan, Côte d'Ivoire.

\*Auteur correspondant: email: groga7@yahoo.fr

## Introduction

De nombreuses populations sont attirées par des sources d'eaux continentales et se concentrent autour d'elles pour leurs activités. Ces populations en retour doivent veiller à leurs gestions. Face à l'explosion démographique actuelle, l'on se rend compte que les ressources en eau douce sont épuisables, et que les activités humaines représentent l'une des causes majeures du stress des écosystèmes aquatiques (8, 32, 35).

La dégradation des sources d'eau découle essentiellement des pollutions ponctuelles et diffuses et de la modification des caractéristiques physico-chimiques des points d'eau (23).

Certaines efflorescences algales ont de nombreuses conséquences sanitaires, écologiques et économiques. Le phytoplancton est constitué de l'ensemble des micro-organismes végétaux en suspension dans l'eau, capables d'élaborer par photosynthèse leurs propres substances organiques, à partir de l'énergie solaire, de l'eau, du CO<sub>2</sub> et des sels nutritifs (14). Certaines espèces produisent des substances hydrosolubles potentiellement toxiques (22, 24). Le rôle joué par le phytoplancton dans le fonctionnement des écosystèmes lacustres et la prolifération ou blooms à cyanobactéries représentent une menace pour tous les organismes. Les cyanobactéries perturbent l'équilibre écologique des milieux aquatiques et les détériorent. De plus, elles peuvent affecter les activités touristiques et socioéconomiques. Ces toxines sont hépatotoxiques, neurotoxiques, dermatotoxiques, cytotoxiques, inflammatoires et irritantes (26). Ainsi, les intoxications accidentelles liées à la contamination des eaux représentent un risque sanitaire. En Chine, un taux élevé de mortalité humaine par cancer hépatocellulaire est induit à la consommation d'eau contenant des cyanotoxines.

Un épisode d'intoxication de chiens en 1989 a causé la mort de 15 chiens au centre de l'Angleterre, (19). En plus, en Afrique de l'Ouest, des études menées au Burkina Faso ont mis en évidence la présence des cyanobactéries dans des sources d'eau potable (5). C'est en cela qu'une vigilance et une étude minutieuse s'imposent pour la qualité d'eau de la rivière Lobo. L'intensification des activités agricoles, l'urbanisation galopante sur le bassin versant de la Lobo sont des facteurs favorables aux phénomènes d'érosion et d'apports en éléments nutritifs. Ces phénomènes influencent négativement non seulement la qualité écologique de l'hydrosystème mais aussi les communautés biologiques en particulier les algues planctoniques et benthiques. Or, la compréhension de la dynamique de tout milieu alluvial réside dans les interactions entre l'écoulement et la morphologie du réservoir. Des différences significatives ont aussi été notées entre les caractéristiques chimiques et physiques des différents types.

Il y a peu d'études sur les cyanobactéries en Afrique (30) dont en Côte D'Ivoire (10) en culture, bien que les effets sont néfastes pour l'homme, l'animal et le végétal. Cette étude vise à recenser les genres de Cyanobactéries peuplant la rivière Lobo et à déterminer leur distribution spatiale-temporelle.

## Materiel et méthodes

### Matériel

#### Milieux d'études

Le milieu d'étude, la rivière Lobo est un affluent du fleuve Sassandra. Son bassin hydrographique est situé en Afrique de l'Ouest, au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, à 25 km de Daloa (région du haut Sassandra) entre 6°2 et 7°55 de Longitude Ouest et 6° et 6°55 de Latitude Nord (7). Elle prend sa source dans la région de Séguéla, drainant une superficie de 12 745 km<sup>2</sup> et parcourt 355 km avec un périmètre de 530 km. Le relief du bassin, peu contrasté et peu varié est dominé par les plateaux de 200 m à 400 m d'altitude, (4). Ces stations sont définies en fonction de leur accessibilité (Figure 1) (36). Un navigateur GPS de type GARMIN 76 a servi à la localisation des stations d'échantillonnage. Un turbidimètre de type WTW, de modèle COND 340i a permis de déterminer de la turbidité. Pour mesurer l'oxygène dissous un oxymètre type WTW, de modèle OXY 340i a été utilisé. Un disque de Secchi a servi à la mesure de la transparence. La sonde multi-paramètre HACH HQ 4d a permis de déterminer TDS (taux de solides dissous), le pH et la température du milieu. Le dosage des sels (Nitrate (mg/l), Silice (mg/l), Ammonium (mg/l), Phosphate (mg/l)). a été effectué à l'aide d'un spectrophotomètre. Les échantillons ont été collectés selon la saison (petite saison de pluie; grande saison de pluie; petite saison sèche; grande saison sèche) à compter de Septembre 2013 à Juin 2014 sur six (6) stations de prélèvement.

### Méthodes

#### Techniques de prélèvement

Les échantillons ont été récoltés à l'aide d'un filet à plancton de 20 µm de vide de maille et fixés au formol du commerce à la concentration finale de 5 (%). Les culots obtenus dans les piluliers de 40 ml au bout de quelques jours sont observés entre lame et lamelle à l'aide d'un microscope optique de type Olympus équipé d'un appareil photographique numérique. Les nitrates et le phosphore ont été déterminés au laboratoire par photométrie. Les pastilles réactives correspondant à chaque paramètre ont été utilisées en suivant la procédure donnée par le fabricant. Les échantillons étaient prélevés à une profondeur de -50 centimètres à l'aide d'un seau à bec de 5 litres et ensuite filtrés au filet à plancton.

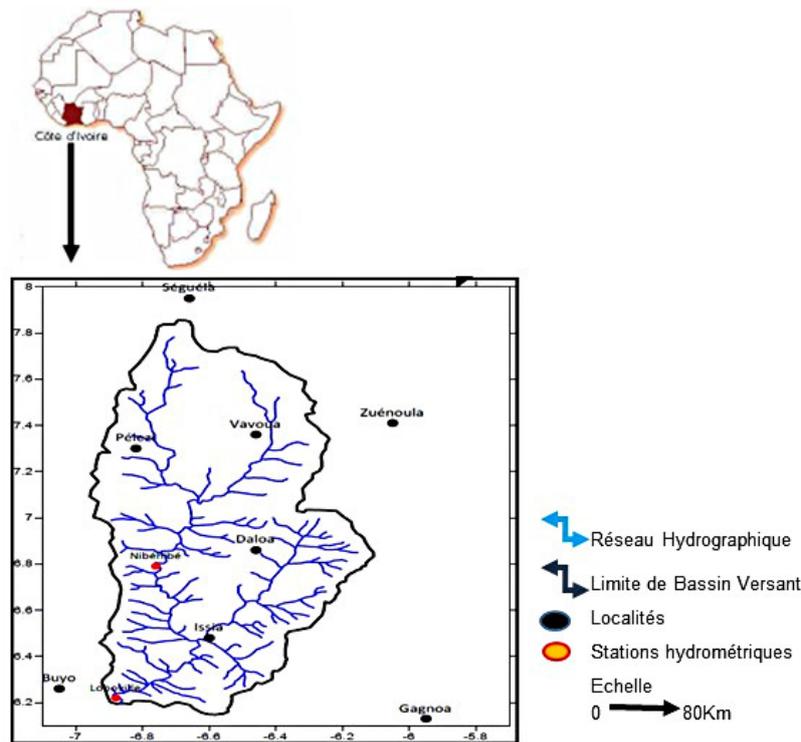


Figure 1: Localisation du bassin versant de la Lobo (50).

### Identification et dénombrement

L'identification a été faite par observation entre lame et lamelle au microscope photonique suivant les clefs morphologiques des cyanobactéries (11, 12). Un contrôle de qualité des milieux a été réalisé par l'ensemencement d'eau distillée stérile en guise de milieu témoin. La croissance des cyanobactéries est appréciée par la numération des souches en culture. La cellule de Malassez (1 $\mu$ l de capacité) a été utilisée pour le dénombrement des cellules (3, 21).

### Traitements statistiques

Une analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée pour ordonner les stations en fonction des paramètres abiotiques. L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été appliquée à la composition du peuplement afin de regrouper les stations d'échantillonnage en fonction de leurs similarités floristiques. Ces analyses ont été effectuées avec le logiciel R version 2.0.1, (16) muni du package ADE 4, (33). Le test de Kruskal-Wallis a permis de tester la variabilité spatio-temporelle des genres Cyanobactéries entre les différentes stations.

### Résultats

#### Analyse des paramètres physico-chimiques

##### Profondeur

La profondeur la plus importante s'observe à la station 2 avec 7 m de profondeur et la plus faible a été obtenue à la station 6 avec 2,8 m (Tableau 1).

##### Température

La température la plus élevée est relevée à la station 3 pendant la petite saison sèche et elle est de 33,4 °C. La température la plus faible, de 28,8°C est relevée à la station 2 en grande saison pluvieuse.

##### Turbidité

La turbidité la plus élevée est de 32,6 NUT et est observée pendant la petite saison sèche dans la station 3. Cependant, la plus petite valeur de turbidité est observée pendant la grande saison de pluie dans la station 1 et elle est de 1,24 NUT.

##### Couleur

La couleur la plus sombre est observée pendant la petite saison sèche à la station st3 et elle de 192 mg L<sup>-1</sup>. (Tableau 2).

**Tableau 1**  
Profondeurs moyenne de  
la rivière Lobo selon les  
saisons.

SITES	Profondeur en (m)	
	Saison Plu- vieuse	Saison sèche
Station 1	6	4,2
Station 2	7	4,6
Station 3	5	3,8
Station 4	5,5	4,1
Station 5	6,5	3,6
Station 6	4,6	2,8

**Tableau 2**  
Principales caractéristiques physiques et chimiques mesurées dans les 6 stations d'échantillonnages.

Paramètres	ST1				ST 2				ST 3			
	Min	Max	Moy	Ecart type	Min	Max	Moy	Ecart type	Min	Max	Moy	Ecart type
pH	6,54	6,9	6,676	0,151	7	7,98	7,364	0,42	7,56	8,64	8,054	0,4234
Température (°C)	29,4	30,2	29,78	0,322	28,8	32,4	30,6	1,42	29,1	33,4	30,88	1,6367
Turbidité (NTU)	1,24	21,8	8,48	8,519	2,28	26,2	10,37	9,854	3,1	32,6	12,72	11,928
Couleur (mgPtCo/l)	18,5	164	74,68	65,24	23,4	175	79,42	66,71	24,15	192	84,52	72,94
Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	76,2	128	94,2	21,91	85,1	131,9	103	20,65	89,4	146	110,2	24,332
Oxygène dissous ( $\text{mgO}_2 \text{L}^{-1}$ )	3,61	6,82	4,992	1,302	5,54	7,52	6,19	0,79	6,21	7,99	7,05	0,6923
Nitrate ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{NO}_3$ )	0,001	0,72	0,249	0,309	0	0,89	0,302	0,381	0,002	1,54	0,455	0,6395
Nitrite ( $\mu\text{g} \text{L}^{-1} \text{NO}_2$ )	0,0001	0,01	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	5,00E-04	0,0001	0,004	1,00E-03	0,0017
Phosphate ( $\mu\text{g} \text{L}^{-1}$ $\text{PO}_4$ )	0,012	0,03	0,02	0,007	0,013	0,1	0,05	0,034	0,01	0,14	0,05	0,0528
Ammonium ( $\mu\text{g} \text{L}^{-1}$ $^1\text{NH}_4$ )	0,0004	0,01	0,003	0,004	0,001	0,001	0,001	0	0,0001	0,004	0,002	0,0016
Paramètres	ST 4				ST 5				ST 6			
	Min	Max	Moy	Ecart type	Min	Max	Moy	Ecart type	Min	Max	Moy	Ecart type
pH	6,24	7,35	6,708	0,4227	7,09	8,64	7,426	0,667	7,64	8,24	7,92	0,25
Température (°C)	29,4	31,2	29,94	0,7242	29,1	31,8	30,62	1,133	29,9	33,1	31,1	1,37
Turbidité (NTU)	3,25	23,6	11,65	7,7316	1,84	24	11,96	8,579	2,54	27,2	13,8	9,5
Couleur (mgPtCo/l)	18,2	152	78,98	53,931	22,5	186	97,88	65,08	16,8	176	89,2	63,8
Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	105,4	131,5	113,8	10,304	90,9	134,4	107,5	17,16	78,9	143,2	105	27
Oxygène dissous ( $\text{mg} \text{L}^{-1} \text{O}_2$ )	3,6	6,3	4,822	1,1196	4,87	7,7	5,776	1,104	4,69	8,1	6,22	1,34
Nitrate ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{NO}_3$ )	0,001	1,22	0,313	0,51	0	1,08	0,312	0,449	0,001	0,72	0,25	0,31
Nitrite ( $\mu\text{g} \text{L}^{-1} \text{NO}_2$ )	2,00E-04	0,01	0,003	0,0043	0,001	0,011	0,004	0,004	0,001	0,01	0	0
Phosphate ( $\mu\text{g} \text{L}^{-1}$ $\text{PO}_4$ )	0,02	0,521	0,146	0,2085	0,0375	0,625	0,173	0,249	0,001	0,71	0,15	0,31
Ammonium ( $\mu\text{g} \text{L}^{-1}$ $\text{NH}_4$ )	0,001	0,002	0,001	0,0004	0,0001	0,001	0,001	0,0004	0,0003	0,11	0,03	0,05

### pH

Le pH le plus élevé (basique) est de 8,64 à la station 5 pendant la petite saison pluvieuse. Le pH le plus bas (acide) est observé à la grande saison sèche avec une forte température, (station 4) et est de 6,24. (Tableau 2).

### Conductivité

La station 3, est la station où la conductivité est la plus élevée avec 146 uS/cm en petite saison sèche, alors qu'en grande saison pluvieuse dans la station 1, elle est plus faible avec 76,2 uS/cm. (Tableau 2).

### Oxygène dissous

L'oxygène dissous est maximal dans la station 6 pendant la petite saison pluvieuse et est de 8,1 mg L<sup>-1</sup>. La plus petite concentration d'oxygène dissous est de 3,6 mg L<sup>-1</sup> et s'observe à la station 4 en grande saison pluvieuse mais aussi, pendant la petite saison sèche à la station 1 (Tableau 2).

### Nitrate

La concentration des nitrates est plus élevée dans la station 3 pendant la petite saison sèche avec 1,54 mg L<sup>-1</sup> (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Cette concentration est nulle dans la station 2 en petite saison pluvieuse puis la station 5 pendant la grande saison de pluie. La concentration des nitrates dans le milieu est plus élevée en saison sèche qu'en saison pluvieuse.

### Nitrite

La concentration des nitrites est plus élevée à la station 5 pendant la grande saison pluvieuse et elle est de 0,011 mg L<sup>-1</sup> (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). Les stations (3 et 1) respectivement en petite et grande saison sèche, la concentration des nitrites est très faible avec 0,0001 mg L<sup>-1</sup>(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). La concentration des nitrites dans le milieu est plus élevée en saison pluvieuse qu'en saison sèche.

### Ammonium

La concentration en ion ammonium est plus élevée à la station 6 pendant la grande saison sèche et elle est de 0,112 mg L<sup>-1</sup>(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Cette concentration devient très faible dans les stations 3 et 5 respectivement pendant les petites saisons pluvieuses et sèches et elle est de 0,0001 mg L<sup>-1</sup>(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

### Phosphate

La concentration en ortho-phosphate est plus élevée dans la station 6 pendant la petite saison sèche et elle est de 0,71 mg L<sup>-1</sup>(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Cette concentration devient très faible à la station 6 pendant la petite saison pluvieuse et elle est de 0,01 mg L<sup>-1</sup>(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) inférieur à la limite de détection. (Tableau 2).

### Rapport N/P

Nous observons un enrichissement en azote sur le site en saison sèche surtout en mars (N/P = 12,494). En saison pluvieuse, la station est plus riche en phosphore surtout en septembre (N/P = 0,44) (Tableau 3).  $N/P = [N = (NO_2^- + NO_3^- + NH_4^+)] / [P = PO_4^{3-}]$ .

## Analyse des variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques

Les analyses statistiques montrent des variations significatives des paramètres physico-chimiques selon les tests effectués. Dans l'ensemble, hormis les nitrates, tous les autres paramètres varient significativement d'une saison à l'autre (test de Wilcoxon, P < 0,05).

En saison sèche, les paramètres les plus significatifs sont: la température, la turbidité, la conductivité, l'ammonium et le phosphate. Le pH, l'oxygène dissous et les nitrates sont très élevés en saison pluvieuse. Selon les stations, les paramètres de turbidité, de transparence, de pH, d'oxygène dissous, du pourcentage d'oxygène et les nitrates sont les seuls à être significatifs (test de Wilcoxon, P < 0,05). Le pH et les nitrates évoluent considérablement dans la station 3 contrairement à l'oxygène dissous dont la variation est plus importante dans la station 6.

## Analyse biologique

### Analyse qualitative des cyanobactéries

L'analyse de la composition spécifique des échantillons a permis de répertorier 13 taxons. Ces 13 taxons sont scindés en deux groupes. Le groupe des Hormogonales qui est le plus nombreux (8 espèces) contrairement au groupe des Chroococcales qui est représenté par 5 espèces (Tableau 5). La distribution des cyanobactéries observée dans chaque prélèvement, varie selon la station sur laquelle l'échantillonnage a été réalisé.

La station 3 regroupe le plus grand nombre de cyanobactéries estimé à 19% de l'ensemble des taxons. Cependant, à la station 4 le nombre de cyanobactéries n'est que de 14% seulement (Figure 2). Il n'y a pas d'homogénéité entre les différents taxons présents sur le site.

### Distribution spatiale des cyanobactéries

Les résultats présentés au Tableau 5 montrent que, la distribution de la présence des espèces de cyanobactéries n'est pas la même sur toutes les stations d'échantillonnage. Cependant, deux (taxons de cyanobactéries) sont présents sur les six (6) stations de prélèvement avec une fréquence de 11%. Il s'agit d'*Oscillatoria* sp et de *Pseudanabaena* sp qui sont présents sur le site (Figure 3).

D'un autre côté, il y a des espèces qui sont présentes dans seulement trois (3) stations de prélèvements. *Cylindrospermopsis* sp est présent dans les stations 2, 5 et 6; *Planktothrix* sp dans les stations 3, 4 et 6 et *Gloecapsa* sp dans les stations 2, 4 et 5. La station 3 regorge 11 espèces de cyanobactéries: *Aphanocapsa* sp (Apsp), *Microcystis* sp (Misp), *Anabaena* sp (Ansp), *Oscillatoria* sp (Ossp), *Planktothrix* sp (Plsp), *Lyngbya* sp (Lysp), *Gloecapsa* sp, (Glsp), *Chroococcus* sp (Chsp), *Pseudanabaena* sp (Pssp), *Coelomorion* sp (Cosp) et *Limnothrix* sp (Lisp) (Tableau 5).

**Tableau 3**  
Valeurs moyennes du rapport N/P dans la station en fonction des saisons

Périodes	Nitrate (mg L <sup>-1</sup> NO <sub>3</sub> )	Nitrite (mg L <sup>-1</sup> NO <sub>2</sub> )	Ammonium (mg L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> )	Phosphate (mg L <sup>-1</sup> PO <sub>4</sub> )	N/P
janv-14	795	0,003	0,013	0,345	2,351
01/03/14	0,828	0,004	0,23	0,085	12,494
sept-13	0,004	0,003	0,004	0,025	0,44
01/06/14	0,001	0,006	0,007	0,23	0,609

(saison des pluies: septembre et juin; saison sèche: janvier et mars)

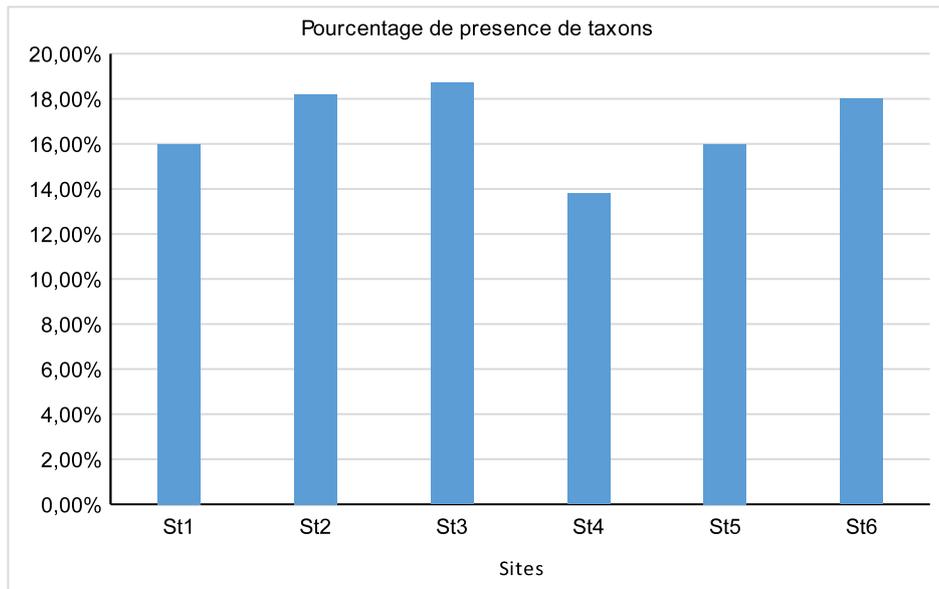
**Tableau 4**  
Test de Wilcoxon (effet de la saison) et test de Kruskal-Wallis.

Parametres	Effet saison		Effet station	
	Wilcoxon	p	x <sup>2</sup>	p
Turbidité (NTU)	369.0	0.005	43.3	< 0.001
Transparence (m)	0.0	< 0.001	31.1	< 0.001
Temperature (°c)	13.0	< 0.001	6.7	0.247
Ph	85.5	0.003	46.9	< 0.001
Conductivité (µS.cm <sup>-1</sup> )	465.0	< 0.001	6.1	0.295
Oxygene dissous (mg.L <sup>-1</sup> )	464.0	< 0.001	12.0	0.035
(% O <sub>2</sub> )	464.0	< 0.001	16.4	0.006
NH <sup>+</sup> -N (mg.L <sup>-1</sup> )	5.0	< 0.001	6.5	0.261
NO <sub>3</sub> -N (mg.L <sup>-1</sup> )	298.5	0.176	11.4	0.044
NO <sub>2</sub> -N (mg.L <sup>-1</sup> )	20.0	< 0.001	3.0	0.707
PO <sub>4</sub> -P (mg.L <sup>-1</sup> )	0.0	< 0.001	2.3	0.809

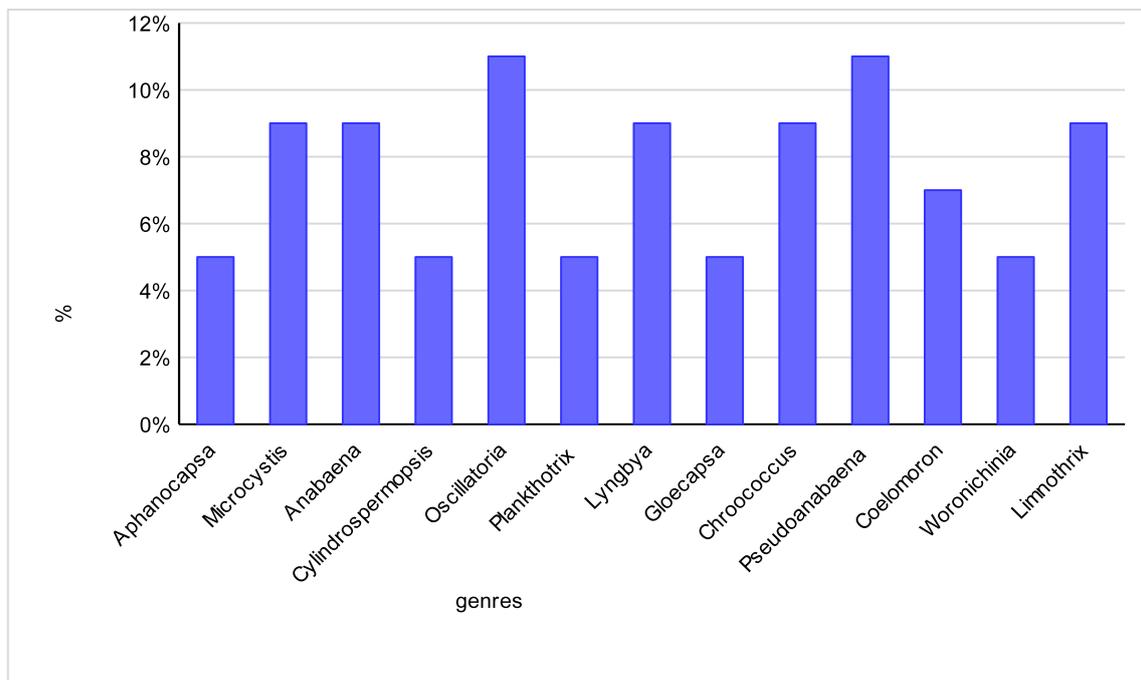
(site et l'effet de profondeur) appliqué sur chaque descripteur.

**Tableau 5**  
Présence des cyanobactéries selon les stations.

Abréviations	Taxons	Stations					
		St1	St2	St3	St4	St5	St6
	<i>Chroococcales</i>						
Apsp	<i>Aphanocapsa sp</i>	x	x				x
Misp	<i>Microcystis sp</i>	x	x	x	x		x
Chsp	<i>Chroococcus sp</i>	x		x	x	x	x
Cosp	<i>Coelomoron sp</i>	x	x	x	x		
Wosp	<i>Woronichinia sp</i>		x		x	x	
	<i>Hormogonales</i>						
Plsp	<i>Plankthotrix sp</i>			x	x		x
Lysp	<i>Lyngbya sp</i>	x	x	x		x	x
Glsp	<i>Gloecapsa sp</i>	x		x		x	
Ansp	<i>Anabaena sp</i>		x	x	x	x	x
Pssp	<i>Pseudoanabaena sp</i>	x	x	x	x	x	x
Cysp	<i>Cylindrospermopsis sp</i>		x			x	x
Ossp	<i>Oscillatoria sp</i>	x	x	x	x	x	x
Lisp	<i>Limnothrix sp</i>	x	x	x		x	x



**Figure 2:** Variation de la densité relative de cyanobactéries dominant dans les stations.



**Figure 3:** Fréquence de présence de cyanobactérie dans la zone d'étude.

La station 4 contient moins d'espèces de cyanobactéries (8 espèces de cyanobactéries) avec: *Microcystis* sp (Misp), *Anabaena* sp (Ansp), *Oscillatoria* sp (Ossp), *Planktothrix* sp (Plsp), *Chroococcus* sp (Chsp), *Pseudanabaena* sp (Pssp), *Coelomoron* sp (Cosp) et *Woronichinia* sp (Wosp) (Tableau 5).

#### Variations spatio-temporelles des paramètres biologiques

En saison sèche, la densité des cyanobactéries est plus importante qu'en saison pluvieuse. L'espèce *Aphanocapsa* sp (Apsp) a une densité de  $24.10^3$  cellules par ml sur la station St5 en saison sèche alors qu'en saison pluvieuse elle est de  $5.10^3$  Cellules par ml sur la même station. Les espèces *Oscillatoria* sp (Ossp), *Planktothrix* sp (Plsp), *Chroococcus* sp (Chsp), *Pseudanabaena* sp (Pssp) ont une plus forte densité en saison sèche qu'en saison pluvieuse (Figure 4).

La densité des espèces, *Microcystis* sp (Misp), *Cylindrospermopsis* sp (Cysp), *Coelomoron* sp (Cosp) et *Limnothrix* sp (Lisp) ne varient pas selon les saisons (saison pluvieuse et saison sèche). Les densités respectives sont:  $15.10^3$ ,  $9.10^3$ ,  $6.10^3$ ,  $5,2.10^3$  cellules par ml sur la même station selon les saisons. Cependant, il y a les espèces *Lyngbya* sp (Lysp), *Gloecapsa* sp (Glsp) et *Woronichinia* sp (Wosp) qui prolifèrent plus en saison de pluie qu'en saison sèche.

La densité de cinq taxons (*Aphanocapsa* sp (Apsp), *Oscillatoria* sp (Ossp), *Planktothrix* sp (Plsp), *Chroococcus* sp (Chsp) et *Pseudanabaena* sp (Pssp)) augmentent fortement en saison sèche qu'en saison pluvieuse, trois taxons seulement augmentent. Il s'agit de: *Lyngbya* sp (Lysp), *Gloecapsa* sp (Glsp) et *Woronichinia* sp (Wosp). déjà dit (Figure 4). La densité des espèces sur la station en fonction des sites révèle une très grande différence. Le nombre d'espèces de cyanobactéries et leur abondance sur chaque site varie selon les saisons (Figure 5). En saison sèche, la densité des espèces par station est fortement élevée de  $55.10^3$  à  $75.10^3$  cellules par ml contrairement à la saison pluvieuse, où le nombre varie seulement de  $28.10^3$  à  $52.10^3$  cellules par ml (Figure 5). Ces résultats montrent que les cyanobactéries semblent proliférer plus en saison sèche qu'en saison de pluie par contre la vitesse de l'eau et les matières en suspensions sont élevées en saison de pluie, le milieu offre une faible présence d'ombrage (5%) sur la partie encaissante, puis appréciable an aval (35%).

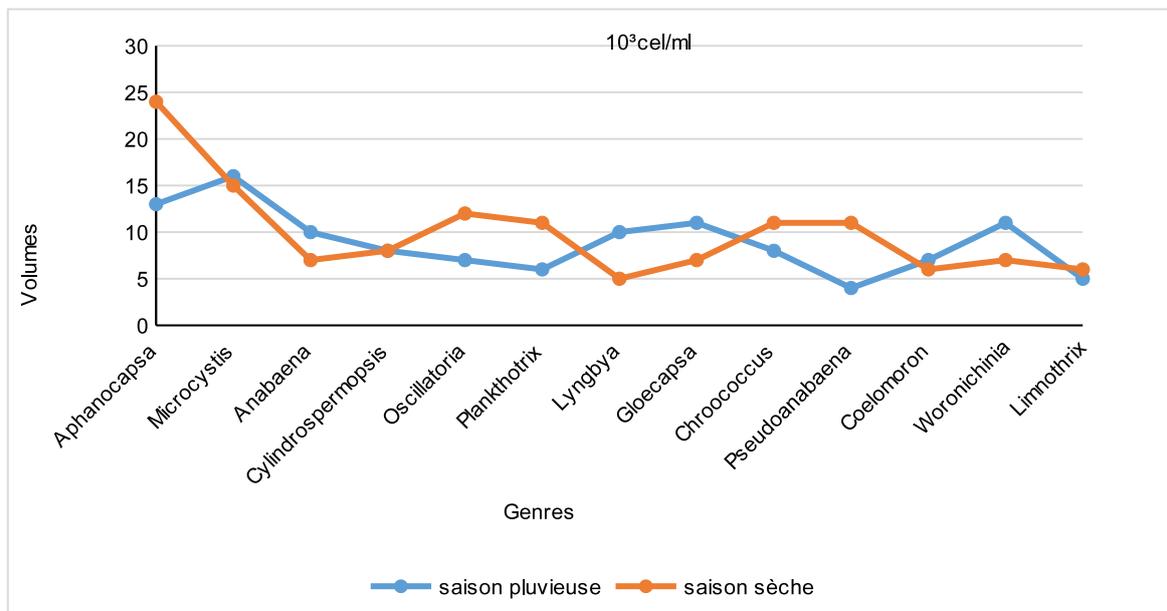


Figure 4: Abondance des taxons présents sur le site selon les saisons.

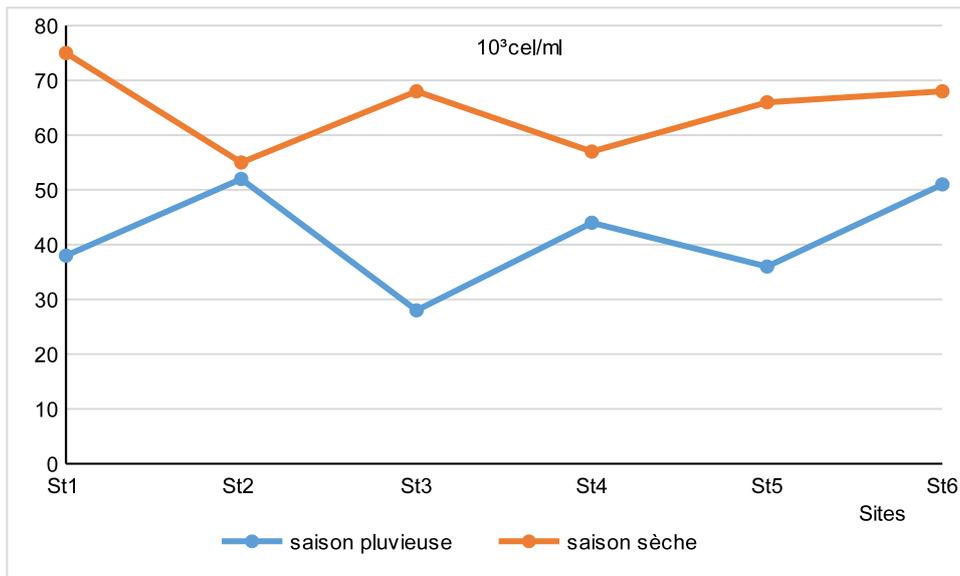


Figure 5: Abondance taxonomique des stations selon les saisons.

## Discussion

L'analyse physicochimique montre que ces caractéristiques semblent fortement être influencées principalement par la saison et secondairement par les stations. Les valeurs des différentes variables abiotiques observées ont approximativement les mêmes caractéristiques physicochimiques d'une station à l'autre. Cette ressemblance dans les valeurs des paramètres physicochimiques est liée aux caractéristiques des bassins versants qui sont assez semblables dans cette région. Ces résultats sont en accord avec ceux de (15) relatifs à la structure, au fonctionnement et à la dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire).

La température est aussi un facteur environnemental important pour la vie aquatique. Elle contrôle ainsi l'ensemble des processus biologiques (reproduction, croissance,...) liés à un environnement donné. Les températures enregistrées dans la rivière Lobo sont comprises entre 28,8°C et 33,4°C. Cet intervalle favoriserait la prolifération des cyanobactéries (28). Selon ces auteurs, les taux de croissance maximaux de la plupart des cyanobactéries sont atteints à des températures supérieures à 25°C avec un optimum entre 25 et 35°C. Cet intervalle de température expliquerait la variation de la densité des cyanobactéries en fonction des saisons.

Quand la température est élevée (saison sèche et une vitesse d'eau plus faible) on observe une augmentation de cyanobactérie avec des pics atteignant 75.10<sup>3</sup> cellules par ml d'eau. Les fleurs d'eau observées résultent d'une concentration importante de cyanobactéries stimulées par des températures élevées de l'eau favorisant leur sénescence. (6),

Dans la rivière Lobo le pH le plus élevé (basique) est de 8,64, relevé en petite saison pluvieuse et de 6,24, dans la grande saison sèche. Ces variations dépendent essentiellement des processus chimiques

mais aussi biologiques au sein du milieu. Les résultats montrent que les cyanobactéries prolifèrent plus en milieu à pH faible qu'en milieu basique comme l'a fait remarquer (15), dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Cependant, ce résultat est contraire à celui de (18) qui observe que les pH élevés sont à induire à la photosynthèse des cyanobactéries en masse et au maintien de leur dominance. Leur présence à pH acide est peut-être due au pouvoir tampon de l'eau plus élevée montré par une conductivité plus importante entre les saisons sèches et pluvieuses. Dans ce cas les biomasses algales présentes ne suffisent pas à augmenter plus le pH. En saison pluvieuse, l'oxygène dissous est plus élevé (8,1 mg L<sup>-1</sup>) car l'eau circule plus et ne facilite pas sa consommation par les bactéries. L'oxygène dissous est un élément indispensable entre les composantes minérales et organiques des milieux lacustres (9). Il intervient dans les processus d'oxydation par des organismes aquatiques pour la respiration, (1). La teneur en oxygène dissous dans le milieu est dépendante de la température et de la pression atmosphérique. Sa réduction en saison sèche (3,61 mg L<sup>-1</sup>) a peu d'influence sur les cyanobactéries contrairement aux autres groupes d'algues.

Les cyanobactéries peuvent utiliser le bicarbonate comme source de carbone inorganique en plus du CO<sub>2</sub>, ce qui peut être un avantage compétitif lorsque le pH est élevé et que le système (milieu) est concentré en bicarbonate mais faible en CO<sub>2</sub>, (27). La conductivité de l'eau varie de 76,2 µS/cm à 146 µS/cm sur l'ensemble des stations. Ces valeurs traduisent un apport de minéraux par les phénomènes d'érosion du bassin versant. Dans la rivière Lobo, les concentrations les plus élevées de chaque élément nutritif sont pour les nitrates (1,54 mg L<sup>-1</sup>), les nitrites (0,011 mg L<sup>-1</sup>),

l'ammonium ( $0,112 \text{ mg L}^{-1}$ ) et le phosphore soluble ( $0,71 \text{ mg L}^{-1}$ ). Ces concentrations d'azote (nitrates, nitrites, ammonium) et du phosphore proviennent des décompositions des végétaux par les bactéries et surtout du lessivage des terres cultivées en période pluvieuse. La retenue d'eau de la Lobo a été créée pour répondre aux besoins d'eau potable pour la consommation de la population de Daloa. Les populations riveraines utilisent également l'eau de cette rivière pour leurs besoins agricoles, domestiques et pour l'abreuvement de leur bétail. C'est une station dont le bassin versant est dominé par des zones agricoles qui sont probablement, la source principale des éléments nutritifs après lessivage des terres contenant de l'engrais chimique et ou organique. Les lacs et les rivières dont les bassins de drainage sont grandement influencés par les activités agricoles, affichent de façon épisodique des concentrations élevées en éléments nutritifs notamment en phosphore, pouvant changer la structure du phytoplancton vers une dominance de cyanobactéries (13).

Les limites de concentrations des nitrates ( $\text{mg L}^{-1}(\text{NO}_3^-)$ ) dans l'eau potable sont variables, et ne présente aucun risque lorsqu'elle est inférieure  $< 0,2$  lorsqu'elle se situe entre  $0,21 - 3,0$  le risque est très mineur, et est modéré quand ces limites se situent entre  $3,1 - 10$ . De ce fait les concentrations trouvées ont un impact faible sur la santé. En ce qui concerne la teneur en nitrates et nitrites des puits, il semble que les teneurs les plus élevées se retrouvent généralement dans les régions où les activités agricoles sont plus intenses.

Les nitrites sont en concentration très faibles dans la rivière Lobo, de  $0,0001 \text{ mg L}^{-1}$  à  $0,011 \text{ mg L}^{-1}$ . Ce sont des formes intermédiaires, résultant de l'oxydation des matières organiques azotées. Ils ne se maintiennent que dans les milieux peu oxygénés, car, instables ils ont tendance à s'oxyder en nitrates (9). Les nitrites constituent une forme de transition lors de l'oxydation de l'ammonium ou de la réduction des nitrates.

Le rapport N/P (azote total sur phosphore total) de la rivière Lobo est de 12,494 en mars: rapport supérieur à 7. Le phosphore représente le facteur limitant et l'azote favorise la prolifération de certains genres de cyanobactéries.

Dans les autres mois, surtout en Septembre (N/P = 0,44) et en Juin (N/P= 0,609), le rapport N/P  $< 7$ . L'azote représente le facteur limitant et le phosphore favorise d'autres genres de cyanobactéries. Le rapport N/P permet de déterminer si l'un ou l'autre ou les deux nutriments ont été épuisés au point de limiter la croissance des phytoplanctons. D'après (29), si le rapport de masse des concentrations N/P est inférieur à 7, l'azote deviendra probablement le facteur limitant et si le rapport est supérieur à 7, ce sera plutôt le phosphore. Si le rapport est d'environ 7, les deux éléments ou mêmes d'autres facteurs telles

que la lumière ou la température pourraient être limitant. Ainsi, dans la rivière Lobo en mars (saison sèche), beaucoup de végétaux utilisant l'azote auront diminué. L'azote et le phosphore seront stockés dans le sédiment du cours d'eau, et favoriseront la prolifération du phytoplancton. L'hypothèse de l'azote inorganique, Cronberg et Annadotter (6) suggèrent que les cyanobactéries non-fixatrices d'azote sont favorisées par l'azote sous forme d'ammonium, alors que les autres groupes d'algues (eucaryotes) sont favorisées par l'azote sous forme de nitrates. Les cyanobactéries fixatrices d'azote (les Nostocales) sont pour leur part favorisées en condition de limitation d'azote car possédant un avantage compétitif, puisque la migration leurs permet de faire des réserves de phosphore près des sédiments. Ainsi, le rapport stœchiométrique N/P peut être un bon indicateur de l'évolution des communautés cyanobactérienne de la rivière Lobo (Daloa). La coloration de l'eau de la rivière Lobo est tantôt marron (sombres) fortes présences des matières en suspensions (MES) tantôt verdâtre (algues). Dans un plan d'eau, la transparence varie en fonction de l'abondance des particules en suspension (argile, limon,...) et du phytoplancton (algues, cyanobactéries,...). La phase des eaux claires (transparence) est à rattacher au développement des communautés zooplanctoniques (17). Ces derniers contribuent significativement par le broutage du phytoplancton à la clarification des eaux dans les lacs et réservoirs, (34). Les conditions stables et turbides de l'eau pourraient avantager les cyanobactéries en leur procurant des conditions optimales de croissance (18). Il apparait que la biomasse cyanobactérienne en suspension dans la colonne d'eau (rivière la Lobo) est mieux adaptée à la faible luminosité que ne le sont pas les autres algues planctoniques.

Enfin, aucune de ces hypothèses n'est en mesure d'expliquer individuellement l'apparition d'une fleur d'eau de cyanobactéries et ces hypothèses ne sont pas mutuellement exclusives. De plus, il semble que plusieurs études mentionnées dans la littérature ont obtenu des conclusions contradictoires. Toutefois, aucun facteur pris individuellement n'est en mesure de prédire ou d'expliquer la cause de la dominance des cyanobactéries sur les eucaryotes.

Selon (31), les eaux riches en nutriments, de température comprise entre  $15$  et  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  et de pH variant de  $6$  à  $9$  sont favorables à une prolifération de cyanobactéries. En outre, la prédominance de ces algues pourrait être liée à leur capacité de produire des toxines leur permettant de limiter leur prédation par les poissons et le zooplancton (20). Par ailleurs, dans les cours d'eau étudiés, la densité maximale des cyanobactéries de  $15\ 000$  cellules/ml n'excède pas le niveau 1 d'alerte ( $20\ 000$  cellules/m) fixé par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Dans le cas de masses d'eau servant à la potabilisation afin d'éviter les risques sanitaires (25).

## Conclusion

L'abondance des cyanobactéries serait liée aux saisons (saison des pluies et saison sèche) et elles prolifèrent mieux en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Au niveau de la composition spécifique cyanobactérienne, 13 taxons ont été dénombrés. Les paramètres physico-chimiques qui ont permis aux cyanobactéries de coloniser la Lobo sont:

- la température de l'eau: leur (cyanobactéries) optimum de croissance se situe, pour la plupart, à des températures plus élevées que l'ensemble des phytoplanctons, 25°C et plus;

- La teneur en CO<sub>2</sub>: les cyanobactéries, pouvant utiliser les ions bicarbonates quand les teneurs en CO<sub>2</sub> sont faibles (pH élevé);
- la capacité à assimiler et à faire des réserves en phosphore et en azote;
- le rapport N/P: ces microorganismes, avec ou sans azote ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique. Ces avantages compétitifs ne permettent toutefois pas d'expliquer à eux seuls la dominance et la persistance des cyanobactéries dans l'eau.

## Références bibliographiques

1. Aminot A., 1983, *Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Caractéristiques physicochimiques*. Centre National de l'exploitation des océans, 75p.
2. Anagnostidis K. & Komárek J., 1988, Modern approach to the classification system of cyanophytes 3- Oscillatoriales, *Algol. Stud.*, **50-53**, 327-472.
3. AFSSA & AFSSET. 2006. *Rapport sur l'évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives*.
4. Avenard J.M., 1971, *Aspect de la géomorphologie: Milieu naturel de Côte d'Ivoire*. Mémoire ORSTOM, Paris, France, **50**, 8 - 73
5. Cecchi P., Arfi R. & Berger C., 2005, *Cyanobactéries, potentiel toxique et ressources en eau du Burkina-Faso*, Rapport de mission, 35 p.
6. Cronberg G., & Annadotter H., 2006, *Manual on aquatic cyanobacteria*. A photo guide and a synopsis of their toxicology, International Society for the Study of Harmful Algae and the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation, 106 p.
7. Die K., 2006, *Renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Daloa à partir du barrage de Buyo en Côte d'Ivoire*, mémoire de fin de formation, 77 p.
8. Dokulil M., Chen W., & Cai Q., 2000, Anthropogenic impacts to large lakes in China: the Tai Hu example, *Aquat. Ecosyst. Health Manage.*, **3**, 81 – 94.
9. Dussart B., 1992, *Limnologie. L'étude des eaux continentales*. 2<sup>ème</sup> édition. Collection « faunes et flores actuelles ». 680 p.
10. Kalpy J., Coulibaly N. Grogas M.K., Soumahoro M., Koudougou J.E., Ebrotie-Brou M.T., Kouassi-haouley, Ouattara A., Faye-kette H. & Dosso M., 2014, Essai préliminaire de mise en œuvre de culture de cyanobactérie en Côte d'Ivoire, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **8**, 2, 551-565,
11. Komárek J. Anagnostidis K., 2005, *Cyanoprokaryota. 2. Teil. Oscillatoriales*. in: Süßwasserflora von Mitteleuropa. E. H., Gärtner G. , Heynig H. & Mollenhauer D., Stuttgart-Jena, 759 p.
12. Krienitz L., Ballot A., Wiegand C., Kotut K., Codd G.A. & S. Pflugmacher S., 2002, Cyanotoxin-producing bloom of *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena discoidea* and *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) in Nyanza Gulf of Lake Victoria, Kenya, *J. Appl. Bot.- Angew. Bot.*, **76**, 5-6, 179-183.
13. Giroux I., Robert C., & Dassylva N., 2006, *Présence de pesticides dans l'eau au Québec: bilan dans des cours d'eau de zones en culture de maïs et de soja en 2002, 2003 et 2004, et dans les réseaux de distribution d'eau potable*. MDDEP, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Direction des politiques de l'eau et pour caractériser l'exposition aux cyanobactéries sur des plans d'eau à usage récréatif. Mémoire d'Ingénieur, Ecole Nationale de Santé Publique, Renne, 72p.
14. Grogas N., 2012, *Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire)*. Doctorat unique, Université Toulouse, 244 p.
15. Grogas N., Allassane O., Sébastino D.C., Alain D., Olivier B., Jacques M., Germain G., & Pascal L., 2012, Water quality and water-use conflicts in Lake Taabo (Ivory Coast). *Open J. Ecol.*, **2**, 1, 38-47.
16. Ihaka R., & Gentleman R., 1996, A language for data analysis and graphics, *J. Comput. Graphical Stat.*, **5**, 299 - 314.
17. Jabari E., 1998, *Structure et dynamique des populations zooplanktons de la retenue de barrage Allal El Fassi*. Thèse de doctorat, 3<sup>ème</sup> cycle Université SMBA, Tunisie, 197p.
18. Jacoby J.M., Collier D.C., Welch E.B., Hardy F.J., & Crayton M., 2000, "Environmental factors associated with a toxic bloom of *Microcystis aeruginosa*", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **57**, 231 - 240.

19. Jaeg J.P., 2007, Microcystines, intoxication des animaux domestiques et sécurité des aliments d'origine animale, *Rev. Méd. Vét.*, **158**, 2, 46 - 58
20. Lavoie I., Laurion I., & Vincent W.F., 2007, *Les fleurs d'eau de cyanobactéries, document d'information vulgarisée*. INRS rapport no 916, 120 p.
21. Li L. 2010. *Séquestration biologique du carbone par les cyanobactéries*. pHD Thèse, Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon, p 208.
22. Lüring M., & Faassen E.J., 2013, Dog Poisonings Associated with a Microcystis aeruginosa Bloom in the Netherlands, *Toxins*, **5**, 556 - 567.
23. Malmqvist B., & Rundle S., 2002, Threats to the running water ecosystems of the world, *Environ. Conserv.*, **29**, 2, 134-153 (in press).
24. Merwe V D.D., Sebbag L., Nietfeld J.C., Aubel M.T., Foss A., & Carney E., 2012, Investigation of a Microcystis aeruginosa cyanobacterial freshwater harmful algal bloom associated with acute microcystin toxicosis in a dog, *J. Vet. Diagn. Invest.*, **24**, 4, 679 - 687.
25. OMS, 2003, *Guidelines for safe recreational water environments*. Volume **1**, Coastal and Freshwaters. Organisation Mondiale de la Santé.
26. Pearson L., Mihali T., Moffitt M., Kellmann R., & Neilan B., 2010, On the Chemistry, Toxicology and Genetics of the Cyanobacterial Toxins, Microcystin, Nodularin, Saxitoxin and Cylindrospermopsin, *Mar. Drugs*, **8**, 1650 - 1680.
27. Pick F.R., & Lean D.R.S., 1987, "The role of macronutrients (C, N, P) in controlling cyanobacterial dominance in temperate lakes", *N. Zeal. J. Mar. Freshwat. Res.*, **21**, 425 - 434.
28. Robarts R.D., & Zohary T., 1987, Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria, *N. Zeal. J. Mar. Freshwat. Res.*, **21**, 391 - 399.
29. Ryding S. O., & Rast W., 1994, *Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs*. Masson, Paris, 294 p.
30. Thomazeau S., 2010, *Systématique de cyanobactéries du continent africain par une approche polyphasique & scénarios évolutifs*. Thèse de doctorat en Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 496 pages.
31. Skulberg O.M., Underdal B. & Utkilen H., 1994, Toxic waterblooms with Cyanophytes in Norway-current knowledge, *Archiv für Hydrobiologie Supplement 105, Algologia Stud.*, **75**, 279 - 289.
32. Tazi O., Fahde A., & El Younoussi S., 2001, Impact de la pollution sur l'unique réseau hydrographique de Casablanca, Maroc, *Sécheresse*, **12**, 129-134.
33. Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S. & Olivier J.M., 1997, ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software, *Stat. Comput.*, **7**, 75 - 83.
34. Tuzin D., & Mason, 1996, *La clarification des eaux dans les lacs réservoirs*, 56p.
35. Vazquez G., & Favila M.E., 1998, Status of the health conditions of subtropical Atezea lake, *Aquat. Ecosyst. Health Manage.*, **1**, 245 - 255.
36. Yao A.B., Goula B.T.A., Kouadio Z.A., Kouakou K.E., Kane A. & Sambou S., 2012, Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide: cas du bassin versant de la Lobo au centre-ouest de la côte d'Ivoire, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, **9**, 136 - 157.

N. Goga, Ivoirien, PhD, Enseignant-chercheur, Université Jean Lorougon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

T. N. Akedrin, Ivoirien, PhD, Enseignant-chercheur, Université Jean Lorougon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

K. Komoé, Ivoirien, PhD, Enseignant-chercheur, Université de Félix Houphouët Boigny Cocody, U.F.R. Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire.

K.Thiegba, Ivoirien, MSc, Université Jean Lorougon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

D. S. Akaffou, Ivoirien, PhD, Enseignant-chercheur, Université Jean Lorougon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

A. Ouattara, Ivoirien, PhD, Professeur Titulaire, Université de Nanguy Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire.

## Vingt-cinq ans de monitoring de la dynamique spatiale des espaces verts en réponse à l'urbanisation dans les communes de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo)

Y. Useni Sikuzani<sup>1,2\*</sup>, S. Cabala Kaleba<sup>1</sup>, C. Nkuku Khonde<sup>2,3</sup>, Y. Amisi Mwana<sup>4</sup>, F. Malaisse<sup>5</sup>, J. Bogaert<sup>5</sup> & F. Munyemba Kankumbi<sup>1,2</sup>

**Keywords:** Green space- Landscape metrics- Spatial process- Urbanization- DR Congo

### Résumé

*Cette étude a évalué la dynamique spatio-temporelle des espaces verts en réponse à la croissance spatiale urbaine au niveau des sept communes de la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo, entre 1989 et 2014. L'approche cartographique couplée aux indices de structure spatiale a révélé que, depuis 1989, la proportion du bâti a progressivement augmenté dans les communes au détriment des espaces verts qui ont enregistré une dynamique régressive. En 25 ans, la superficie des espaces verts a régressé dans toutes les communes, conséquence d'une pression démographique rapide couplée à l'absence de programme approprié pour leur préservation. En termes de processus de transformation spatiale, leur dynamique a été dominée par la suppression, la fragmentation et la dissection; ceci par opposition à la création et l'agrégation qui ont caractérisé les zones bâties. Nos observations justifient le besoin d'une politique de gestion durable des espaces verts qui tient compte du contexte socio-économique de chaque commune.*

### Summary

#### Twenty-five Years of Monitoring of Green Space Pattern Dynamics in Response to Urbanization in the Municipalities of Lubumbashi City (Upper Katanga, DR Congo)

*This study assessed the spatial-temporal dynamics of green spaces in response to urban growth for the seven municipalities of Lubumbashi city, Democratic Republic of the Congo between, 1989 and 2014. Pattern analysis revealed that since 1989, the built-up proportion has gradually increased in all municipalities at the expense of green space area as a result of rapid demographic pressure coupled with a lack of an appropriate program for their preservation. In terms of pattern dynamics, green space extent has been dominated by attrition, fragmentation and dissection processes. This is opposed to creation and aggregation which characterized built-up areas. Our observations emphasize the need for a sustainable management of green spaces that takes into account the socio- economic context of each municipality.*

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

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

<sup>3</sup>Université de Lubumbashi, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département des Sciences Historiques, Lubumbashi, R.D. Congo.

<sup>4</sup>Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences, Département de Géographie, Lubumbashi, R.D. Congo.

<sup>5</sup>Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique..

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

Reçu le 24.03.17 et accepté pour publication le 22.05.17

## Introduction

Les espaces verts correspondent aux surfaces recouvertes de végétation (22) dont la présence en milieu urbain contribue à fournir des services écosystémiques divers comme la purification de l'air et de l'eau, la régulation du microclimat ou le traitement des déchets (11, 39). Leur présence offre également aux populations des plaisirs esthétiques, des possibilités de loisirs et un bien-être physique et psychologique (26). Toutefois, l'urbanisation croissante qui s'observe avec le développement dans la plupart des pays du Sud depuis la fin du 20<sup>ème</sup> siècle (46), est accompagnée de la suppression des espaces verts et leur remplacement par des occupations du sol de nature anthropique (7, 22, 31), avec de nombreux effets néfastes sur l'environnement, notamment la perturbation des écosystèmes menant à la réduction de la biodiversité (16).

Environ 70% des villes de plus d'un million d'habitants sont localisées dans les pays du Sud, où l'on prévoit une augmentation de plus de 2 milliards de personnes au cours des 30 prochaines années (1), impliquant une potentielle augmentation de la pression anthropique sur les paysages naturels (8). Cette situation sera particulièrement inquiétante dans les pays africains qui présentent déjà des proportions plus élevées en termes de pression sur les ressources naturelles (12, 20).

La ville de Lubumbashi n'échappe pas à cette tendance. Fondée en 1910 sur les activités minières, cette ville se caractérise pour la période de 2010-2015 par une croissance démographique annuelle de près de 5% (46). Un tel phénomène a amplifié la pression anthropique sur ses ressources naturelles, matérialisée à travers la dégradation continue de sa couverture végétale (naturelle) en réponse à l'expansion spatiale urbaine rapide depuis l'indépendance du pays (13, 37, 38). En effet, la proportion de végétation naturelle qui était d'environ 86% en 1956 a été réduite à ~14% en 2009 (37). Bien qu'il soit clairement constaté que des changements spatiaux considérables ont été observés dans la ville de Lubumbashi au cours des cinquante dernières années, aucune information n'existe à ce jour sur la dynamique de l'occupation du sol au niveau de ses communes définies comme les subdivisions administratives de la ville. Pourtant, ces communes varient dans leurs caractéristiques socio-économiques (40), ces dernières ayant une large influence sur la dynamique des paysages (7).

De nombreuses études mettent en évidence la nécessité de comprendre l'impact local de l'expansion urbaine et du changement du couvert végétal sur la biodiversité (32). Elucider les différents patrons spatiaux qui pourraient émerger entre les communes de la ville de Lubumbashi est primordial pour assister les décideurs et aménageurs dans l'élaboration

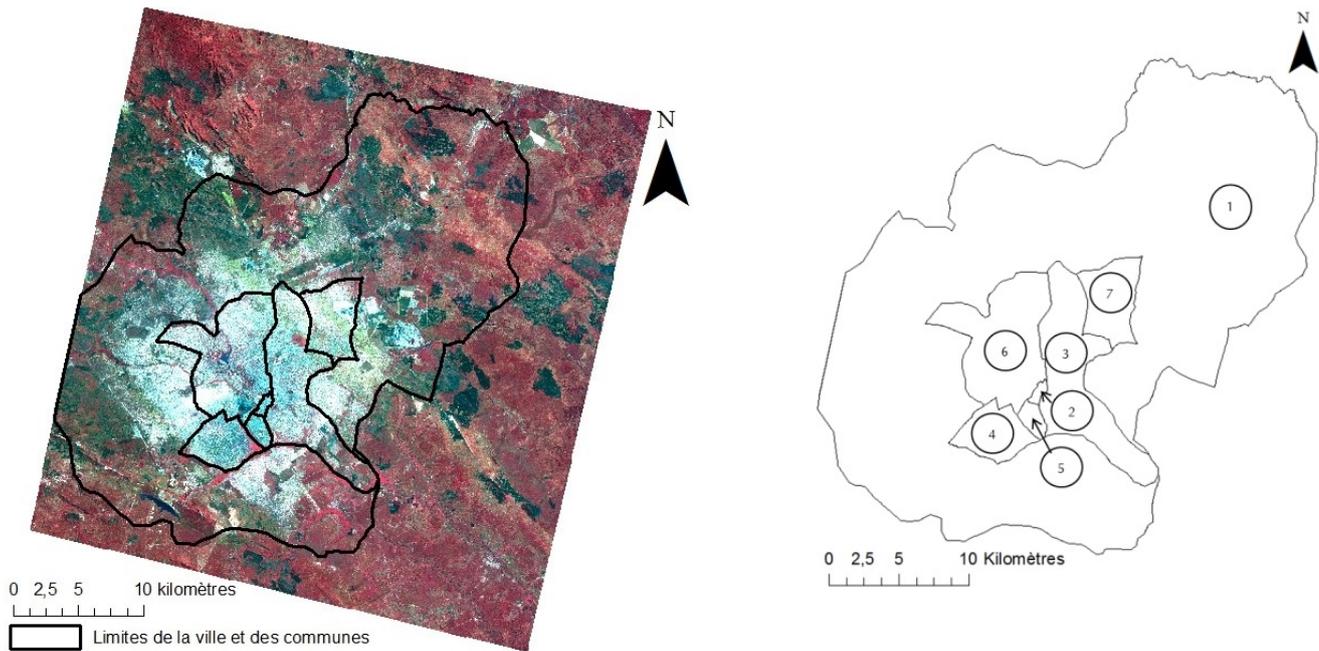
d'outils efficaces d'aménagement du territoire et de gestion des rares espaces verts qui subsistent à l'échelle de la ville (37).

La présente étude s'appuie sur la télédétection, les systèmes d'information géographiques et les indices de structure spatiale pour caractériser les interactions entre la croissance spatiale urbaine et la dynamique spatio-temporelle des espaces verts. Nous avons émis l'hypothèse selon laquelle le changement observé dans la structure spatiale des espaces verts serait la conséquence de la mauvaise gestion de la croissance spatiale urbaine qui se produit à vitesses variées à l'échelle des communes. A cet effet, les tendances évolutives de la dynamique paysagère urbaine ont été analysées dans chacune des sept communes de la ville de Lubumbashi et les processus de transformation spatiale qui sous-tendent ces changements ont été identifiés.

## Méthodes

### Milieu d'étude: la ville de Lubumbashi et ses sept communes

La ville de Lubumbashi (11°27'-11°47'S et 27°19'-27°40'E), chef-lieu de la province du Haut-Katanga en R.D. Congo, couvre près de 747 km<sup>2</sup> (40) et comprend sept communes (Figure 1) qui ont été étudiées séparément, mais dont une porte le même nom que la ville. Pour cette raison, nous parlerons de la "ville de Lubumbashi" pour désigner l'ensemble des communes et de "Lubumbashi" pour désigner l'entité communale. Avec une altitude oscillant entre 1200 et 1300 m, la ville de Lubumbashi présente un climat de type C<sub>w</sub> du système de classification de Köppen (27). La plupart des auteurs reconnaissent une saison sèche (de mai à septembre), une saison des pluies (novembre à mars) et deux mois de transition (avril et octobre) (3). Cependant, il a été suggéré l'existence de 5 saisons définies à partir d'observations phénologiques portant sur la végétation (28): la saison sèche froide (mai-juillet), la saison sèche chaude (août-septembre), la saison des pluies précoces (octobre-novembre), la pleine saison des pluies (décembre-février) et la saison des pluies tardives (mars-avril). Ce schéma reste valable, même si des études récentes montrent une tendance à une modification, notamment un début des pluies plus tardif et des précipitations moyennes annuelles plus faibles (18), de l'ordre de 1047 mm pour la période 1970-2005 (34). Pour la seconde moitié du siècle dernier, la température moyenne annuelle était de l'ordre de 20,1 °C (27), mais un réchauffement en cours a été mis en évidence (19). Les sols dominants sont de type ferrallitique, majoritairement représentés par des sols jaunes et rouges (27).



La composition colorée a été réalisée à partir des bandes spectrales proche infra-rouge, rouge et vert. Les couleurs tendant au rouge caractérisent la végétation et celles tendant au blanc représentent le bâti et le sol nu. Les superficies de communes utilisées dans ce travail et issues du fichier vectoriel produit conjointement par le laboratoire de Cartographie de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi et la Mairie de la ville de Lubumbashi, sont de 634,4 km<sup>2</sup> (Annexe), 1,3 km<sup>2</sup> (Kamalondo), 51,8 km<sup>2</sup> (Kampemba), 16,1 km<sup>2</sup> (Katuba), 3,5 km<sup>2</sup> (Kenya), 50,7 km<sup>2</sup> (Lubumbashi) et 29,5 km<sup>2</sup> (Ruashi).

**Figure 1:** Localisation de la ville de Lubumbashi et des communes Annexe (1), Kamalondo (2), Kampemba (3), Katuba (4), Kenya (5), Lubumbashi (6) et Ruashi (7) sur base de la classification supervisée des images SPOT de 2014.

La végétation naturelle boisée, actuellement dans un état fragmenté, se trouve à plusieurs kilomètres de la ville (3, 27, 37); il convient de noter que cette lecture de l'ampleur de la déforestation autour de la ville de Lubumbashi demeure contestée en termes méthodologiques (47). Une bande de marécages traverse la ville le long des rivières Kafubu et Lubumbashi, tandis qu'une ceinture de végétation anthropisée l'entoure (37, 48). L'agriculture, l'élevage résidentiel, les services, l'exploitation minière et le commerce sont les principales activités (40) d'une population qui a approché 2 millions d'habitants en 2014 (46).

### Cartographie

Le choix des images SPOT utilisées a été dicté par leur disponibilité ainsi que leur haute résolution spatiale (10-20m) qui permet une meilleure identification des éléments du paysage (35). Six scènes prises en saison sèche sur la période de 1989-2014, avec un pas de temps variant entre 3-7 ans, et issues des capteurs HRV2 (du 12/07/1989 et 29/08/1996), HRG2 (du 16/07/2002, 18/06/2008 et 20/06/2014) et HRVIR2 du 13/08/2005, ont été utilisées. Les logiciels ENVI 4.5 et ArcGIS 10.1 ont servi pour le traitement des images.

En utilisant l'ellipsoïde de référence WGS-84, les six images SPOT ont été géoréférencées dans le référentiel UTM Zone 35S qui correspond à la ville de Lubumbashi. Les images SPOT de 1989, 1996, 2002, 2005 et 2014 ont été corrigées géométriquement en utilisant l'image SPOT de 2008 comme référence. Cette opération a été suivie du ré-échantillonnage cubique des pixels de résolution 20 m (HRV2 et HRVIR2) à 10m (HRG2), qui préserve les valeurs radiométriques (29, 30).

### Classification

Une composition colorée a été réalisée à partir des bandes spectrales vert, rouge et proche infra-rouge, pour chacune des dates retenues, suivie d'une classification non supervisée (30). Les bandes rouge et proche infra-rouge sont les plus utilisées car elles permettent de discriminer au mieux la végétation (5). A l'issue de la classification non supervisée, un premier regroupement des classes a été réalisé sur base de l'image Google Earth de 2014, d'anciennes cartes d'occupation du sol de la zone d'étude, de nos connaissances du terrain et des caractéristiques radiométriques des classes d'occupation du sol.

**Tableau 1**  
Précisions de la classification supervisée des images SPOT de 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 appuyée sur l'algorithme du 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

Sur base des travaux de terrain et du fait de la connaissance du milieu et des valeurs spectrales des classes retenues, des zones d'entraînement représentatives de différentes classes d'occupation du sol ont été identifiées. Ensuite, une classification supervisée par l'algorithme du maximum de vraisemblance a été adoptée. Neuf classes d'occupation du sol (bâti, sol nu, terril-zone brûlée, champ, savane herbeuse, savane boisée, forêt, marécage et plan d'eau) ont été identifiées suite à cette classification supervisée et ont été reclassifiées en fonction de l'objectif de la présente étude. Afin de vérifier la fiabilité de la classification, 760 points de contrôle ( $\geq 60$  points par classe d'occupation du sol avant reclassification) préalablement choisis et représentatifs de l'occupation du sol de la zone d'étude, ont été visités. Ainsi, la matrice de confusion a été élaborée à travers le calcul de la précision globale et du coefficient de Kappa (14). Pour réduire l'effet «sel et poivre», un filtre majoritaire de  $8 \times 8$  a été appliqué aux images classifiées. Les images ont été vectorisées et les polygones relatifs aux différentes communes ont été extraits.

### Analyse de la dynamique structurale dans les communes

Pour caractériser la structure spatiale dans les sept communes de la ville de Lubumbashi, trois indices de structure spatiale, incluant l'aire totale des taches de classes d'occupation du sol, le périmètre total des taches de classes et la densité de taches (nombre de taches divisé par l'aire de la commune), ont été calculés. Ces indices ont été jugés pertinents pour renseigner sur la fragmentation du paysage (8, 9, 25). Le rapport de l'aire totale des espaces verts par le nombre total de résidents de chaque commune a permis de déterminer l'aire des espaces verts pour 1000 résidents pour l'année 2014. Les processus de transformation spatiale qui sous-tendent les changements spatiaux observés (7, 29, 42) ont été identifiés grâce à l'arbre de décision (10) qui s'est appuyé principalement sur l'évolution, pour une classe donnée, des indices cités ci-dessus entre deux dates. La valeur de  $t = 0,05$  a été utilisée pour dissocier le processus de fragmentation de la dissection, avec des valeurs supérieures à 0,5 suggérant une dissection, tandis que celles inférieures ou égales à 0,5 ont indiqué la prévalence de la fragmentation (5).

## Résultats

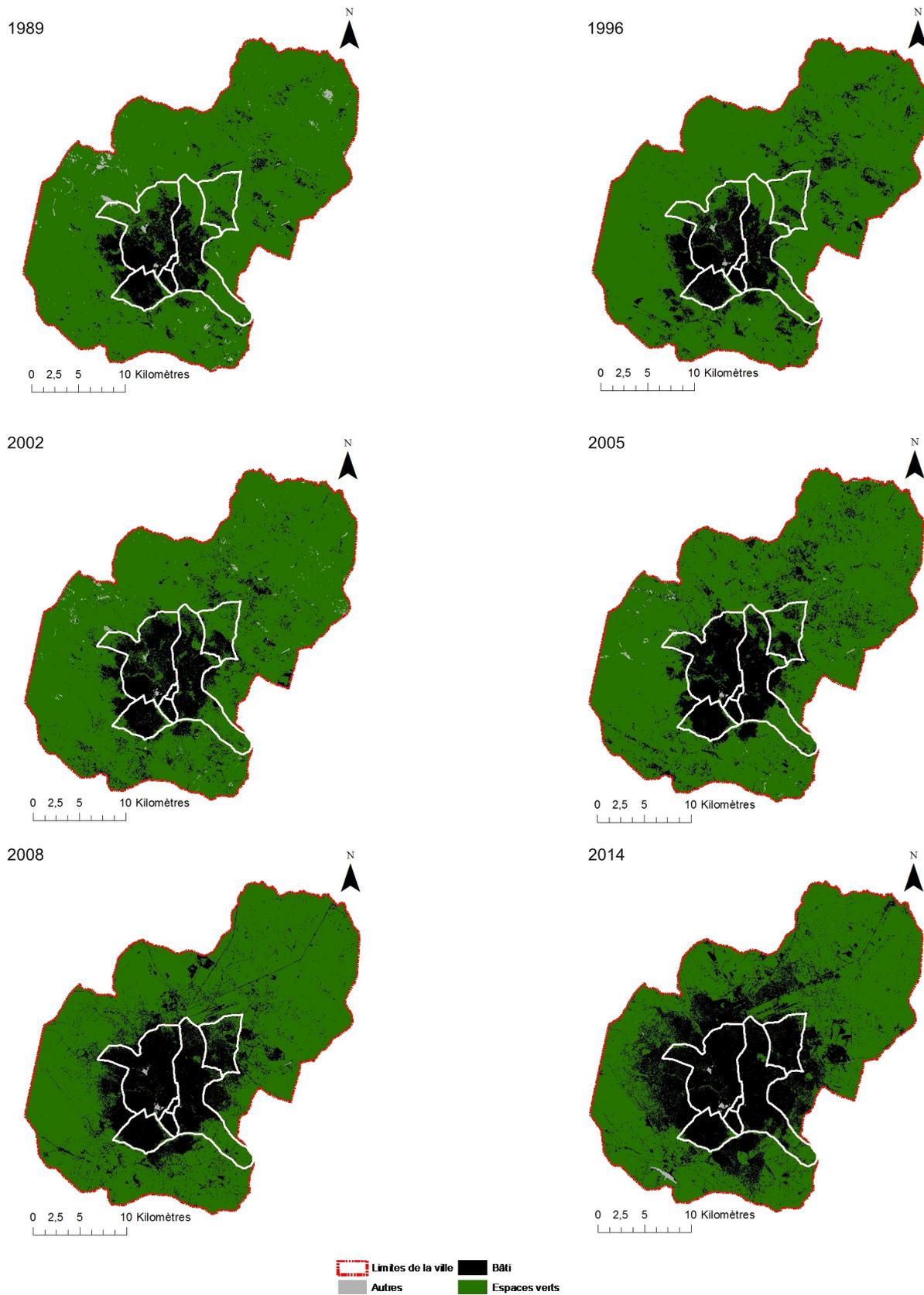
### Classification et cartographie

Trois classes d'occupation du sol ont été obtenues après la reclassification, en adéquation avec l'objectif de la présente étude. Il s'agit des classes relatives au développement urbain, à savoir le «bâti» (bâti et sol nu), les «espaces verts» (forêt, savane herbeuse, savane boisée, champ et marécage) et une classe regroupant les autres occupations du sol (terril-zone brûlée et plan d'eau). Les résultats de l'analyse de la matrice de confusion ont révélé des valeurs de précision globale de 89% à 98% et celles de l'indice Kappa oscillant entre 87% et 98% (Tableau 1). Ces valeurs suggèrent que toutes les classes d'occupation du sol étaient globalement bien discriminées (24). Les différentes classes d'occupation du sol dont la structure spatiale a fortement changé entre 1989 et 2014, sont présentées à la figure 2.

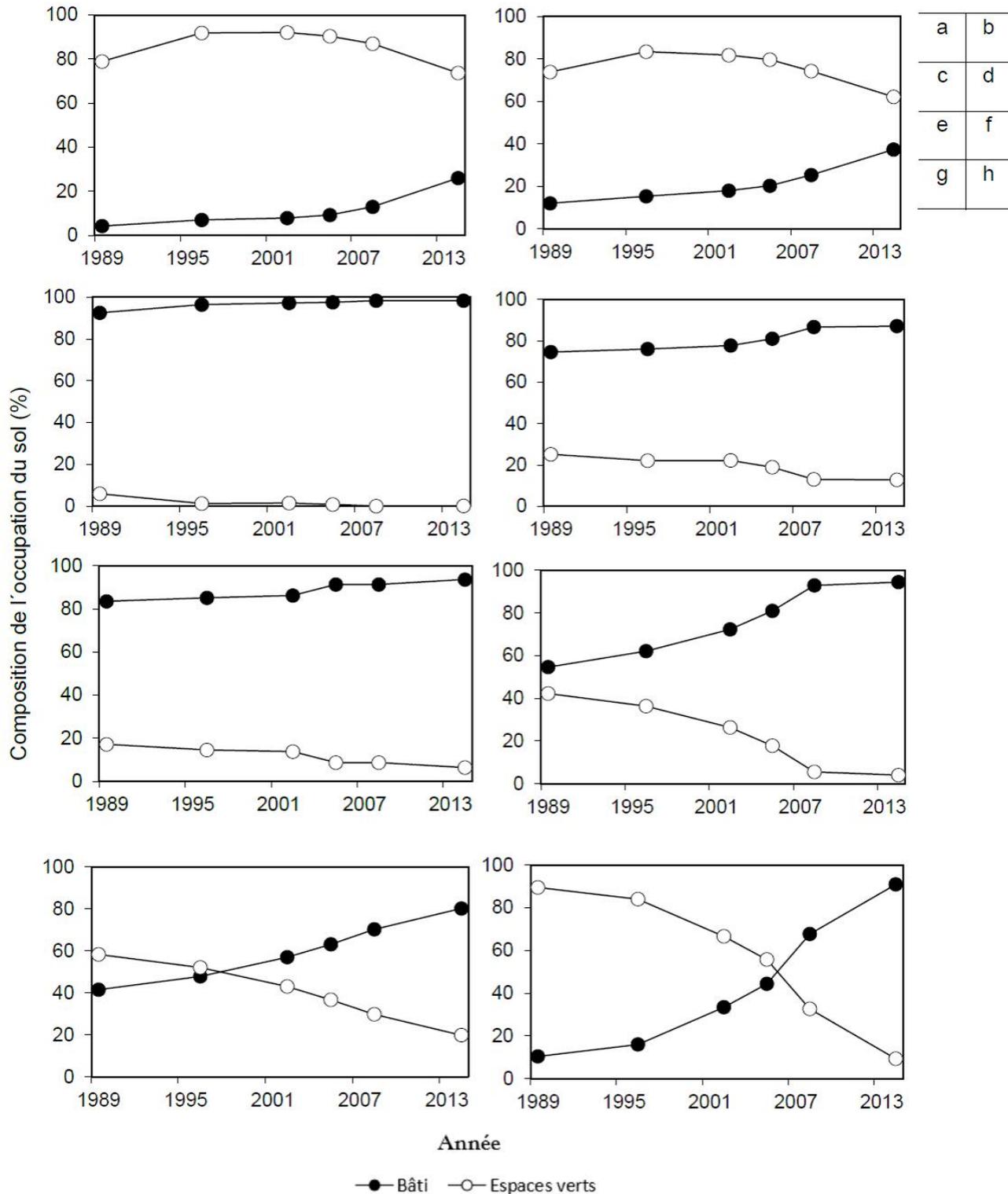
L'analyse visuelle révèle que le bâti s'est rapidement étendu dans les différentes communes, entraînant une importante régression des espaces verts et de la classe des autres occupations du sol. Les autres classes d'occupation du sol ont été exclues de la suite des analyses au regard de leur faible proportion dans la majorité des communes (toujours  $<5\%$ ).

### Dynamique de composition à l'échelle de la ville et des communes

Pour toutes les périodes étudiées entre 1989-2014, l'évolution de l'occupation du sol fait ressortir une régression de la proportion d'espaces verts à l'échelle de la ville de Lubumbashi et ceci dans toutes les communes, avec une mention spéciale pour la commune Kamalondo où les espaces verts tendent à disparaître totalement (Figure 3). À l'inverse, pour les mêmes périodes, une progression du bâti a été observée partout. C'est la commune Ruashi qui a enregistré l'augmentation la plus spectaculaire. Trois évolutions perceptibles ont été observées pour l'entièreté des périodes considérées entre 1989-2014: une prépondérance des espaces verts, bien qu'en régression, à l'échelle de la ville et au sein de la commune Annexe; une prépondérance des surfaces bâties dans les communes Kamalondo, Katuba, Kenya et Lubumbashi; et une transition matérialisée par le remplacement des espaces verts, la matrice dominante du paysage en 1989, par les surfaces bâties qui ont constitué la nouvelle matrice dominante du paysage dans les communes Kampemba et Ruashi en 2014.



**Figure 2:** Cartes de l'occupation du sol dans les communes de la ville de Lubumbashi en 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 sur base de la classification supervisée des images SPOT par l'algorithme du maximum de vraisemblance. Les limites des communes sont données par les lignes blanches.



**Figure 3:** Composition de l'occupation du sol en 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 dans la commune Annexe (a), la ville de Lubumbashi (b), les communes Kamalondo (c), Katuba (d), Kenya (e), Lubumbashi (f), Kampemba (g) et Ruashi (h). La somme des proportions des classes ne correspond pas à 100% car les autres occupations du sol ont été exclues des analyses au regard de leur faible proportion dans la majorité des communes (toujours <5%).

**Tableau 2**

Evolution de l'aire totale ( $a_t$ ) en km<sup>2</sup> et de la densité de taches ( $D$ ) du bâti en 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 dans les sept communes et à l'échelle de la ville de Lubumbashi.

Indices	Communes							Ville
	Annexe	Kamalondo	Kampemba	Katuba	Kenya	Lubumbashi	Ruashi	
$a_{t1989}$	26,74	1,2	21,47	12,01	2,92	27,69	2,11	94,14
$D_{1989}$	10,82	33,08	35,15	42,98	40,29	46,82	29,86	136,16
$a_{t1996}$	44,42	1,25	24,79	12,23	2,98	31,49	3,23	120,38
$D_{1996}$	17,93	40	38,28	35,34	56,86	45,11	34,14	145,13
$a_{t2002}$	50,71	1,26	29,39	12,52	3,02	36,68	6,74	140,33
$D_{2002}$	29,48	19,23	69,27	37,76	15,71	67,87	53,49	199,53
$a_{t2005}$	58,43	1,27	32,72	13,04	3,19	41,02	8,94	158,61
$D_{2005}$	33,26	23,85	46,47	31,68	26	46,27	42,71	174,92
$a_{t2008}$	82,34	1,28	36,41	13,97	3,19	47,11	13,67	197,97
$D_{2008}$	54,94	7,69	60,02	20,62	26	40,49	89,93	217,73
$a_{t2014}$	165	1,29	41,53	14,02	3,28	47,84	18,37	291,31
$D_{2014}$	74,84	0,77	43,71	16,21	8,29	23,94	26,03	178,56

**Tableau 3**

Identification des processus de transformation spatiale de la classe «bâti» entre 1989-1996, 1996-2002, 2002-2005, 2005-2008 et 2008-2014 dans les communes Annexe, Kamalondo, Kampemba, Katuba, Kenya, Lubumbashi et Ruashi dans la ville de Lubumbashi à partir de l'arbre de décision (10).

	1989-1996	1996-2002	2002-2005	2005-2008	2008-2014
Annexe	C	C	C	C	C
Kamalondo	C	A	C	A	A
Kampemba	C	C	A	C	A
Katuba	A	C	A	A	A
Kenya	C	A	C	De	A
Lubumbashi	A	C	A	A	A
Ruashi	C	C	A	C	A
Ville	C	C	A	C	A

A: agrégation; C: création; De: déformation.

**Tableau 4**

Evolution de l'aire totale ( $a_t$ ) en km<sup>2</sup> et de la densité de taches ( $D$ ) des espaces verts en 1989, 1996, 2002, 2005, 2008 et 2014 dans les sept communes et à l'échelle de la ville de Lubumbashi.

Indices	Communes							Ville
	Annexe	Kamalondo	Kampemba	Katuba	Kenya	Lubumbashi	Ruashi	
$a_{t1989}$	500,75	0,08	30,2	4,06	0,6	21,49	18,09	575,27
$D_{1989}$	39,74	46,15	75,81	69,2	92,57	87,61	43,08	63,18
$a_{t1996}$	583,46	0,02	27	3,56	0,51	18,47	16,97	649,99
$D_{1996}$	40,04	34,62	70,88	74,04	46,29	93,254	46,98	56,29
$a_{t2002}$	584,19	0,03	22,35	3,57	0,48	13,36	13,45	637,43
$D_{2002}$	90,2	47,69	98,46	89,32	68,29	120,81	76,98	113,67
$a_{t2005}$	573,27	0,01	18,99	3,06	0,31	9,06	11,27	615,97
$D_{2005}$	60,07	4,62	41	33,6	20,57	29,9	48,03	71,08
$a_{t2008}$	551,79	0	15,39	2,09	0,31	2,82	6,58	578,99
$D_{2008}$	103,77	0	69,36	36,77	20,57	60,16	160,75	134,51
$a_{t2014}$	468,11	0,001	10,28	2,06	0,22	2,09	1,89	484,64
$D_{2014}$	24,3	3,07	118,89	65,22	27,43	64,77	99,32	59,66

**Tableau 5**

Identification des processus de transformation spatiale de la classe «espaces verts» entre 1989-1996, 1996-2002, 2002-2005, 2005-2008 et 2008-2014 dans les communes Annexe, Kamalondo, Kampemba, Katuba, Kenya, Lubumbashi et Ruashi dans la ville de Lubumbashi à partir de l'arbre de décision (10).

	1989-1996	1996-2002	2002-2005	2005-2008	2008-2014
Annexe	C	C	S	Di	S
Kamalondo	S	C	S	S	C
Kampemba	S	Di	S	Di	Di
Katuba	Di	C	S	Di	Di
Kenya	S	Di	S	De	Di
Lubumbashi	Di	Di	S	F	Di
Ruashi	Di	Di	S	Di	S
Ville	A	Di	S	Di	S

A: agrégation; C: création; De: déformation; Di: dissection; F: fragmentation; S: suppression.

**Tableau 6**

L'aire totale des espaces verts pour 1000 résidents ( $a_{t1000}$ ) dans la ville de Lubumbashi et ses sept communes en 2014 comparée au seuil de 0,009 km<sup>2</sup> (50)  $a_t$ : aire totale d'espaces verts. Les données démographiques proviennent de la mairie de la ville de Lubumbashi.

Indices	Communes							Ville
	Annexe	Kamalondo	Kampemba	Katuba	Kenya	Lubumbashi	Ruashi	
$a_t$	468,11	0,001	10,28	2,06	0,22	2,09	1,89	484,64
Population	395377	35961	383686	316863	109409	311098	211223	1763617
$a_{t1000}$	1,184	0,00003	0,027	0,007	0,002	0,007	0,008	0,0003

## Dynamique structurale dans les communes

### *Dynamique spatio-temporelle de l'urbanisation*

La commune Annexe a enregistré le processus de création de taches de bâti, matérialisé par l'augmentation de la densité et de l'aire totale des taches (Tableaux 2 et 3), pour toutes les périodes considérées entre 1989 et 2014. En revanche, au cours des mêmes périodes, l'augmentation de l'aire totale de taches de bâti a été accompagnée d'une réduction ou augmentation de la densité de taches dans les communes Kamalondo, Kampemba, Katuba, Kenya, Lubumbashi et Ruashi; ce qui est une indication claire de l'agrégation et de la création de taches de bâti dans ces communes. Le processus de transformation de type déformation a été observé dans la commune Kenya (2005-2008) car l'aire totale et le nombre de taches de bâti sont restés inchangés pendant que le périmètre total de 2008 (51,1 km) a été supérieur à celui de 2005 (50,8 km). A l'échelle de la ville, la création et l'agrégation de taches de bâti ont été les processus de transformation dominants (Tableaux 2 et 3).

### *Dynamique spatio-temporelle des espaces verts*

Dans toutes les communes, la diminution de la densité et de l'aire totale de taches entre 2002 et 2005 est révélatrice du processus de suppression, conséquence d'une influence anthropique (Tableaux 4 et 5). Une diminution de l'aire totale a été aussi enregistrée parallèlement à l'augmentation de la densité de taches. Les processus identifiés étaient la dissection pour les communes Annexe, Kampemba, Katuba, Kenya, Lubumbashi et Ruashi; et la fragmentation dans la commune Lubumbashi (2005-2008). De même, le changement de forme des taches d'espaces verts (périmètre de 5,57 km en 2008 contre 5,55 km en 2005), mais pas de leur superficie et densité, suggère un processus de déformation dans la commune Kenya. Par contre, la création des taches d'espaces verts dans les communes Annexe, Kamalondo et Katuba, matérialisée par l'augmentation de l'aire totale mais aussi de la densité de taches, n'a pas compensé les pertes de végétation enregistrées sur toute les périodes d'étude. Au niveau de la ville, les processus dominants ont été l'agrégation entre 1989-1996, suivie d'une alternance séquentielle de la dissection et de la suppression des taches des espaces verts (Tableaux 4 et 5). En conséquence de cela, l'aire totale des espaces verts pour 1000 résidents est restée relativement faible dans les différentes communes en 2014, exceptée dans les commune Annexe et Kampemba, par rapport à la norme établie à 0,009 km<sup>2</sup> (Tableau 6).

## Discussion

### Approche méthodologique

Les classifications supervisées des images SPOT multidates, appuyées sur l'algorithme du maximum de vraisemblance, ont permis d'obtenir des résultats statistiquement fiables et acceptables, suggérant que les données classifiées s'accordent aux données de référence de terrain (24). Elles confirment ainsi l'importance de la connaissance du milieu d'étude. La compréhension approfondie des dynamiques d'occupation du sol à l'échelle des communes découle du *Pattern/process paradigm* selon lequel les processus paysagers et écologiques dépendent des patrons spatiaux et vice versa (2, 8, 10). Pour cette raison, les dynamiques d'anthropisation paysagères ont été mises en évidence dans la présente étude à travers les indices de structure spatiale reconnus pour leur aptitude d'aborder des paysages complexes et de les rendre quantifiables (2, 9, 25).

### Dynamique de l'occupation du sol dans les communes

Les différentes crises sociopolitiques qui se sont succédées à l'Est de la R.D. Congo ont entraîné des afflux massifs de populations vers la ville de Lubumbashi. A cela s'ajoute la rapide augmentation démographique interne (40, 46). A cause des besoins élevés en logements, la ville de Lubumbashi a connu une expansion spatiale rapide (17) qui a provoqué de profondes transformations paysagères (10). Cela s'est manifesté par l'expansion anarchique du bâti sur les terres réservées aux espaces verts (comme les forêts urbaines, les parcs, les jardins et les aires de jeu) pour absorber les fortes demandes de logements dans les communes du noyau urbain, à savoir Kamalondo, Kampemba, Katuba, Kenya, Lubumbashi et Ruashi, en réduisant leur surface. Mensah (33) confirme que les espaces verts urbains sont parmi les écosystèmes les plus dégradés dans les villes africaines et leur perte excessive a été également signalée ailleurs (15, 22, 25, 31). Actuellement, il s'avère qu'il n'existe plus de terrains appartenant à l'Etat sur lesquels il serait possible de créer de nouveaux lotissements dans les communes du noyau urbain à Lubumbashi (17). Cette situation a été amplifiée par le fait que la loi d'urbanisme en vigueur dans le pays n'est plus adaptée aux défis actuels associés au développement urbain (17). Etant donné le caractère limité de l'espace géographique selon la chorologie (6), les nouvelles demandes de logements sont déversées dans la commune Annexe où l'absence de planification soulève de nombreux questionnements (45). L'aménagement des terrains se produit souvent au-delà de leurs demandes réelles, pour alimenter le marché spéculatif d'autant plus que l'achat de plusieurs parcelles est considéré comme un investissement à faible risque (17, 45).

Cette urbanisation anarchique est responsable de la régression régulière de la couverture végétale (37) quoique importante pour le développement durable (12, 49). Déjà, il y a quelques années, cette commune était rurale avec comme principale activité l'agriculture de subsistance (40); la plupart de ses anciens villages se trouvant sur la trajectoire de l'expansion urbaine sont régulièrement englobés dans la ville ou entourés de nouveaux logements à différents stades de construction (43).

La gestion de la croissance spatiale urbaine a dépassé les capacités de gestion et financières des aménageurs et décideurs (33). Les conséquences de cela sont potentiellement défavorables pour l'environnement, lorsqu'il s'agit de la régression des espaces verts (41). Cette situation, gouvernée par la croissance démographique rapide, est due au manque de sensibilisation sur l'importance des espaces verts au niveau de la population locale, le manque de budget et de programme approprié pour leur préservation. En effet, la croissance démographique, en modifiant la structure du paysage à l'échelle des communes, favorise la dégradation des espaces verts à travers les activités humaines et les besoins en espace (4, 22). En revanche, ces dynamiques paysagères provoquent des bouleversements socio-économiques tels que la saturation de l'espace dans la commune Kamalondo, ou les conflits entre acteurs (42).

Les tendances actuelles d'urbanisation ne révèlent aucun signe de ralentissement, ce qui conduit à une dynamique paysagère urbaine plus profonde à l'échelle des communes et de la ville. L'augmentation de la densité des taches d'espaces verts dans les différentes communes corrobore cela et pourrait être interprétée comme une prévalence de plusieurs petites taches, probablement associée à un isolement spatial plus important qui pourrait finalement menacer la viabilité des populations végétales et animales (16). Même si la proportion d'espaces verts a augmenté à certaines périodes (44), leur suppression a été notée au cours des périodes suivantes car ils n'ont jamais fait l'objet d'une quelconque planification en vue d'être conservés. Cela rend la ville plus vulnérable aux aléas naturels tels que les inondations (36) et une répartition défavorable de la quantité de pluies (3, 18), ce qui contribue à altérer la qualité de vie pour les résidents (21). Même si certaines communes gardent plus de 9000 m<sup>2</sup> d'espaces verts pour 1000 résidents (50), cela reste plus concentré dans les endroits non encore bâtis, laissant les résidents des zones bâties sous-desservis. En outre, le pouvoir public et quelques privés intensifient les activités de végétalisation de certains sites pour compenser les pertes de végétation dans la zone d'étude. Toutefois, les taches introduites d'espaces verts, et fréquemment plantées d'espèces exotiques, ne pourraient pas fournir les fonctions écologiques identiques à celles des taches (semi-) naturelles (23).

### Implications pour la planification et la gestion des espaces verts

L'importance des espaces verts ne devrait pas être ignorée et une planification appropriée devrait être conçue urgemment à l'échelle des communes de la ville de Lubumbashi, qui ne présentent pas un même contexte d'anthropisation en raison de leur différence de surface et position géographique dans la ville, mais aussi de la taille de leurs populations. La commune Kamalondo enregistre une tendance à la saturation foncière qui pourrait mener à une anthropisation complète illustrée par l'absence des espaces verts. Il est impératif d'y créer des espaces verts d'accompagnement du bâti et de la voirie. Les autres communes sont en cours d'anthropisation et pourraient être placées dans un même contexte. Il est important d'associer la population aux efforts de préservation et de gestion participative des fragments d'espaces verts qui subsistent, mais aussi d'accroître leur connectivité spatiale à travers la création des corridors végétalisés (les espaces verts d'accompagnement de la voirie) plantés d'espèces indigènes.

### Conclusion

La présente étude a mis en exergue la pertinence de l'approche cartographique couplée aux outils d'analyse de l'écologie du paysage à l'évaluation de la dynamique paysagère urbaine. Les résultats ont révélé une extension rapide des zones bâties à l'échelle des communes et de la ville. Pour cette raison, la création de nouvelles taches de bâti et leur agrégation ont révélé une modification de la structure spatiale du paysage urbain à Lubumbashi. En revanche, les espaces verts sont sérieusement menacés dans la zone d'étude et les pressions anthropiques actuelles sur ceux-ci sont en rupture avec leur capacité de régénération. En 25 ans (entre 1989 et 2014), les valeurs d'aire totale ont chuté, suivie d'une augmentation ou réduction de la densité de taches dans la classe des espaces verts, confirmant ainsi l'existence de la dissection, la fragmentation et la suppression comme des processus de transformation dominants.

Suite à la gestion inappropriée de la croissance spatiale urbaine, les espaces verts se sont retrouvés en 2014 à l'état des fragments piégés dans une matrice de bâti dans la plupart des communes, excepté dans la commune Annexe et à l'échelle de la ville où ils constituaient encore la matrice du paysage. Cela questionne la durabilité des processus écologiques, économiques et sociaux dans une zone où les populations dépendent fortement des ressources végétales.

Il semble donc urgent de développer une stratégie de gestion sélective, intégrée et participative aussi bien à l'échelle des communes que de la ville afin de préserver de façon durable les espaces verts qui subsistent.

## Références bibliographiques

1. 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. Plann.*, **75**, 2, 53–107.
2. Antrop M. & Van Eetvelde V., 2000, Holistic aspects of suburban landscapes: visual image interpretation and landscape metrics, *Landscape Urban Plan*, **50**, 1-3, 43-58.
3. Assani A.A., 1999, Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphériques (oscillation australe) et océanique (El Niño/La Niña), *Sécheresse*, **10**, 4, 245-252.
4. Bamba I., Barima Y.S.S. & Bogaert J., 2010, Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le bassin du Congo en R.D. Congo, *Trop. Conserv. Sci.*, **3**, 1, 31-44.
5. Barima Y.S.S., Barbier N., Bamba I., Traore D., Lejoly J. & Bogaert J., 2009, Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne, *Bois For. Trop.*, **299**, 1, 15-25.
6. Bogaert J., Biloso A., Vranken I. & André M., 2015, *Peri-urban dynamics: landscape ecology perspectives*. In: Bogaert J. & Halleux J.M. (Eds). *Territoires périurbains: développement, enjeux et perspectives dans les pays du sud*, pp 63-73. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique.
7. Bogaert J., Bamba I., Koffi K. J., Sibomana S., Kabulu D. J-P., Champluvier D., Robbrecht E., De Cannière C. & Visser M.N., 2008, *Fragmentation of forest landscapes in central Africa: causes, consequences and management*. In: Laforteza R., Chen R., Sanesi G. & Crow Th.R. (Eds). *Patterns and processes in forest landscapes: multiple use and sustainable management*, pp 67-87, Eds Verlag, New York: Springer.
8. Bogaert J., Farina A. & Ceulemans R., 2005, Entropy increase of fragmented habitats: a sign of human impact ? *Ecol. Indic.*, **5**, 207-212.
9. Bogaert J. & Mahamane A., 2005, Ecologie du paysage: cibler la configuration et l'échelle spatiale, *Ann. Sci. Agron. Bénin*, **7**, 39-68.
10. 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.
11. Bolund P. & Hunhammar S., 1999, Ecosystem services in urban areas, *Ecol. Econ.*, **29**, 293-301.
12. Egoh, B.N., O'Farrell P.J., Charef A., Gurney L.J., Koellner T., Abi H.N., Egoh M. & Willems L., 2012, An African account of ecosystem service provision: use, threats and policy options for sustainable livelihoods, *Ecosyst. Serv.*, **2**, 71–81.
13. Frauman E., 2004, *L'agriculture périurbaine*. In: Petit P. (Ed). *Byakula, Approche socio-anthropologique de l'alimentation à Lubumbashi*, pp 55-63, Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer (Belgique).
14. Foody M.G., 2002, Status of land cover classification accuracy assessment, *Remote Sens. Environ.*, **80**, 185-201.
15. Fuller R.A. & Gaston K.J., 2009, The scaling of green spaces coverage in European cities, *Biol. Lett.*, **5**, 352-355.
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 GROUPE HUIT, BEAU, Ministère des ITR, RD Congo, 62 p.
18. Kalombo K.D., 2015, *Caractérisation de la répartition temporelle des précipitations à Lubumbashi (Sud-Est de la RDC) sur la période 1970-2014*. XXIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, pp 531-536.
19. Kalombo K.D., 2016, *Evaluation des éléments du climat en R.D.C*. Editions Universitaires Européennes, Saarbrücken (Allemagne), 220 p.
20. Kestemont B., Frendo L. & Zaccaï E., 2011, Indicators of the impacts of development on environment: A comparison of Africa and Europe, *Ecol. Indic.*, **11**, 3, 848-856.
21. Kong F., Yin H., James P., Hutyrá L. & He H.S., 2014, Effects of spatial pattern of greenspaces on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China, *Landscape Urban Plan.*, **128**, 35-47.
22. Kong F. & Nakagoshi N., 2006, Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China, *Landscape Urban Plan.*, **78**, 3, 147–164.
23. Kowarik I., 2011, Novel urban ecosystems, biodiversity, and conservation, *Environ. Pollut.*, **159**, 8, 1974-1983.
24. Landis J.R. & Koch G.G., 1977, The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics*, **33**, 159-174.
25. Li J., Li C., Zhu F., Song C. & Wu J., 2013, Spatiotemporal pattern of urbanization in Shanghai, China between 1989 and 2005, *Landscape Ecol.*, **28**, 8, 1545-1565.
26. Maas J., Verheij R.A., Groenewegen P.P., De Vries S. & Spreeuwenberg P., 2006, Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *J. Epidemiol. Community Health*, **60**, 7, 587-592.
27. Malaisse F., 2010, How to live and survive in Zambezian open forest (miombo ecoregion). *Les Presses agronomiques de Gembloux*. Gembloux (Belgique), 422 p.
28. Malaisse F., 1974, Phenology of the Zambezian woodland area with emphasis on the miombo ecosystem. In Lieth (Ed.). *Phenology and seasonality modeling*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, New York, *Ecol. Stud.*, **8**, pp 269-286.
29. Mama A., Sinsin B., De Cannière C. & Bogaert J., 2013, Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin, *Tropicicultura*, **31**, 1, 78-88.
30. Mas J.F., 2000, Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement, *Can. J. Remote Sens.*, **26**, 4, 349-362.

31. McDonald R.I., Forman R.T.T. & Kareiva P., 2010, Open spaces loss and inequality in United States' cities, 1990-2000, *PLoS ONE*, **5**, 3, e9509.
32. McDonald R.I. Kareiva P. & Forman R.T.T., 2008, The implications of current and future urbanization for global areas and biodiversity conservation, *Biol. Conserv.*, **141**, 1695-1703.
33. Mensah C.A., 2014, Urban green spaces in Africa: nature and challenges, *Int. J. Ecosyst.*, **4**, 1, 1-11.
34. Mpundu M.M., 2010, *Contaminations des sols en éléments traces métalliques à Lubumbashi Katanga/RD Congo. Evaluation des risques de contamination de la chaîne alimentaire et choix de solutions de remédiation*. Thèse de doctorat: Université de Lubumbashi (RD Congo).
35. Mudau N., Mhangara P. & Gebreslasie M., 2014, Monitoring urban growth around Rustenburg, South Africa, using SPOT 5, *South Afri. J. Geomatics*, **3**, 2, 185-196.
36. Mulongo S., Ngoy N.K., Lunda J-M.I., Toto F.L.R. & Kipata M.L., 2014, L'urbanisation et l'environnement géologique de la ville de Lubumbashi (Katanga, RD Congo), *E-revue UNILU*, **1**, 1, 24-39.
37. 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, 3-23.
38. Mwitwa J., German L., Muimba-Kankolongo A. & Puntedewo 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.
39. Niemelä J., Saarela S-R., Söderman T., Kopperoinen L., Yli-Pelkonen V., Väre S. & Kotze D.J., 2010, Using the ecosystem approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study, *Biodivers. Conserv.*, **19**, 3225-3243.
40. Nkuku K.C. & Rémon M., 2006, *Stratégies de survie à Lubumbashi (R-D Congo). Enquête sur 14000 ménages urbains*. Archive congolaise, l'Harmattan (Paris), 130 p.
41. Osseni A.A., Toko Mouhamadou I., Tohozin B.A.C. & Sinsin B., 2015, SIG et gestion des espaces verts dans la ville de Porto-Novu au Bénin, *Tropicicultura*, **33**, 2, 146-156.
42. Sadda A-S., Diouf A., Lawali S., Ouedraogo M., Bogaert J. & Mahamane A., 2016, Pression anthropique et dynamique paysagère en zone rurale semi-aride: cas de la commune de Tibiri, région de Maradi (Niger), *Tropicicultura*, **34**, 2, 127-139.
43. Tambwe N.A., 2015, *Urban agriculture, land sustainability. The case of Lubumbashi*. In: Bogaert J. & Halleux J.M. (Eds). *Territoires périurbains: développement, enjeux et perspectives dans les pays du sud*, pp 153-162, Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique.
44. Toyi M.S., Barima S., Mama A., André M., Bastin J.F., De Cannière C., Sinsin B. & Bogaert J., 2013, Tree plantation will not compensate natural woody vegetation cover loss in the Atlantic Department of Southern Benin, *Tropicicultura*, **31**, 1, 62-70.
45. Trefon T. & Cogels S., 2007, *Espaces périurbains d'Afrique centrale et gouvernance environnementale*. Publication de l'Université Libre de Bruxelles, Belgique.
46. UN-Habitat, 2014, *The state of African cities 2014. Re-imagining sustainable urban transition*. United Nations, Human Settlements programs, 273 p.
47. Useni S.Y., Malaisse F., Cabala K.S., Munyemba K.F. & Bogaert J., 2017, Le rayon de déforestation autour de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo): synthèse, *Tropicicultura*, **35**, 3, 215-221.
48. Useni S.Y., André M., Mahy G., Cabala K.S., Malaisse F., Munyemba K.F. & Bogaert J., sous presse, *Interprétation paysagère du processus d'urbanisation à Lubumbashi: dynamique de la structure spatiale et suivi des indicateurs écologiques entre 2002 et 2008*. In: Bogaert J., Colinet G. & Mahy G. (Eds.). *Anthropisation au Katanga*. Gembloux: Presses Universitaires de Gembloux. <http://hdl.handle.net/2268/194483>
49. Vermeulen C., Dubiez E., Procs P., Mukumary S.D., Yamba Yamba T., Mutambwe S., Peltier R., Marien J-N. & Doucet J-L., 2011, Enjeux fonciers, exploitation des ressources naturelles et forêts des communautés locales en périphérie de Kinshasa, RDC, *Biotechnol. Agron. Soci. Environ.*, **15**, 4, 535-544.
50. World Health Organization, 2010, Urban planning, environment and health: from evidence to policy action. Disponible en ligne sur [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/114448/E93987.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/114448/E93987.pdf?ua=1), consulté le 25 novembre 2016.

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

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

C. Nkuku Khonde, Congolais, PhD, Professeur Ordinaire, Université de Lubumbashi, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département des Sciences Historiques, Campus Universitaire, Lubumbashi; Université de Lubumbashi, Centre de Compétences en Planification et Gestion Urbaine, Lubumbashi, R.D. Congo.

Y. Amisi Mwana, Congolais, PhD, Professeur Associé, Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences, Lubumbashi, R.D. Congo.

F. Malaisse, Belge, PhD, Professeur honoraire, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique.

J. Bogaert, Belge, PhD, Professeur ordinaire, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique, Professeur ERAIFT, Kinshasa, R.D. Congo.; Membre ARSOM.

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

## Modélisation de la dynamique du paysage forestier de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky (Nord-Est de Madagascar)

L.O. Rakotondrasoa<sup>1\*</sup>, F. Malaisse<sup>2</sup> & J. Bogaert<sup>2</sup>

**Keywords:** Landscape dynamic- Forest- Ambatovaky- Madagascar

### Résumé

*Madagascar abrite une biodiversité unique qui doit faire face à de nombreuses menaces, dont l'anthropisation, entraînant la déforestation. Cette étude a pour objectif de déterminer la dynamique paysagère des forêts de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky de 1996 à 2050 à partir d'une chaîne de Markov de premier ordre. Pour ce faire, des images Landsat datées de 1996, 2004 et 2014 ont été utilisées pour l'élaboration des cartes d'occupations de sol multi-dates. Une matrice de transition a ensuite permis de simuler la composition du paysage jusqu'en 2050. Les résultats ont montré que la superficie forestière de la Réserve diminue au profit d'une formation secondaire appelée « savoka » qui apparaît quelques années après la mise en culture temporaire. La culture sur brûlis, appelée localement « tavy », une pratique commune des paysans de la côte malgache, constitue la principale raison de la régression de la superficie forestière.*

### Summary

#### Modelling of the Forest Landscape Dynamics of Réserve Spéciale d'Ambatovaky (Northeast of Madagascar)

*Madagascar shelters a unique biodiversity that faces numerous threats, such as human activities, which cause deforestation. The objective of this study was to identify the landscape forest's dynamics of the Réserve Spéciale d'Ambatovaky (RSA) from 1996 to 2050 based upon a first order Markov chain model. For this purpose, LANDSAT images of 1996, 2004 and 2014 were used to compose the land cover maps. A transition matrix made it possible to simulate the composition of the landscape until 2050. The results showed that the forest area of RSA decreased and is substituted by a secondary formation called "savoka" that appears several years after the end of agricultural activities. Slash-and-burn agriculture, called locally "tavy", is a common practice of farmers in the coastal areas of Madagascar. Tavy is the main reason for the decline of the forest area.*

<sup>1</sup>Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts, Antananarivo, Madagascar.

<sup>2</sup>Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique.

\*Auteur correspondant: Email: olivia.rakotondrasoa@yahoo.fr

Reçu le 23.03.17 et accepté pour publication le 19.06.17

## Introduction

Madagascar est connu mondialement pour la richesse de sa biodiversité terrestre et marine unique et exceptionnelle. Plus de 12.000 espèces végétales y sont répertoriées, dont le degré d'endémisme a été estimé à des valeurs comprises entre 82 et 90% (14, 15, 21). En outre, le taux d'endémisme de la faune est également élevé, étant de l'ordre de 80% (6). Mais, parallèlement à cette richesse, il faut prendre conscience d'une poussée démographique préoccupante avec un taux d'accroissement de 2,62% en 2014 (34). À l'échelle mondiale, la déforestation a plus ou moins suivi le rythme de la croissance démographique (12). En effet, les causes de la déforestation sont en relation avec l'augmentation de la croissance démographique, entre autres par la nécessité de plus de terres pour la production agricole. La poussée démographique est également la cause principale de la déforestation en Afrique et certainement à Madagascar (10). La déforestation de la Grande Ile résulte de défrichements et de la pratique de cultures itinérantes sur brûlis et de l'exploitation forestière en vue de fournir les besoins en bois d'œuvre et de construction, ainsi que la production de bois d'énergie de la population locale (4, 6, 10, 19, 28). Le taux annuel de déforestation de la Grande Ile était de 0,3% de 1950 à 1970; il a augmenté et a atteint 1,7% pour la période 1970 à 1990 (16).

Face à la menace qui pèse sur la biodiversité de Madagascar, le gouvernement malgache a établi en 1990 la première version de la Charte de l'Environnement qui a pour finalité d'enrayer la spirale de dégradation de l'environnement (26). La création des aires protégées figure parmi les solutions entreprises. Les aires protégées, gérées par Madagascar National Parks (MNP), jouent plusieurs rôles à la fois: lieux de conservation de la biodiversité; lieux d'éducation relative à l'environnement; lieux de récréation et de découverte; et lieux de recherche et pôles de développement économique. Les stratégies de conservation de MNP sont basées et développées de manière systématique et scientifique selon un Plan de Gestion et de Conservation (PGC). Le PGC évalue les menaces sur les cibles de conservation, les moyens et capacités de gestion. Ces informations sont ensuite utilisées pour développer la stratégie de conservation, dont le système de surveillance et de contrôle forme l'outil principal de la conservation. Suite à la mise en place des aires protégées, le taux annuel de déforestation malgache a diminué et a été de 0,41% entre 1990 et 2010 (13); spécifiquement, il est de 1,7% entre 2005 à 2011 pour la forêt humide du Nord-Est (32). Cependant, ces valeurs sont considérables en regard du taux mondial qui est de 0,14% entre 1990 et 2010 (13).

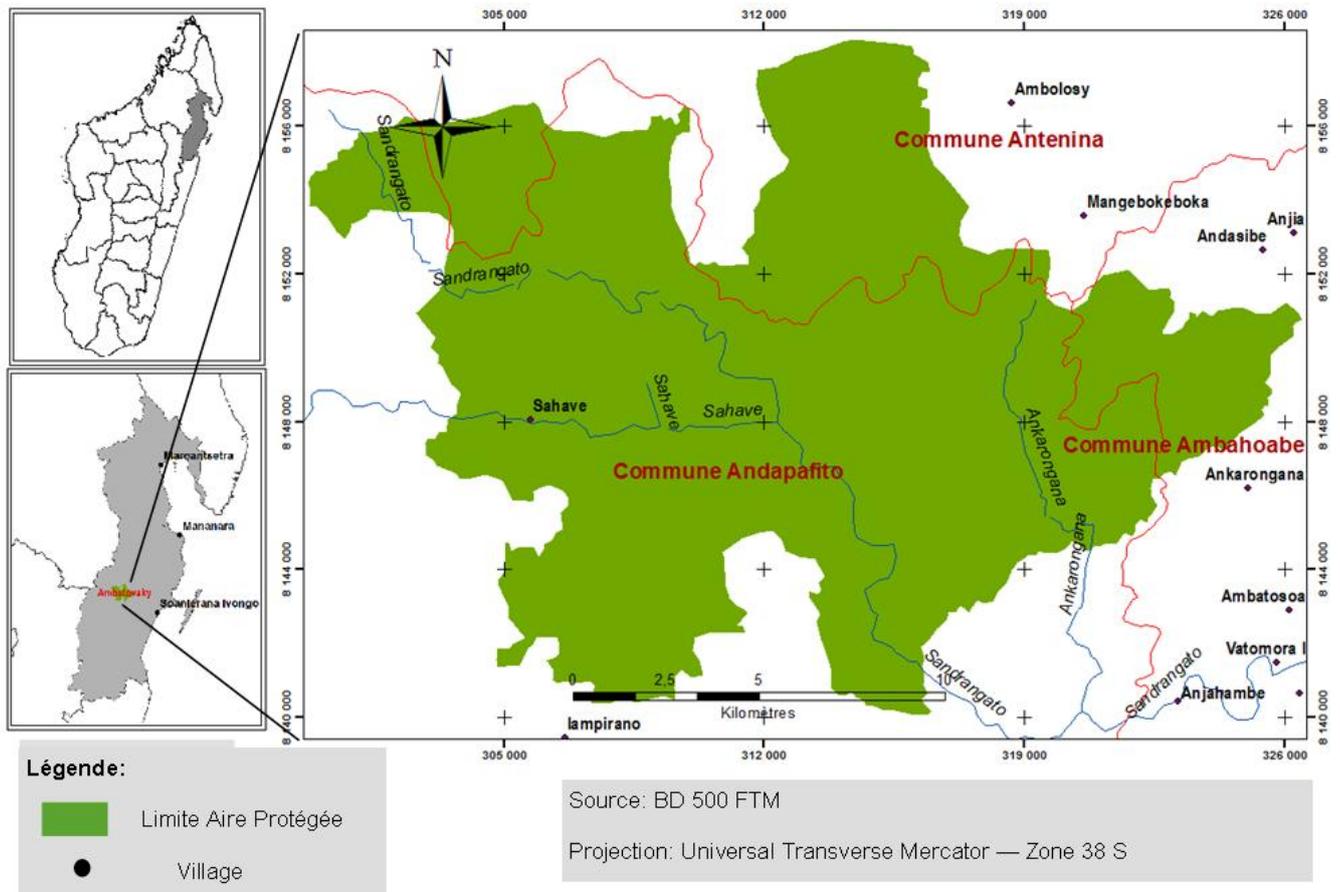
Notre recherche se situe dans ce cadre; elle a pour objectif d'étudier la dynamique spatio-temporelle d'une aire protégée de Madagascar, à savoir la Réserve Spéciale Ambatovaky (RSA), qui constitue une des plus grandes réserves spéciales malgaches ayant une vaste forêt de basse altitude. Notre étude vise également à dégager la tendance évolutive de la RSA à l'horizon 2050, en termes d'occupation du sol. A cette fin, nous avons retenu comme hypothèse de travail que les pratiques culturelles, notamment l'agriculture itinérante sur brûlis ou «tavy», favorisent la régression du couvert forestier du paysage d'Ambatovaky, malgré son statut d'aire protégée. Le « tavy » est un terme malgache pour désigner le déboisement de la forêt primaire par abattage suivi de brûlis en vue de la culture du sol (13). Une croissance démographique non accompagnée d'une croissance économique pourrait être fatale à la situation de la population, menaçant la pérennisation des ressources naturelles. En effet, pour maximiser les productions agricoles, en réponse à l'accroissement démographique très rapide, l'agriculture sur brûlis reste la principale technique de production vivrière dans la région. Après quelques années (2 à 5 ans) de production, la parcelle est laissée à l'abandon et la population va défricher une autre partie de la forêt. La végétation secondaire qui se développe sur le « tavy » abandonné, pour quelques années, est dénommée «savoka» (13). Ce dernier peut être aussi l'objet d'un nouveau défrichement par la population locale.

## Matériels et méthodes

### Zone d'étude

Ambatovaky est située dans la partie Nord-Est de Madagascar (Figure 1), elle appartient au district de Sonierana Ivongo et à la Région administrative d'Analanjirifo. La zone est soumise à un climat tropical humide de type perhumide chaud. Ce type de climat se caractérise par l'absence de saison sèche. Les précipitations moyennes annuelles s'élèvent à 2000 mm réparties sur 180 jours, quant à la température, ses valeurs moyennes mensuelles sont comprises entre 21 °C 87 (février) et 24 °C (septembre) (18).

La RSA a été créée en 1958. Cette Aire Protégée, gérée par Madagascar National Parks (MNP) est classée dans la catégorie IV selon l'UICN, c'est-à-dire, aire protégée principalement à des fins de conservation, avec intervention au niveau de la gestion. Elle est localisée entre les points 16°43'21" et 16°43'58" de latitude Sud et 49°01'07" et 49°15'06" de longitude Est, et s'étend sur environ 78 000 ha (18). La zone présente un relief accidenté, avec des pentes abruptes localement. L'altitude est comprise entre 314 m au niveau de Sandragato et 1175 m à l'ouest, au mont Ambatovaky.



**Figure 1:** Localisation de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky (Projection WGS 84).

Le réseau hydrographique de la réserve est important. La réserve est principalement caractérisée par une Forêt Dense Humide Sempervirente (FDHS); elle constitue une excellente représentation de l'écorégion de la forêt humide de l'Est. Cette dernière abrite une biodiversité originale très élevée et possède un taux d'endémicité important. 291 espèces de plantes y ont été recensées, dont 221 sont endémiques à Madagascar (18). Ces 291 espèces sont réparties dans 159 genres et 59 familles. Notons l'existence de 5 familles endémiques de Madagascar: *Asteropeiaceae*, *Melanophyllaceae*, *Physenaceae*, *Sarcolaenaceae* et *Sphaerosepalaceae*. La réserve abrite 31 espèces de mammifères dont 11 lémuriers, 13 insectivores, 3 carnivores et 4 rongeurs; 110 espèces d'oiseaux, 113 espèces Herpetofauniques puis 34 espèces de poissons (18).

### Méthodologie

L'image satellite est une source d'informations abondantes et précises sur l'occupation du sol et sur les phénomènes qui se déroulent à la surface de la planète (8). Trois images satellitaires, datées de 1996, 2004 et 2014, ont été utilisées dans le cadre de cette étude (tableau 1).

Ces images LANDSAT ont été téléchargées via le portail Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) de l'USGS (United States Geological Survey). Elles se trouvaient en LPGS (Level 1 Product Generation System) et contiennent encore des erreurs géométriques et radiométriques. Par conséquent, il leur a été appliqué des corrections radiométriques systématiques et d'amélioration des précisions géométriques en utilisant des Ground Control Points provenant de GLS 2000 (Global Land Survey 2000) et d'ajustement topographique par le biais de l'utilisation d'un DEM (SRTM) (33).

**Tableau 1**  
Liste des images utilisées et leurs caractéristiques

Période	Capteur LANDSAT	Identification de l'image	Résolution (en m)	Date d'acquisition
1996	TM	LT51580721996363JSA03	30	28/12/1996
2004	TM	LT51580722004193JSA00	30	11/07/2004
2014	OLI/TIRS	LC81580722014236LGN00	30	24/08/2014

Des prétraitements ont été opérés afin de réajuster les valeurs radiométriques et spectrales et de minimiser les variabilités atmosphériques tenant compte la nature multi date des images utilisées. Les calibrations ont été ainsi appliquées sur les bandes multispectrales afin de transformer les valeurs DN (Digital Number) en des unités radiance et ToA (Top of Atmospheric) réflectance. Le DOS (Dark Object Subtraction) a été par la suite implémenté afin de ramener les valeurs spectrales à zéro ou en d'autres termes de réduire les effets de diffusion atmosphérique à un seuil minimal (9).

Par la suite, une classification supervisée a été effectuée avec l'image datée de 2014, en utilisant le l'algorithme du maximum de vraisemblance via le logiciel de traitement d'image ENVI. C'est une classification par zones d'entraînement représentatives formées par les points relevés sur terrain des principaux types d'occupation du sol, respectivement 122, 87 et 69 observations pour les classes «forêt», «savoka» et «champs de culture». En effet, dans cette analyse de l'évolution globale de l'occupation du sol, trois classes thématiques ont été retenues. Il s'agit: d'une classe «forêt» (Photo 1) regroupant les forêts naturelles et les forêts pour les cultures de sous-bois, notamment pour la vanille; d'une classe «savoka» (2) (Photo 2) associant les végétations secondaires de quelques années et d'une classe «champ de culture», constituée par des rizières, des champs de manioc et patate douce entre autres et les jachères d'un à deux ans (Photo 3). Les jeunes jachères ont été incluses dans la classe «champs de culture» car elles comportent essentiellement des plantes herbacées, entre autres *Lantana camara*, *Aframomum angustifolium*, *Rubus* sp. (17), et par conséquent, elles ont été souvent confondues avec les champs de culture au cours de la classification de l'image Landsat.

La carte obtenue a été vérifiée au cours d'une mission de validation sur le terrain en mois d'avril 2015 permettant d'élaborer une matrice de confusion et de calculer l'indice Kappa, pour estimer l'exactitude de la classification. La matrice de confusion est un tableau à double entrée dans lequel sont confrontés la réalité sur le terrain et le résultat de la classification. Il permet d'évaluer l'intensité de la liaison entre des données de référence et le résultat de la classification.

Sur le tableau de la matrice de confusion, les erreurs de classifications sont totalisées. Il existe deux types d'erreurs: les erreurs d'omission dans le cas où des points de référence d'une catégorie sont attribués à une autre catégorie; et les erreurs de commission dans le cas contraire où les points d'une catégorie lui sont attribués par erreur. En complément de ces deux types d'erreur, la valeur du coefficient kappa ( $\kappa$ ) a été calculée (25). Ce coefficient mesure l'intensité de la concordance réelle entre deux jugements catégoriels appariés; il est proche de 0 lorsque la concordance est peu significative et de 1 lorsque la concordance est très forte.

Les caractéristiques spectrales des classes d'occupation du sol obtenues suite à la classification finale de l'image Landsat 2014 ont été utilisées comme base pour une classification supervisée par maximum de vraisemblance des images datées de 2004 et de 1996. Sur base des cartes multi-dates obtenues, la simulation de l'évolution future des classes d'occupation de la zone d'étude a été réalisée à l'aide de l'élaboration d'une matrice de transition (5, 27) et de l'utilisation d'une chaîne de Markov (29, 30). La matrice de transition a servi à construire une matrice de probabilités annuelles qui représente le changement d'état d'une classe sur l'horizon d'un an (30). Les taux des superficies des classes du paysage en 1996 ont été transcrits en un vecteur. En considérant l'occupation du sol comme un processus stochastique (22) et les différents changements comme des états de cette chaîne (31), le produit de la matrice de probabilités annuelles et du vecteur représentant la composition du paysage d'une année particulière en utilisant une chaîne de Markov de premier ordre permet de simuler la superficie des classes du paysage à une date ultérieure. La simulation obtenue a été vérifiée et validée en comparant la composition paysagère simulée avec celle observée respectivement sur les images 2004 et 2014 par l'intermédiaire des tests  $\chi^2$ . L'année 2050 a été choisie comme année de projection dans la simulation. Ce choix a été basé sur les objectifs d'Aichi (7), qui est un plan stratégique en faveur de la biodiversité stipulant que «d'ici 2050, la diversité biologique est valorisée, conservée, restaurée et utilisée avec sagesse, en assurant le maintien des services fournis par les écosystèmes, en maintenant la planète en bonne santé et en procurant des avantages essentiels à tous les peuples».



(Rakotondrasoa, 2015)

**Photo 1:** Forêt Dense Humide Sempervirente de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky.



(Rakotondrasoa, 2015)

**Photo 2:** «Savoka» à Ambavala (formations secondaires apparaissant quelques années après la mise en culture temporaire).

## Résultats

### Matrice de confusion et Indice de Kappa relative à la classification de l'image de 2014

L'évaluation de la classification de l'image de 2014 est représentée par la matrice de confusion (Tableau 2). Les valeurs en diagonale indiquent le nombre de pixels bien classés (la classification effectuée sur ordinateur correspond à la réalité sur terrain) et ceux hors diagonale le nombre de pixels mal classés pour chaque unité d'occupation du sol. Le rapport de la somme des pixels bien classés sur le total de pixels utilisés dans la classification nous donne le pourcentage de classification global qui est de l'ordre de 84,1%. En effet, sur les 126 points GPS collectés sur terrain, 106 correspondent à la classification. L'analyse de cette matrice permet aussi d'avancer que le niveau de précision de la classe «savoka» a été le plus faible: sur les 57 points GPS collectés dans cette catégorie, 45 correspondent à la classification de l'image satellite, soit 79%; le reste a été confus aux deux autres types d'occupation du sol. Ce niveau de précision serait dû à l'hétérogénéité structurale et spécifique de la physionomie du «savoka» en fonction de son âge. En effet, on distingue trois types de savoka selon leur âge, à savoir: (i) savoka jeune de deux à cinq ans qui peut atteindre deux à trois mètres de hauteur avec quelques arbustes; (ii) savoka d'âge moyen de cinq à dix ans à l'intérieur duquel les arbustes commencent à dominer en éliminant peu à peu les plantes herbacées; et (iii) savoka vieux de plus de 10 ans avec une dominance des arbustes et de *Ravenala madagascariensis* et d'autres espèces pionnières telles que *Harungana madagascariensis* et *Albizia lebeck* (17).

L'indice de Kappa est un indice qui permet de «retirer» la portion de hasard ou de subjectivité de l'accord entre les techniques. Après calcul, l'indice Kappa est égal à 82%. D'après Pontius, une étude de l'occupation du sol peut être validée si  $\kappa > 50\%$  (25); cela permet de conclure que le résultat de la classification de l'image 2014 est statistiquement acceptable.

### Cartographie d'occupation du sol par époque

Les classifications des images Landsat ont permis d'obtenir trois cartes d'occupation du sol datées de 1996, 2004 et 2014 (Figure 1) avec chacune trois classes.

Les proportions des classes d'occupation du sol du paysage de la RSA pour les trois années d'études sont présentées dans le tableau 3. On en déduit que le paysage de la RSA est dominé par la classe «forêt», mais avec une régression notable (d'environ 82 à 68 %). Les 18% à 32% restants sont formés par les «savoka» et les «champs de culture». Les tests  $\chi^2$  indiquent que les distributions de la proportion des différents types d'occupation du sol de la RSA ne sont

pas significativement différentes entre les années 1996 et 2004 ( $\chi^2 = 28,67$ ;  $p > 0,05$ ). Par contre, la différence des distributions est significative entre les années 2004 et 2014 ( $\chi^2 = 132,29$ ;  $p < 0,05$ ): il y a eu donc un changement significatif pour la deuxième période. Le changement majeur d'occupation du sol de la Réserve au cours de la période 2004-2014 a été une augmentation d'environ 47% de la superficie des «savoka» ainsi qu'une augmentation de 43% de la classe «champs de culture» qui sont respectivement passés de 4489 ha à 6592 ha et de 1053 ha à 1501 ha.

Pour la totalité de la période d'étude (1996-2014), les distributions de la proportion des classes d'occupation du sol présentent une différence significative ( $\chi^2 = 31,92$ ;  $p < 0,05$ ): on assiste à une nette régression de la superficie forestière (20753 ha en 1996 et 17131 ha en 2014, soit une perte de 17,5% correspondant à un taux annuel de déforestation de 0,9%). Si on raisonne selon deux périodes, les taux de déforestation annuels de la RSA sont de 0,6% entre 1996 et 2004 et de 1,3% entre les années 2004 et 2014.

### Dynamique du paysage

La figure 3 illustre les changements observés de 1996 à 2014 dans une partie de la zone d'études. Les changements d'occupation de sol survenus dans RSA pendant les deux périodes 1996-2004 et 2004-2014 sont présentés dans les tableaux 4 et 5. Chaque valeur des tableaux correspond à la proportion de l'aire convertie de la classe indiquée sur la ligne vers la classe en tête de colonne; et les valeurs en gras indiquent les taux de permanences des classes. A titre d'exemple (pour la première ligne du tableau 4): sur 82,3% de la surface du paysage qu'occupait la forêt en 1996, 75,5% sont restés intacts; 5,5% ont été dégradés et convertis en «savoka» et 1,3% convertis en champs de culture.

Selon les tableaux 4 et 5, la forêt s'est révélée être la classe qui a subi la plus grande conversion, plus précisément des régressions. En effet, sur les 82,3% qu'occupait la forêt en 1996; 5,5% ont été convertis en «savoka» et 1,3% en «champs de culture» en 2004. Ainsi, en 2004, la proportion restante de la «forêt» était de 78,0%. Avec la dégradation continue des forêts, cette proportion n'a pas cessé de diminuer et la forêt n'occupait plus que 67,9% de la RSA;

Concernant la classe «champs de culture», sa superficie reste plutôt stable (5,5% en 1996, 4,2% en 2004 et 6,0% en 2014). Par contre, si on examine bien les tableaux 4 et 5, on peut voir que le taux de permanence de cette classe (sur les diagonaux, en gras) est faible. Autrement dit, la population exploite les terrains seulement pendant quelques années et change de terrains à cultiver au fur et à mesure du temps.



(Rakotondrasoa, 2015)

**Photo 3:** Champs de culture à Ambinaniroa(culture de riz pluvial sur «tavy» ou culture sur brûlis).

**Tableau 2**

Matrice de confusion de la classification de l'image de 2014

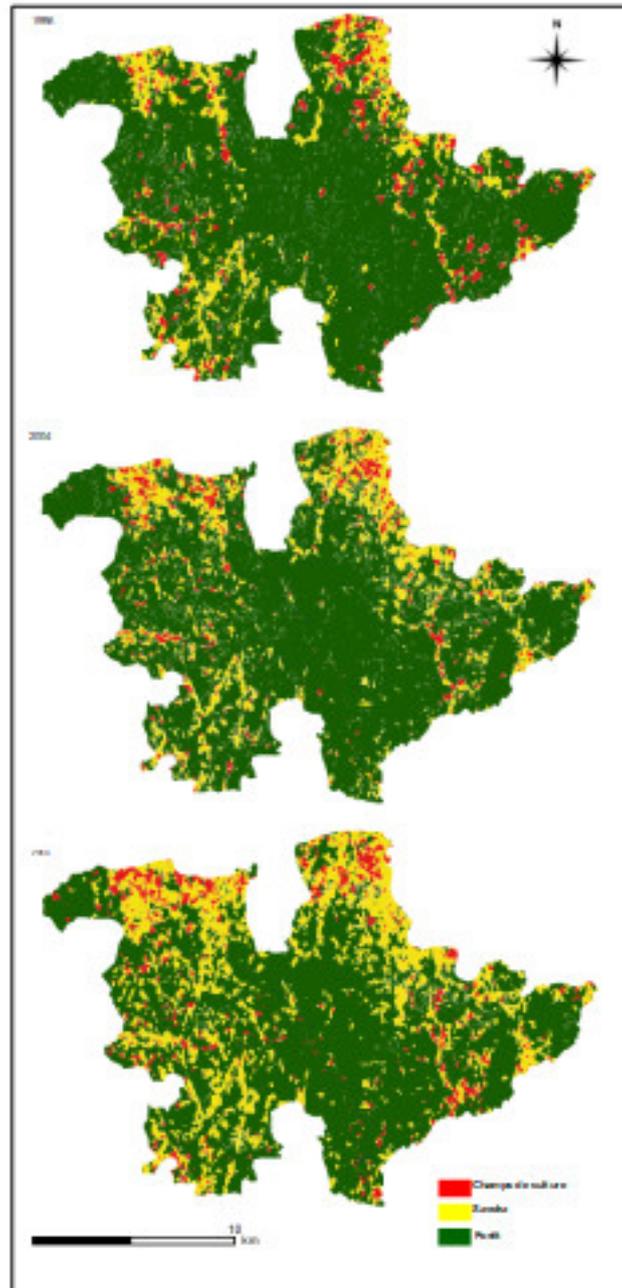
	Points de contrôle			Total	Erreur de commission (%)
	Forêt	Savoka	Culture		
Classification Forêt	34	4	0	38	10,53
Savoka	8	45	4	57	21,05
Culture	0	4	27	31	12,9
Total	42	53	31	126	
Erreur d'omission (%)	19,05	15,09	12,9		

**Tableau 3**

Proportions des classes d'occupation du sol du paysage de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky pour les trois années d'étude

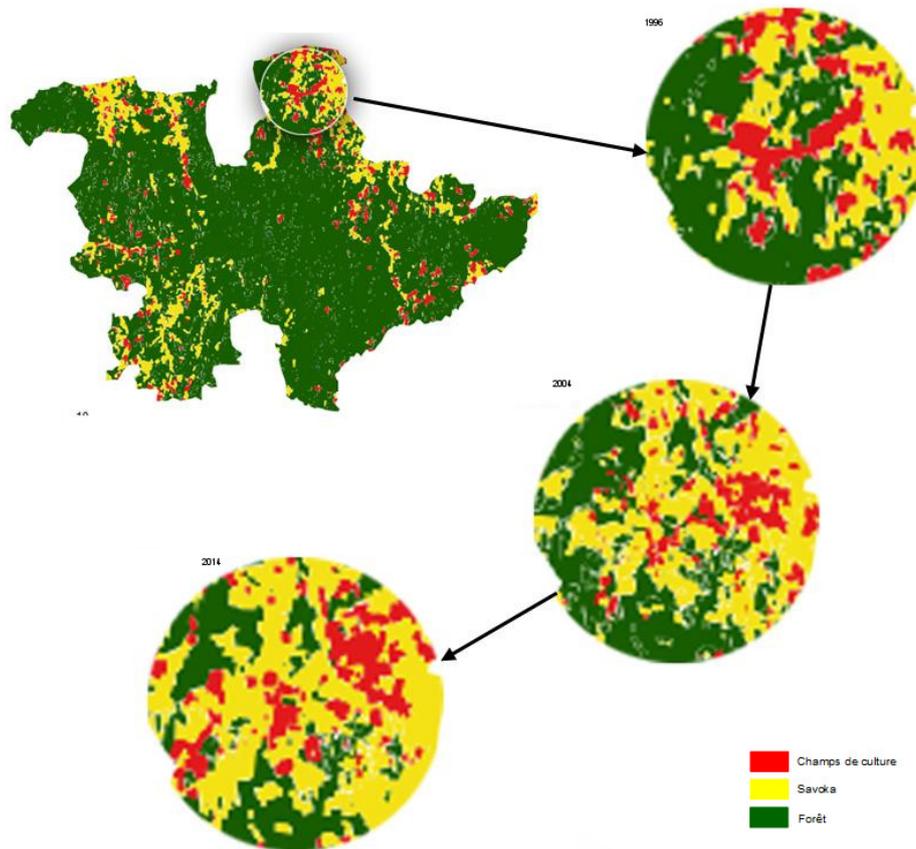
Année	Forêt		Savoka		Champs de culture	
	Superficie (ha)	Proportion (%)	Superficie (ha)	Proportion (%)	Superficie (ha)	Proportion (%)
1999	20753	82,3	3093	12,2	1377	5,5
2004	19681	78	4489	17,8	1053	4,2
2014	17131	67,9	6592	26,1	1501	6

(Les données sont issues des cartes élaborées à partir des images Landsat datées de 1996, 2004 et 2014)



(Obtenu après classification des images LANDSAT , projection WGS84)

**Figure 2:** Cartes d'occupation du sol de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky en 1996, 2004 et 2014.



(Obtenue sur base des cartes d'occupation du sol issues des classifications des images LANDSAT datées de 1996, 2004 et 2014 de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky)

**Figure 3:** Illustration des changements observés au niveau de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky entre 1996 et 2014.

**Tableau 4**

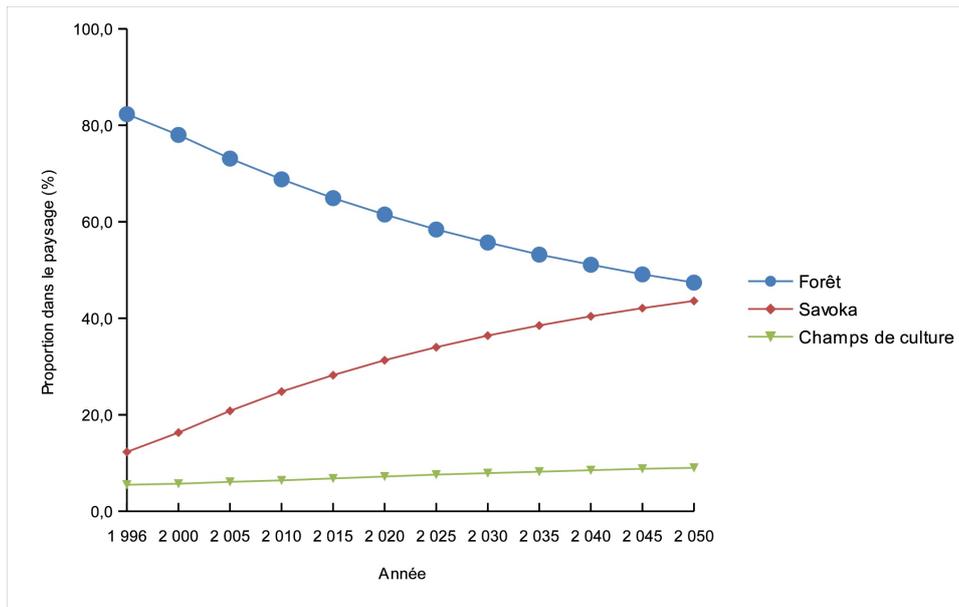
Matrice de transition illustrant, en pourcentage (%) la surface des types d'occupation du sol du paysage de la RSA [données de 1996 (lignes) et 2004 (colonnes)].

	2004			
1996	Forêts	Savoka	Champs de culture	Totaux
Forêts	75,5	5,5	1,3	82,3
Savoka	1,1	9,1	2	12,2
Champs de culture	1,4	3,2	0,9	5,5
Totaux	78	17,8	4,2	100

**Tableau 5**

Matrice de transition illustrant, en pourcentage (%) la surface des types d'occupation du sol du paysage de la RSA [données de 2004 (lignes) et 2014 (colonnes)].

	2014			
2004	Forêts	Savoka	Champs de culture	Totaux
Forêts	66,3	9,1	2,6	78
Savoka	1,5	14,4	1,9	17,8
Champs de culture	0,1	2,6	1,5	4,2
Totaux	67,9	26,1	6	100



(Obtenu à partir de l'utilisation de la Chaîne de Markov sur base des cartes d'occupation du sol datées de 1996, 2004 et 2014 de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky)

**Figure 4:** Dynamique de l'occupation du sol de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky de 1996 à 2050.



(Rakotondrasoa, 2012)

**Photo 4:** «Tavy» à Ambavala (destruction de la forêt primaire par abattage suivi de brûlis en vue de la culture du sol).

Les nouveaux terrains de culture sont issus à la fois du défrichement de la forêt et des «savoka», comme indiquent les tableaux 4 et 5 à travers les proportions de ces deux types d'occupation du sol converties en champs de culture pour les deux périodes d'étude. En conséquence, pour les deux périodes, une augmentation considérable de la superficie des «savoka» a été notée. En 1996, le «savoka» occupait 12,2% de la superficie de la RSA; cette proportion a augmenté et a atteint 17,8% en 2004 et 26,1% en 2014 (soit une augmentation de 45,9% entre 1996 et 2004 et de 46,6% entre 2004 et 2014). Cette augmentation est liée à la conquête périodique de nouveau terrain de culture par la population locale. En effet, les terrains de culture laissés évoluent en «savoka», qui sont des formations secondaires composées par des espèces à croissance rapide. Et cette conquête de terrain est une des principales causes de la déforestation; la population défriche la forêt pour la convertir en champs de culture. La simulation de l'évolution future de l'occupation du sol de 1996 à l'horizon 2050 est présentée dans la figure 4. Les tests de comparaison de la composition paysagère simulée avec celle observée sur les cartes ont affichées les valeurs suivantes  $\chi^2 = 29,6$ ;  $p > 0,05$  et  $\chi^2 = 17,2$ ;  $p > 0,05$  respectivement pour l'année de vérification 2004 et pour l'année de validation 2014. Autrement dit, il n'y a pas de différence significative entre la proportion des types d'occupations du sol issue de la simulation et ceux des cartes élaborées pour les deux années 2004 et 2014. En conséquence, la simulation obtenue est vérifiée, validée et jugée recevable.

La simulation obtenue montre que la forêt et le «savoka» occuperont presque la même superficie en 2050. En effet, la couverture forestière diminuera progressivement. Elle occupait 82,3% du paysage total en 1996 et serait de 47,4% en 2050. La réduction de cette classe s'effectuerait principalement en faveur de l'augmentation de la superficie des «savoka», qui passeront de 12,3% en 1996 à 43,6% en 2050. Concernant les champs de culture, leurs superficies vont connaître une augmentation: 5,5% en 1996 et 9,0% en 2050. Il est à signaler que ces tendances partent de l'hypothèse selon laquelle les facteurs potentiels et les variables qui influenceront la dynamique du paysage garderont la même emprise que celle de la période de 1996 à 2014; cette hypothèse correspond au principe de la «stationarité» (30).

## Discussion

Sur le plan méthodologique, l'étude cartographique et la production des cartes à partir du traitement d'images satellites par télédétection ont permis de détecter l'évolution spatiale et temporelle de l'occupation du sol. La validation de la classification effectuée sur ordinateur grâce aux relevés de points GPS sur terrain a permis de confirmer les cartes produites. En effet, la matrice de confusion a permis de calculer la précision globale de la classification et l'indice Kappa, qui sont respectivement 84,1% et 78,9%. L'élaboration des cartes multidates a ressorti où ont eu lieu les changements d'occupation du sol de la RSA et quelle a été la superficie d'une classe convertie en une autre classe.

Par ailleurs, la chaîne Markov a été choisie pour effectuer la modélisation de la dynamique du paysage forestier de la RSA. En effet, pour maîtriser l'évolution de ces processus de transformation du paysage, il est important de s'appuyer sur des outils d'études cinématiques ou prospectifs permettant l'anticipation de l'évolution du risque et parmi ces méthodes, la modélisation apparaît comme un réel outil d'aide à la décision (3). La chaîne de Markov a permis d'appréhender les changements de catégorie au niveau des classes d'occupation du sol pour les deux périodes d'études 1996-2004 et 2004-2014. Elle a l'avantage de fournir une méthode de complexité limitée par laquelle un système dynamique pourrait être détaillé et examiné (3). En plus de mesurer les changements d'utilisation du territoire qui se sont produits, cette approche permet de faire ressortir les tendances qui étaient non-évidentes dans le jeu de données de départ (23).

Pour la première période d'étude, c'est-à-dire entre 1996 et 2004, la couverture forestière de la RSA a régressé avec un taux annuel de déforestation égal à 0,6%. Ce taux est bas comparé à celui que Zaehring a ressorti pour toute la forêt humide du Nord-Est de Madagascar qui est de 1% pour la période de 1995-2005 (32). Cependant, pour presque les mêmes périodes, ce taux est élevé par rapport au taux moyen annuel de déforestation des aires protégées malgaches qui est de 0,3% entre 1990 et 2000 (24). En outre, entre les années 2004 et 2014, la déforestation de la RSA a eu plus d'ampleur, une perte annuelle de forêt d'environ 1,3% a été enregistrée. Ce taux rejoint celui trouvé par Allnutt *et al.* pour le parc national Masoala entre 2010 et 2011 qui est de 1,27% (1). Cependant, pour d'autres forêts de l'Est, les taux de déforestations restent stables, c'est le cas du corridor Manompana avec un taux de 1,07% entre 1991 et 2004 et 1,09 entre 2004 et 2009 (11). Ainsi, on peut conclure que la couverture forestière de la RSA a diminuée malgré son statut

d'aire protégée. Les actions de conservation ne se limitent pas à la seule protection des ressources naturelles, mais elles sont inséparables des actions de développement économique et social. Une croissance démographique non accompagnée d'une croissance économique pourrait être fatale à la pérennisation des ressources naturelles, car, dans ce contexte, la population devra avoir recours aux ressources naturelles. En effet, la zone d'étude présente un taux de croissance démographique annuel élevé d'environ 2,8% entre 2011 et 2014 (35). Cet accroissement démographique engendre de sérieux problèmes d'insuffisance de parcelles culturales et de migration. Cette difficulté est ressentie progressivement par les familles paysannes qui exploitent les mêmes parcelles dont elles ont héritées de leurs parents et grand-parents. La migration se manifeste par le déplacement vers les régions plus fertiles et surtout à la périphérie des forêts primaires.

Les tendances obtenues suite à la simulation à partir de la chaîne de Markov de premier ordre, ont révélé une diminution de la superficie forestière de la RSA. Ces tendances partent de l'hypothèse selon laquelle les facteurs potentiels et les variables qui influenceront la dynamique du paysage garderont la même emprise que celle de la période de 1996 à 2014. Il en découlerait que la couverture forestière va diminuer au profit principalement des «savoka», des formations secondaires post-culturales (1).

L'augmentation de la superficie des «savoka» découle du développement et de l'extension du «tavy» (photo 4). Notre hypothèse stipulant que «les pratiques culturales, notamment l'agriculture itinérante sur brûlis ou «tavy», favorisent la régression du couvert forestier du paysage d'Ambatovaky, malgré son statut d'aire protégée» est ainsi acceptée. La limitation spatiale incite les paysans à cultiver le riz sur «tavy». Le fond du problème réside donc dans le fait que l'intensification

de la production agricole ne peut plus suivre les évolutions démographiques du milieu rural (20). En effet, les populations dictées par leurs besoins accrus sont contraintes à conquérir de nouveaux terrains pour l'agriculture de subsistance dans certaines régions à Madagascar (10).

Dans le cas d'Ambatovaky, la population riveraine défriche la forêt pour la convertir en champs de culture qu'elle abandonne après quelques années pour défricher une autre partie de la forêt. Cette pratique tend à réduire annuellement la superficie des différents types de forêts humides à Madagascar. En effet, la déforestation des forêts primaires du versant Est peut en grande partie être attribuée à la culture sur brûlis (20)

### Conclusions

Dans cette étude, nous avons déterminé la dynamique spatio-temporelle du paysage forestier de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky. Des classifications des images Landsat datées de 1996, 2004 et de 2014 ont permis de produire des cartes d'occupation du sol de la RSA. Ces cartes ont constitué une base pour la modélisation de l'évolution de la dynamique du paysage forestier de la RSA. Il ressort que la couverture forestière de la zone d'étude régressera au fur et à mesure de temps malgré son statut d'aire protégée. La perte de la forêt se manifestera au profit des champs de culture, qui sera laissés après quelques années d'exploitation et se convertira en « savoka ». Cette situation peut être en relation avec la pression démographique élevée entraînant une insuffisance des terres agricoles disponibles. Notre recherche a mis en évidence que les actions de conservation ne doivent pas se limiter à la seule protection des ressources naturelles, mais qu'elles sont inséparables des actions de développement économique et social de la population riveraine.

### Références bibliographiques

- Allnutt, T. F., Asner G. P., Golden C. D. & Powell G. V. N., 2013, Mapping recent deforestation and forest disturbance in northeastern Madagascar, *Trop. Conserv. Sci.*, **6**, 1-15.
- Aubert S., Razafiarison S. & Bertrand A., 2003, *Déforestation et systèmes agraires à Madagascar. Les dynamiques des tavy sur la côte orientale*. CIRAD, CITE, FOFIFA, Montpellier, Antananarivo.
- Barima Y.S.S., Egnankou M.W., N'doumé C.T.A., Kouamé F.N. & Bogaert J., 2010, Modélisation de la dynamique du paysage forestier dans la région de transition forêt-savane à l'est de la côte d'Ivoire, *Rev. Téléédéct.*, **9**, 129-138.
- Barrett C.B., 1999, Stochastic food prices and slash-and-burn agriculture, *Environ. Dev. Econ.*, **4**, 161-176.
- Bell E. J., 1974, Markov analysis of land use change: an application of stochastic processes to remotely sensed data, *Socio-Econ. Plan. Sci.*, **8**, 311-316.
- Blanc-Pamard C. & Rakoto Ramiarantsoa H., 2003, *Madagascar: Les enjeux environnementaux*. In: Lesourd M., *L'Afrique. Vulnérabilité et défis*. Nantes: Editions du temps, 354-376.
- Bodin B., Ravilious C., Mant R. & Bastianelli C., 2014, *Les synergies entre la REDD+ et les objectifs d'Aichi de la Convention sur la Diversité Biologique en Afrique Centrale - L'apport de l'analyse spatiale pour la planification conjointe de deux engagements internationaux sur les forêts*. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.

8. Caloz R. & Collet C., 2001, *Traitements numériques d'images de télédétection*. Québec, Canada: Presses de l'Université du Québec.
9. Chavez J.P.S., 1988, An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data, *Remote Sens. Environ.*, **24**, 459 - 479.
10. Clark M., 2012, Deforestation in Madagascar: Consequences of Population Growth and Unsustainable Agricultural Processes, *Global Majority E-Journal*, **3**, 61-71.
11. Eckert S., Ratsimba H. ., Rakotondrasoa L.O., Rajoelison L.G. & Ehrensperger A., 2011, Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and carbon stock of lowland rainforest in the Analanjirifo region, Madagascar, *For. Ecol. Manage.*, **262**, 1996–2007.
12. FAO, 2012, *Situation des forêts 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome.
13. FAO, 2013, *FAO Statistical Yearbook 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome.
14. Gautier L. & Goodman S.M., 2003, *Introduction to the flora of Madagascar*. In *The Natural History of Madagascar*, ed. S.M. Goodman & J.P. Benstead, 229-250. Chicago, IL, USA: University of Chicago Press.
15. Groupe des Spécialistes des Plantes de Madagascar, 2011, Liste rouge des plantes vasculaires endémiques de Madagascar.
16. Harper G.J., Steininger M.K., Tucker C.J., Juhn D. & Hawkins F., 2007, Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar, *Environ. Conserv.*, **34**, 325–333.
17. Kiener A., 1963, Le "tavy" à Madagascar : ses différentes formes et dénominations, bilan du tavy et problèmes humains, moyens de lutte, *Bois et For. Trop.*, **90**, 9-16.
18. Madagascar National Parks, 2010, *Plan de sauvegarde sociale et environnementale de la réserve spéciale Ambatovaky*.
19. McConnell, 2002, Madagascar: Emerald isle or paradise lost?, *Environ.*, **44**, 10-14.
20. Messerli, P. 2003, *Alternatives à la culture sur brûlis sur la Falaise Est de Madagascar: Stratégies en vue d'une gestion plus durable des terres*, African Studies Series, A17, Geographica Bernensia, Berne.
21. Minten B. & Moser C., 2003, *Forêts: usages et menaces sur une ressource*. In : *Agriculture, pauvreté rurale et politiques économiques à Madagascar*, ed. B. Minten, J. C. Randrianarisoa & L. Randrianarison, 86-89, Cornell University, Ithaca.
22. Moore A.D., 1990, The Semi-Markov process - a useful tool in the analysis of vegetation dynamics for management, *J. Environ. Manage.* **30**, 111-130.
23. Muller M.R. & Middleton J., 1994, A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara region, Ontario, Canada, *Landscape Ecol.*, **9**, 151-157.
24. ONE, DGF, FTM, MNP & CI, 2013, *Evolution de la couverture des forêts naturelles à Madagascar 2005-2010*. Antananarivo, Madagascar.
25. Pontius R.G. Jr., 2000, Quantification error versus location in comparison of categorical maps, *Photogram. Eng. Remote Sens.*, **66**, 1011-1016.
26. République de Madagascar, 1990, *Loi n° 90-033 du 21 décembre 1990 portant Charte de l'Environnement malagasy, Madagascar*.
27. Schlaepfer R., 2002, *Analyse de la dynamique du paysage. Fiche d'enseignement 4.2, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes*, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse.
28. Styger E, Rakotondramasy H.M., Pfeffer M.J., Fernandes E. C.M. & Bates D.M., 2007, Influence of slash-and-burn farming practices on fallow succession and land degradation in the rainforest region of Madagascar, *Agric., Ecosyst. & Environ.*, **119**, 257–269.
29. Toyi M.S., Barima Y.S.S., Mama A., André M., Bastin J -F., De Cannière C., Sinsin B. & Bogaert J., 2013. Tree Plantation Will Not Compensate Natural Woody Vegetation Cover Loss in the Atlantic Department of Southern Benin, *Tropicultura*, **31**, 62-70.
30. Urban D.L. & Wallin D.O., 2002, *Models of landscape change. In: Learning landscape ecology: a practical guide to concepts and techniques*, Eds S.E. Gergel & T.M.G. Springer, New York, pp. 35-48.
31. Weng Q., 2002, Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling, *J. Environ. Manage.*, **64**, 273-284.
32. Zaehring J.G., Eckert S. & Peter M., 2015, Revealing Regional Deforestation Dynamics in North-Eastern Madagascar—Insights from Multi-Temporal Land Cover Change Analysis, *Land*, **4**, 454-474.
33. [http://landsat.usgs.gov/Landsat\\_Processing\\_Details.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php)
34. [http://www.indexmundi.com/fr/madagascar/croissance\\_demographique\\_%28taux\\_de\\_croissance%29.html](http://www.indexmundi.com/fr/madagascar/croissance_demographique_%28taux_de_croissance%29.html)
35. <https://www.instat.mg/madagascar-en-chiffre/>

L.O. Rakotondrasoa, Malgache, PhD, Enseignant chercheur, Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts, Antananarivo, Madagascar.

F. Malaisse, Belge, PhD, Professeur honoraire, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique; Membre ARSOM.

J. Bogaert, Belge, PhD, Professeur ordinaire, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique; Professeur ERAIFT, Knshasa, R.D. Congo; Membre ARSOM.

## Facteurs agissant sur la mortalité des chevreaux Djallonké et croisés Djallonké et Sahélien à la station de Kolokopé

A.Y. Djabga<sup>1\*</sup>, B. Bonfoh<sup>1</sup>, K. Aklikokou<sup>2</sup>, H. Bassowa<sup>1</sup> & K.Z. Koffi<sup>1</sup>

**Keywords:** Kids- Djallonke- Kolokopé- Sahelian- Mortality- Togo

### Résumé

La productivité des caprins de race Djallonké est faible malgré leur bonne prolificité. Cette productivité faible est due au taux élevé de mortalité avant sevrage. La mortalité périnatale est souvent liée au faible poids à la naissance des chevreaux. Des croisements entre des chèvres Djallonké et un bouc Sahélien d'une part, et entre boucs et chèvres Djallonké, d'autre part, ont été réalisés au cours de deux campagnes à la station du Programme National Ovins Caprins de Kolokopé. Un taux de mortalité de  $78,3\pm 14,6$  a été enregistré avant le sevrage chez les chevreaux Djallonké nés avec un poids inférieur à 1 kg. La mortalité, bien que non significative, était plus élevée chez les chevreaux de race pure Djallonké ( $41,3\pm 7,1\%$ ) que chez les chevreaux métis ( $30,9\pm 8,1\%$ ) pendant les deux campagnes de lutte. Alors que les facteurs sexe, mode de naissance, race et saison de mise bas n'ont pas eu d'effets significatifs sur la mortalité avant sevrage des chevreaux, l'effet du poids à la naissance des chevreaux a été très significatif sur leur mortalité. Le croisement réalisé entre des chèvres Djallonké et un bouc Sahélien a entraîné une réduction du taux de mortalité des chevreaux au sevrage grâce à l'amélioration du poids des chevreaux métis à la naissance par rapport aux Djallonké purs. Cette méthode peut donc constituer une des voies d'amélioration de la survie des chevreaux Djallonké au sevrage.

### Summary

#### Mortality Determinants of Djallonke Kids and Crossbred between Djallonke and Sahelian Buck at Kolokope Station

Productivity of Djallonke goats is low despite their good prolificacy. This low productivity is due to the high mortality rate before weaning of the kids. Perinatal mortality is often related to the low birth weight of kids. Crosses between Djallonke goats and a Sahelian buck goat on one hand and between Djallonke goats and bucks of the same breed on the other hand were carried out during two campaigns at the National Goat Sheep Program station of Kolokopé. A mortality rate of  $78.3\pm 14.6\%$  was observed for pure Djallonke kids which were born with a weight less than 1 kg. During the two seasons, the mortality rate was higher but not significant for pure Djallonke ( $41.3\pm 7.1\%$ ) compared to the mortality of crossed ones ( $30.9\pm 8.1\%$ ). The factors sex, birth mode, breed and calving season did not affect the pre-weaning mortality of the kid's. Birth weight affected very significantly the kid's mortality. The crossbreeding between Djallonke goats and a Sahelian buck induced a reduction of mortality rate at weaning. This reduction was due to the improvement of the birth weight of crossbreds compared to the birth weight of the pure Djallonke. This method can therefore be considered as one of the ways to improve the survival of Djallonke kids at weaning.

<sup>1</sup>Institut Togolais de Recherche agronomique, Lomé, Togo

<sup>2</sup>Université de Lomé, Togo.

\*Auteur correspondant: Email: atouga16@yahoo.fr

## Introduction

La chèvre Djallonké ou chèvre naine d'Afrique de l'Ouest encore appelée en Anglais West African Dwarf (WAD) Goat est la plus élevée au Togo bien que son élevage soit plus difficile que celui des ovins surtout sa conduite au pâturage. Cette chèvre se caractérise par une précocité de reproduction, une bonne prolificité, une aptitude à se reproduire tout au long de l'année, une adaptation aux conditions climatiques tropicales humides et surtout par sa rusticité et sa résistance à la trypanosomiase animale. L'élevage de la chèvre Djallonké est important tant en milieu savane que forestière (6). Plusieurs études ( 4, 6, 8, 9, 12) montrent que la chèvre est caractérisée par une forte mortalité liée au faible poids des chevreaux à la naissance. La bonne prolificité des chèvres est donc souvent annulée par la forte mortalité des chevreaux à la naissance (2). Cette forte mortalité avant sevrage serait le plus important facteur des pertes économiques pour les éleveurs (10). Des facteurs les plus cités comme agissant sur cette mortalité avant sevrage sont les facteurs environnementaux et génétiques. L'influence des facteurs comme le sexe, l'année et la saison de naissance et le rang de naissance a été signalée sur la mortalité avant sevrage des chevreaux Djallonké au Ghana (6). Le métissage entre la race locale Abergelle en Ethiopie avec une race lourde la race Boer a permis de réduire la mortalité des chevreaux avant sevrage (3). La sélection à l'intérieur de la race Djallonké n'apporte qu'une solution partielle à l'amélioration de la productivité numérique et individuelle et ne peut faire face à la demande croissante de la viande (5). Les chevreaux Djallonké dont les mortalités avant sevrage sont très élevées sont caractérisés par de faibles poids à la naissance. Plusieurs pistes d'amélioration de la survie des chevreaux au sevrage ont été proposées. Parmi ces pistes, il y a le croisement des chèvres Djallonké avec des boucs de race plus lourde pour améliorer le poids des chevreaux à la naissance. Le but de ce travail est d'estimer le taux de survie des chevreaux Djallonké et celui des Métis (chèvres Djallonké croisées avec bouc Sahélien) au sevrage et après sevrage pour confirmer ou infirmer le bien fondé du métissage. Aussi les facteurs environnementaux agissant sur ces taux de mortalité en station ont été testés.

## Matériel et méthodes

### Site d'étude

L'expérimentation a été faite à la station du Programme National Ovins Caprins de Kolokopé. La pluviométrie annuelle moyenne pour les trente ans dans la localité de Kolokopé est de 1158 mm de 1980 à 2010 avec des températures variant de 23 à 32 °C.

Le sol est formé de vertisols constitués d'argiles gonflantes, très riches et supporte des cultures variées comme le maïs, l'igname, le coton, le mil... Le climat est de type tropical humide avec deux saisons de pluies et deux saisons sèches. La végétation est constituée d'une savane boisée à arborée claire et semi-dense. Une galerie forestière de *Terminalia* sp, *Anogeisus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus* longe le long du fleuve. Cette galerie constitue une réserve pour les glossines (*Glossina tachinoides* et *G. palpalis*) qui attaquent souvent le cheptel. Les espèces qui forment le fond du boisement sont *Panicum maximum*, *Andropogon gyanus*.

### Matériel animal

Le matériel animal est constitué du noyau de reproducteurs de la station de recherche de Kolokopé (140 chèvres mères Djallonké multipares et 30 boucs). Les chèvres mères sont des chèvres âgées de 2 à 7 ans, ce sont des chèvres multipares Djallonké élevées à la station de Kolokopé depuis 1992, les boucs Djallonké ont été sélectionnés à la station du Programme National Ovins Caprins et le bouc Sahélien âgé de 2 ans a été acheté au Burkina. Les chevreaux de cette étude sont issus de deux accouplements organisés en 2006 et en 2008 afin de voir l'effet de la saison sur la survie des chevreaux entre un bouc sahélien et des chèvres Djallonké (chevreaux métis), d'une part et entre des boucs Djallonké et des chèvres Djallonké d'autre part. Les accouplements de 2008 avaient pour but de déterminer l'effet de la saison sèche sur le taux de survie des chevreaux par rapport à l'effet de la saison humide obtenu en 2006. Cette opération n'a pas été poursuivie dans le souci de ne pas perdre la race pure Djallonké de la station de Kolokopé. Les accouplements se font les nuits au parc. Ils ont lieu dans un enclos fait de claies où sont introduits 30 chèvres et le bouc Sahélien. Les chèvres non allotées (102) sont accouplées avec deux boucs Djallonké. La durée des accouplements a été de 45 jours.

Au total 54 chevreaux métis, 153 chevreaux Djallonké soit 207 nés vivants sont enregistrés. Les effectifs des chevreaux selon certains paramètres sont: paramètre sexe, 119 mâles et 88 femelles; paramètre type génétique, 54 métis et 153 Djallonké; paramètre année de naissance, 126 naissances en Juillet 2006 et 81 naissances en décembre 2008. Par rapport au mode de naissance, 148 chevreaux nés multiples et 59 chevreaux nés simples.

L'identification des chevreaux s'est faite dans les 24 heures avec une boucle auriculaire pré numérotée tip-tag.

Les chevreaux étaient nourris exclusivement au lait maternel pendant le premier mois d'âge.

Au sein de l'abri, était aménagé un mini parc d'alimentation avec passage sélectif pour les chevreaux. La durée moyenne quotidienne de pâturage est de six heures, et la complémentation alimentaire servie était basée sur les graines de coton à raison de 150 g/chèvre/jour, *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* et *Panicum maximum*. La complémentation minérale était assurée par l'apport des blocs de pierre à lécher de 10 kg à volonté.

L'eau était distribuée à volonté dans les abreuvoirs au parc.

### Opérations sanitaires

#### *Le déparasitage interne*

Les chevreaux ont été vermifugés deux fois avant leur sevrage, à 3 mois avec l'Albendazol® 10% à la dose de 1 mg/10 kg PV. Les adultes ont été vermifugés trois fois par an : en début (mai), en pleine saison des pluies (août) et en fin (novembre) de saison des pluies.

Le déparasitage externe s'est fait comme suit:

- deux bains mensuels pendant la saison des pluies de mai à octobre
- un bain mensuel en saison sèche de novembre à avril.

Le produit utilisé était le Dominex® (l'alpha cyperméthrine) à large spectre d'action à la dose de 1 litre pour 2000 litres d'eau.

#### *La vaccination*

Elle a concerné essentiellement la Peste des Petits Ruminants (PPR) et s'est déroulée avant le sevrage des chevreaux (dix jours avant le sevrage). Le produit utilisé était OvipestND en injection sous-cutanée.

### Méthode de traitement des données

Les tracés des histogrammes ont été faits avec Excel. L'analyse a été faite avec le logiciel SPSS 20, les tests multivariés des facteurs ont permis de faire les comparaisons entre les données.



Photo 1: Chevreau Métis.

## Résultats

### Mortalité avant sevrage des chevreaux

Le taux de mortalité périnatale (mortalité à 3 jours d'âge) enregistré est de 14,9% (n=31) pour l'ensemble des 207 chevreaux nés. Il est de 16,9% chez les chevreaux Djallonké (26 mortalités sur 153 nés vivants) contre 9,3% chez les chevreaux métis (5 mortalités pour 54 naissances). En 2006, le taux de mortalité à 3 jours enregistré était de 13,5% (17 cas sur 126 naissances) alors qu'il était de 17,3% en 2008 (14 cas sur 81 naissances).

A l'âge de 30 jours, un taux global de mortalité de 31,9% est enregistré (66 chevreaux morts sur 207 nés vivants). Le quotient de mortalité est de 78,8% (52 cas de mortalités pour les Djallonké) contre 21,2% (14 cas de mortalités pour les Métis). A cet âge, en 2006, il a été enregistré un taux de mortalité de 27,8% (35 mortalités sur 126 naissances) et en 2008, ce taux était de 38,3% (31 cas sur 81). Au sevrage, le taux de mortalité en 2006 était de 42,1% (53 mortalités) contre 42% en 2008 (34 cas de mortalités). Le tableau 1, indique la répartition des naissances et des mortalités selon les différents paramètres étudiés.

### Mortalité selon le poids à la naissance

La figure 1 montre qu'à l'âge de trois jours, près de la moitié (43,3%±7,2) des chevreaux nés avec un poids inférieur à 1 kg sont morts. La mortalité de cette classe à 3 jours est statiquement plus élevée que celle des chevreaux nés avec un poids compris entre 1 et 1,5 kg (10,9%±3,4) et celle des chevreaux nés lourds (poids supérieur à 1,5 kg) qui est de 3,9%±3,3. A l'âge de 30 jours, le taux de mortalité des chevreaux (chevreaux Djallonké) nés avec un poids inférieur à 1 kg est de 73,3%±15. La mortalité de l'ensemble des chevreaux est de 32,9% (68 morts pour 207 chevreaux). On constate qu'à cet âge, la mortalité est plus importante pour les chevreaux nés avec le poids faible inférieur à 1kg (Figure 1).

Au sevrage, il est enregistré un taux de mortalité global des chevreaux de 42%. L'analyse statistique a fait ressortir les mêmes observations qu'à l'âge de trente jours (Figure 1).

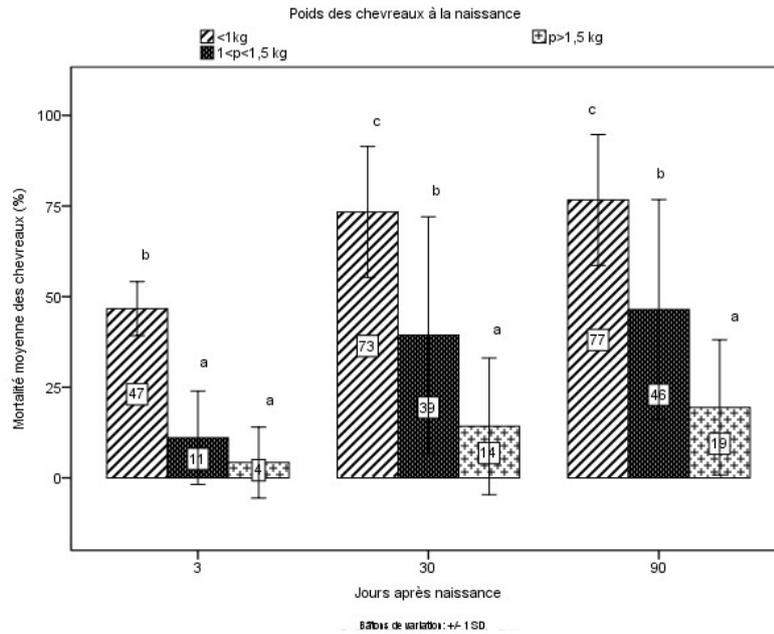


Photo 2: Chevreaux Djallonké.

**Tableau 1**  
Répartition des naissances selon le poids à la naissance, le sexe, le mode de naissance, la saison et le type génétique des chevreaux.

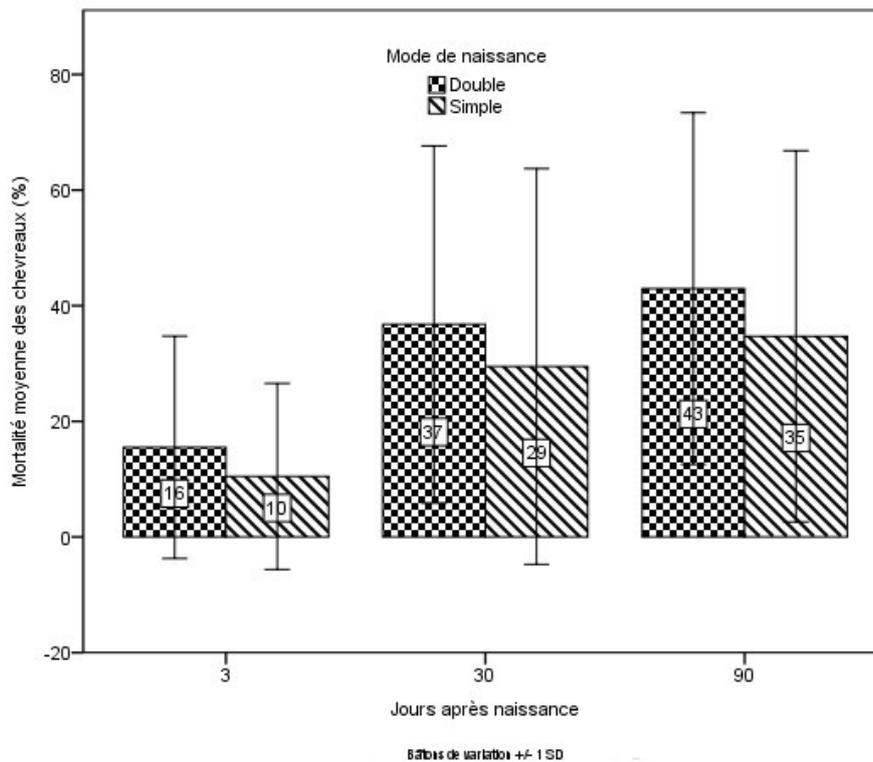
Race	Poids naissance Sexe/mode/année	Pds < 1kg				1 ≤ P < 1.5				P ≥ 1.5				T morts 3J	T morts 30J	T morts 90J	
		NV	M 3 J	M 30J	M 90J	NV	M 3 J	M 30J	M 90J	NV	M 3 J	M 30J	M 90J				TNV
Djallonké	MS 06	2	1	2	2	9	1	6	4	5	0	0	0	16	2	3	6
	MD 06	6	2	4	5	28	1	16	10	6	0	1	1	40	3	12	16
	FS 06	0	0	0	0	6	0	2	1	3	1	1	1	9	1	1	2
	FD 06	4	2	3	3	25	7	20	16	2	0	1	1	31	9	14	20
	Total Djallonké 06	12	5	9	10	68	9	44	31	16	1	3	3	96	15	30	44
	MS 08	0	0	0	0	3	1	3	2	3	0	1	1	6	1	3	3
	MD 08	2	1	1	1	17	5	10	9	4	0	0	0	23	6	9	10
	FS 08	0	0	0	0	8	0	3	3	2	0	0	0	10	0	3	3
	FD 08	4	2	3	3	13	2	9	6	1	0	0	0	18	4	7	9
	Total Djallonké 08	6	3	4	4	41	8	25	20	10	0	1	1	57	11	22	25
TOTAL	18	8	13	14	109	17	69	51	26	1	4	4	153	26	52	69	
METIS	MS 06	0	0	0	0	1	0	2	1	5	1	1	1	6	1	2	2
	MD 06	0	0	0	0	4	0	5	2	10	1	1	3	14	1	3	5
	FS 06	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0	0	1	4	0	0	1
	FD 06	0	0	0	0	2	0	1	0	4	0	0	1	6	0	0	1
	Total métis 06	0	0	0	0	8	0	9	3	22	2	2	6	30	2	5	9
	MS 08	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	1	2	0	1	1
	MD 08	0	0	0	0	8	2	5	5	5	0	0	0	13	2	5	5
	FS 08	0	0	0	0	5	1	1	1	1	0	0	0	6	1	1	1
	FD 08	0	0	0	0	2	0	2	2	1	0	0	0	3	0	2	2
	Total métis 08	0	0	0	0	15	3	9	8	9	0	1	1	24	3	9	9
TOTAL	0	0	0	0	23	3	18	11	31	2	3	7	54	5	14	18	
Total chevreaux	Mâles	10	4	7	8	70	10	48	33	40	2	5	7	120	16	38	48
	Femelles	8	4	6	6	62	10	39	29	17	1	2	4	87	15	28	39
	Total	18	8	13	14	132	20	87	62	57	3	7	11	207	31	66	87

MS: mâles simples, MD: mâles doubles; FS: Femelles simples, FD: Femelles doubles; NV: nés vivants; M3J: morts à 3 jours; M30J: morts à 30 jours; M90J: morts à 90 jours, TNV: total nés vivants.



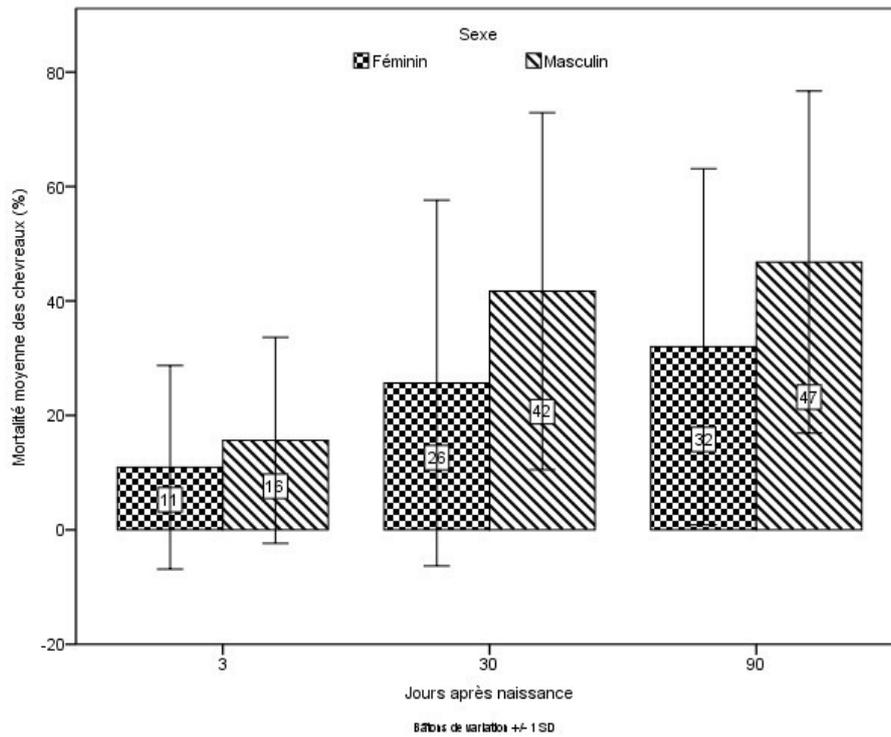
Les barres d'un même lot portant les mêmes lettres sont identiques au seuil de 5 % d'après le test de Student-Newman-Kheul. La probabilité (%) associée à F des analyses de la variance de l'effet du poids des chevreaux à la naissance sur leur mortalité à 3; 30 et 90 jours après naissance sont respectivement 0,00%; 0,1% et 0,2%.

**Figure 1:** Variation des taux de mortalités des chevreaux selon le poids et l'âge.



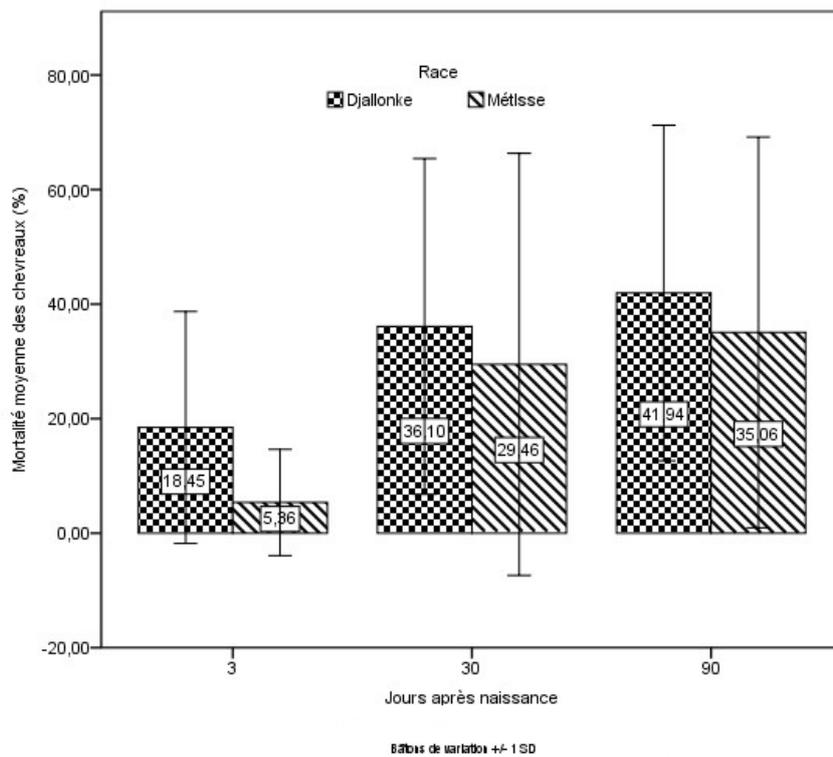
Les barres d'un même lot sont identiques au seuil de 5% d'après le test de Student-Newman-Kheul. La probabilité (%) associée à F des analyses de la variance de l'effet du mode de naissance des chevreaux sur leur mortalité à 3; 30 et 90 jours après naissance sont respectivement 51%; 55,8% et 77,5%.

**Figure 2:** Variation des taux de mortalités des chevreaux selon le type génétique.



Les barres d'un même lot sont identiques au seuil de 5% d'après le test de Student-Newman-Kheul. La probabilité (%) associée à F des analyses de la variance de l'effet du sexe des chevreaux à la naissance sur leur mortalité à 3; 30 et 90 jours après naissance sont respectivement 67,2%; 17,2% et 22,5%.

**Figure 4:** Variations des taux de mortalités des chevreaux selon le sexe.



**Figure 4:** Histogrammes des taux de mortalités des chevreaux selon le type génétique.

Les barres d'un même lot sont identiques au seuil de 5% d'après le test de Student-Newman-Kheul. La probabilité (%) associée à F des analyses de la variance de l'effet de la race sur la mortalité des chevreaux à 3; 30 et 90 jours après naissance sont respectivement 27,7; 51,9 et 64%.

### Mortalité selon le mode de naissance

A trois jours d'âge;  $12,8 \pm 3,7\%$  des chevreaux nés multiples sont morts contre  $9,9 \pm 4,2\%$  pour ceux nés simples.

Le traitement statistique de ces données ne montre pas de différence entre les taux de mortalité selon le mode de naissance des chevreaux (confère la figure 2). La mortalité légèrement élevée chez les jumeaux est due au fait qu'ils naissent avec un poids faible et sont très sensibles aux infections donc restent plus vulnérables par rapport aux chevreaux nés simples les premiers jours.

A l'âge d'un mois, il a été enregistré des taux de mortalités de  $29,2\% \pm 8,3$  chez les nés simples contre  $32,2\% \pm 7,3$  chez les nés multiples. Cette influence du mode de naissance sur la mortalité des chevreaux n'a pas été significative à l'âge d'un mois. Au sevrage, la mortalité des chevreaux nés multiples est de  $37,7\% \pm 7,1$  contre  $34,4\% \pm 8,1$  chez les nés simples. L'analyse ne montre aucune différence significative sur les deux taux de mortalité.

### Mortalité selon le sexe

Par rapport au sexe, l'analyse statistique ne fait ressortir aucune différence significative aussi bien à l'âge de trois jours, un mois et trois mois entre les taux de mortalité des chevreaux. La figure 3 montre les mortalités des chevreaux à ces différents âges; elle présente une légère supériorité des taux de mortalité des mâles par rapport à ceux des femelles aux trois âges.

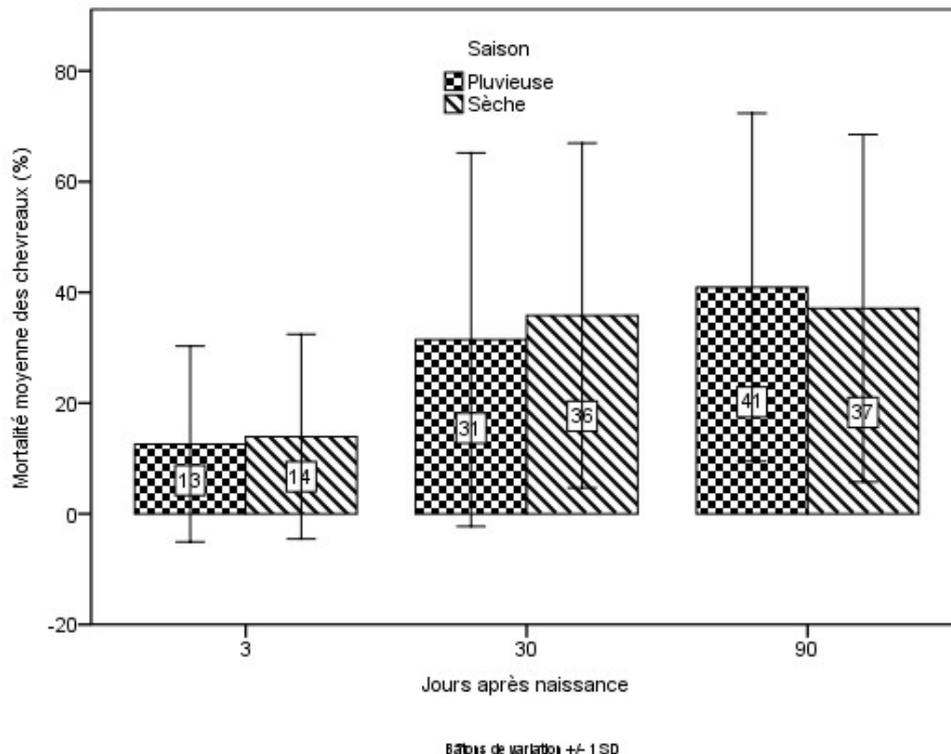
A trois jours, il est enregistré comme mortalité pour les femelles, un taux de  $15,4\% \pm 3,2$  contre  $19,1\% \pm 3,3$  pour les mâles.

A l'âge de trente jours (1 mois), ces taux passent à  $30,5\% \pm 6,9$  pour les femelles et à  $45,9\% \pm 7,2$  chez les mâles.

La mortalité à 90 jours atteint le taux de  $49,4\% \pm 6,9$  chez les mâles contre  $35,9\% \pm 6,7$  chez les femelles.

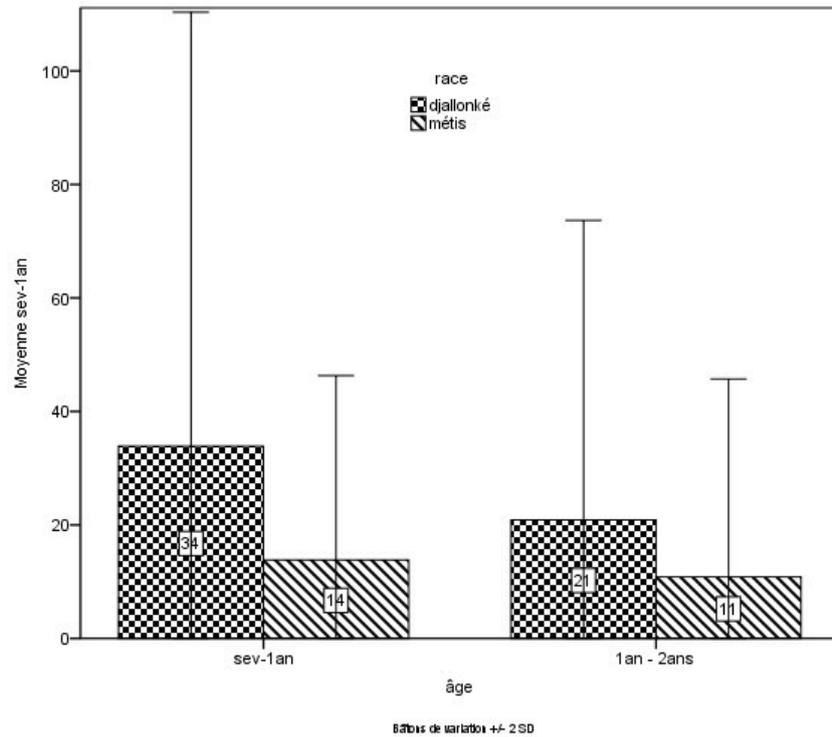
### Mortalité selon la race

L'analyse statistique montre qu'à tout âge (3, 30 et 90 jours après naissance), il n'y a pas eu de différence significative entre le taux de mortalité des chevreaux nés Djallonké purs et celui des chevreaux métis (Figure 4).



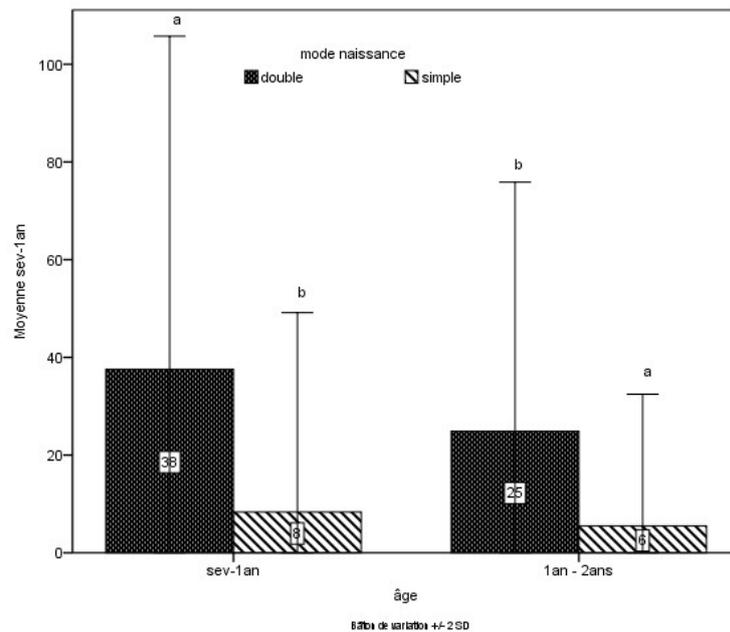
Les barres d'un même lot sont identiques au seuil de 5% d'après le test de Student-Newman-Kheul. La probabilité (%) associée à F des analyses de la variance de l'effet de la saison de naissance des chevreaux sur leur mortalité à 3; 30 et 90 jours après naissance sont respectivement 38,7%; 69% et 67,9%.

**Figure 5:** Histogrammes des taux de mortalités des chevreaux selon la saison de naissance.



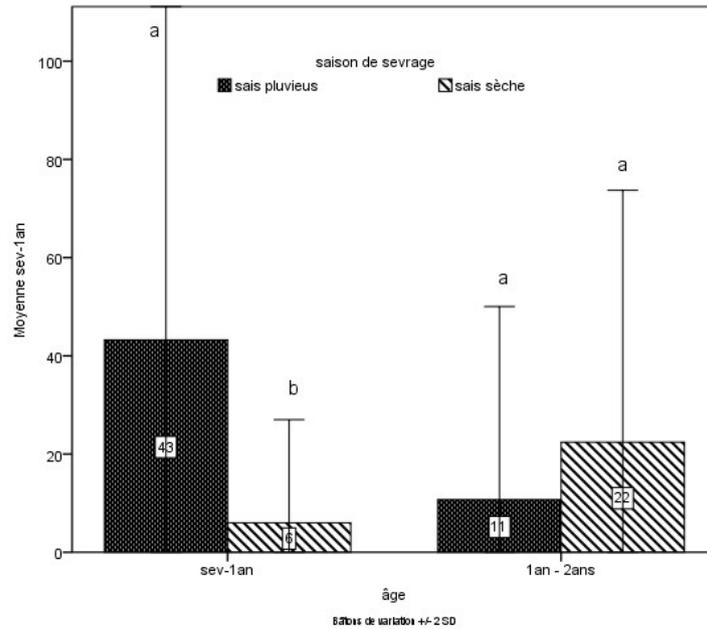
Les barres d'un même lot sont identiques au seuil de 5% d'après le test de Student-Newman-Kheul. La probabilité (%) associée à F des analyses de la variance de l'effet du type génétique des chevreaux sur leur mortalité du sevrage à 1 an et de 1 an à 2 ans sont respectivement 26,1% et 14,5%.

**Figure 6:** Histogrammes des taux de mortalités des chevreaux après sevrage selon le type génétique.



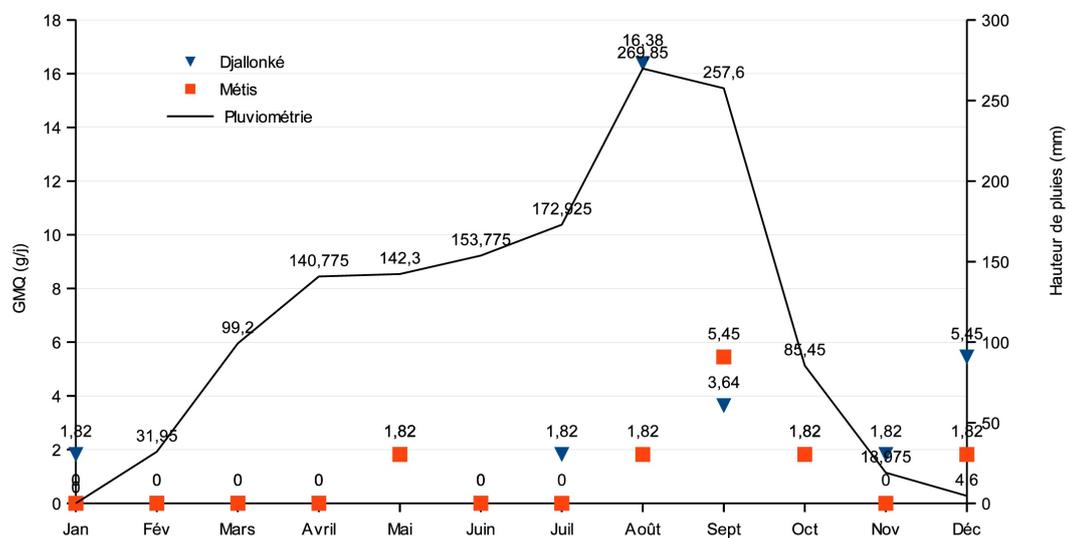
Les barres d'un même lot portant les mêmes lettres sont identiques au seuil de 5% d'après le test de Student-Newman-Kheul. La probabilité (%) associée à F des analyses de la variance de l'effet du mode de naissance des chevreaux sur leur mortalité entre le sevrage et 1 an et entre 1 an et 2 ans sont respectivement 60,44% et 35,84%.

**Figure 7:** Histogrammes des taux de mortalités des chevreaux après sevrage selon le mode de croissance.



**Figure 8:** Histogrammes des taux de mortalités des chevreaux après sevrage selon la saison.

Les barres d'un même lot portant les mêmes lettres sont identiques au seuil de 5% d'après le test de Student-Newman-Kheul. La probabilité (%) associée à F des analyses de la variance de l'effet de la saison de sevrage des chevreaux sur leur mortalité du sevrage à 1 an et de 1 an à 2 ans sont respectivement 93,18% et 11,02%.



**Figure 9:** Histogramme des taux de mortalité des chevreaux en sélection selon la race et le mois et courbe de la moyenne mensuelle de la pluviométrie de 2007 à 2010.

En effet à l'âge de trois jours, le taux de mortalité est de  $17,9\% \pm 3,7$  pour les chevreaux Djallonké contre  $4,8\% \pm 4,2$  pour les Métis. Il est à noter que 90 % des chevreaux Djallonké (137 sur 153) sont nés avec un poids inférieur à 1,5 kg alors que cette proportion n'est que de 56% chez les chevreaux Métis. De plus, 18 chevreaux Djallonké (11,8%) sont nés avec un poids inférieur à 1 kg alors tous les Métis sont nés avec un poids supérieur à 1 kg.

Par rapport à l'ensemble des mortalités au sevrage (87 mortalités), le quotient de mortalité est de 79,3% pour les chevreaux Djallonké (69 cas de mortalités) contre 20,7% pour les métis (18 cas de mortalités).

#### **Mortalité selon la saison d'agnelage**

De la naissance au sevrage, l'analyse statistique (Figure 5) montre qu'il n'y a aucune différence significative entre les taux de mortalité des chevreaux selon qu'ils soient nés en saison sèche ou en saison pluvieuse. Si de la naissance à l'âge de 30 jours la mortalité a été plus élevée pour les chevreaux nés en saison sèche (décembre), ceci est due principalement aux infestations massives des puces. Au sevrage le taux de mortalité est de  $45,7\% \pm 6,7$  pour les chevreaux nés en saison des pluies (juillet) contre  $39,6\% \pm 6,9$  pour les chevreaux nés en saison sèche.

#### **Mortalité post sevrage**

L'étude a concerné les mâles sevrés au cours des deux campagnes. Il s'agit de 55 chevreaux mâles sevrés dont 27 en début de saison sèche (novembre 2006) et 28 sevrés en début de saison des pluies (avril 2009).

#### **Mortalité post sevrage selon la race et l'âge des chevreaux**

La figure 6 montre les taux de mortalité des chevreaux après sevrage selon la race et l'âge des chevreaux. Le taux de mortalité enregistré chez les Djallonké est de  $25,6\% \pm 6,3$  entre le sevrage et l'âge d'un an. Ce taux est de  $9,8\% \pm 7,5$  chez les Métis, l'analyse statistique a montré qu'il n'y a pas eu de différence significative entre les taux de mortalité des chevreaux après sevrage selon la race.

Après l'âge d'un an, le taux de mortalité était de  $20,9\% \pm 7,4$  pour les chevreaux Djallonké contre  $7,2\% \pm 8,7$  pour les Métis, l'analyse statistique n'a fait ressortir aucune différence significative entre les taux de mortalité.

#### **Mortalité selon le mode de naissance**

Le mode de naissance a affecté la mortalité des chevreaux après sevrage (Figure 7). En effet après sevrage, le taux de mortalité enregistré a été de  $29,8\% \pm 6,3$  chez les chevreaux nés multiples contre  $7,5\% \pm 7,5$  chez les chevreaux nés simples. L'analyse statistique a montré que ces taux sont significativement différents au seuil de 5%. Cette différence tend à disparaître après l'âge d'un an car l'analyse n'a pas fait ressortir de différence significative entre les taux de mortalité selon le mode de naissance des chevreaux après cet âge.

#### **Mortalité selon la période de sevrage**

L'analyse statistique montre que le taux de mortalité des chevreaux sevrés en saison sèche (nés en saison pluvieuse  $3,2\% \pm 6,8$ ) est plus faible que pour celui des chevreaux sevrés en début de saison pluvieuse (nés en saison sèche)  $32,3\% \pm 6,8$  (Figure 8).

#### **Mortalité selon les mois de l'année**

La figure 9, montre que la mortalité post sevrage des chevreaux est plus élevée pendant les mois pluvieux, surtout août à octobre pour les deux races.

## Discussion

Pour le taux de mortalité des chevreaux avant sevrage selon le poids à la naissance, les résultats obtenus sont conformes aux résultats trouvés chez les chevreaux créoles en Guadeloupe où plus de 50% des chevreaux nés avec un poids inférieur à 1 kg sont morts avant sevrage (4). Cette forte mortalité s'explique par l'imaturité des chevreaux à la naissance. C'est aussi l'observation faite par Traoré au Mali (14). Le taux de mortalité des chevreaux nés avec un poids faible (poids inférieurs à 1 kg) trouvé dans cette étude est semblable à celui observé chez les chevreaux guinéens au Sénégal (9). Il a été conclu de cette étude au Sénégal que les produits nés avec un faible poids ou avec un entrain faible meurent avant 3 mois. L'effet du poids à la naissance sur la mortalité des chevreaux au sevrage en Ethiopie est aussi signalé par Petros et collaborateurs. Pour les chevreaux nés avec un poids compris entre 1 et 1,5 kg, le taux de mortalité au sevrage est supérieur au taux de 5% signalé toujours pour des chevreaux Djallonké (15) au Ghana et les chevreaux créoles (4) de poids similaires.

Dans cette expérience, le mode de naissance n'a pas eu d'effet significatif sur les taux de mortalité des chevreaux. Ces taux restent inférieurs à ceux signalés au Cameroun (8); 61,5% de mortalité chez les chevreaux nés multiples contre 45,8% de mortalité pour les naissances simples. Certains auteurs, au Mali (14), en Ethiopie (10), chez les chevreaux créoles en Guadeloupe (4) et en Syrie chez les chevreaux de race Shami (1) ont signalé l'effet du mode de naissance sur la mortalité des chevreaux avant sevrage. Ces auteurs ont trouvé que chez les chevreaux nés multiples, le taux de mortalité est plus élevé que chez ceux nés simples car les nés multiples sont plus vulnérables que les nés simples. Le taux de mortalité des chevreaux Djallonké de race pure est de 46,9% et celui des métis de 35,5%. Ces taux sont inférieurs au 55,1 % trouvé en milieu peul au Sénégal (2).

La majorité des cas de mortalités (14,9% des mortalités périnatales observées dans cette étude) s'expliquent par l'abandon des chevreaux par les mères après mise bas (non prise du premier repas) et l'attaque des rapaces (charognards).

Cette observation a été aussi signalée chez les chevreaux Angora d'Afrique du Sud où 39,1% des mortalités sont dues aux prédateurs et 18,6% à la faiblesse de poids et aux naissances avant terme (12). Les diarrhées blanches, l'ecthyma contagieux, la kérato-conjonctivite et les infestations par les puces, ont été constatés chez les chevreaux.

Ces facteurs expliquent les mortalités enregistrées entre l'âge de trois jours et le sevrage à trois mois (56 cas), soit un taux de mortalité de 27,1%. La gale et les troubles de la croissance ont été aussi signalés comme principales causes de mortalité avant sevrage

des chevreaux au Sénégal chez les chevreaux de race Peulh (2). L'insuffisance de lait, l'abandon des chevreaux et les maladies sont aussi signalés pour 19,6% des causes probables de mortalité des chevreaux en Afrique du Sud (13). En Ethiopie, la mortalité des mères à la parturition (26%), les pneumonies 20% et les diarrhées 17% sont citées comme principales causes de mortalité chez les chevreaux (10).

Les 31 cas de mortalité des chevreaux relevés à 3 jours représentent 46,9% des mortalités à l'âge d'un mois. Ce quotient de mortalité est plus élevé par rapport au 35,2% pour la 1ère semaine du mois signalé chez les chevreaux de race Abregelle en Ethiopie (10).

Les taux de mortalité aux trois âges, trois, trente et quatre - vingt dix jours comme l'indique la figure 4, ne sont pas significativement différents bien que le taux de survie des chevreaux au sevrage soit améliorée de plus de 10% chez les Métis par rapport aux chevreaux Djallonké. Le taux de mortalité observé chez les chevreaux Djallonké dans cette étude, est supérieur au taux de 28% signalé au Cameroun (13) chez les chevreaux de même race au sevrage. L'absence d'effet significatif du sexe sur la mortalité des chevreaux constaté dans le cas de cette étude a été aussi signalée au Ghana chez les chevreaux Djallonké (6), en Ethiopie chez les chevreaux de race locale Abregelle (10) et au Zimbabwe (7). Ceci est contraire au constat fait au Sénégal où l'effet du sexe sur la mortalité des chevreaux est signalé (2), les mâles restent selon les résultats plus vulnérables que les femelles pendant toute l'année.

La supériorité de poids des chevreaux Métis par rapport aux chevreaux Djallonké purs à la naissance a favorisé leur bonne survie au sevrage. Aussi leur croissance rapide et leurs poids élevés, peuvent expliquer qu'ils ont mieux résisté au stress du sevrage et à d'autres facteurs comme la saison pluvieuse et le parasitisme. En Ethiopie, il a été constaté l'amélioration du taux de survie des chevreaux après croisement entre la race locale Abergelle avec une race lourde race Boer (3). L'absence de l'effet de la saison de mise bas sur la mortalité des chevreaux a été signalée par Chemineau et Grude chez les chevreaux créoles (4) et chez les chevreaux Djallonké au Ghana par Hagan *et al.* (6). Au Ghana (15), en Afrique du Sud (12), au Zimbabwe (7) et en Syrie (1), l'influence de la saison d'agnelage a été signalée sur la mortalité des chevreaux a été signalé par les différents auteurs. Comme avant l'âge d'un an, aucune différence significative n'est ressortie de l'analyse statistique entre les taux de mortalité des deux types de races. Il ressort que le taux de survie des chevreaux Métis est supérieur à celui des Djallonké de plus de dix points quel que soit l'âge après sevrage.

Le stress du sevrage accentué par les pluies et le parasitisme expliquent cette mortalité élevée chez les sevrés en début de saison des pluies. Par contre après l'âge d'un an, le taux de mortalité des chevreaux nés en saison pluvieuse (sevrés en saison sèche  $19,9\% \pm 7,9$ ) bien qu'élevé et celui des chevreaux nés en saison sèche (sevrés en saison pluvieuse  $8,2 \pm 7,9$ ) ne sont pas significativement différents.

La légère supériorité du taux de mortalité des chevreaux nés en saison pluvieuse s'explique par le fait qu'ils atteignent l'âge d'un an en pleine saison des pluies, période à laquelle le temps de pâturage est réduit, l'herbe est de mauvaise qualité et les maladies comme les piétins, l'oestrose, les infections pulmonaires et les diarrhées sont fréquentes. Aussi cette période est caractérisée par des fortes infestations des tiques et une pullulation des mouches tsé-tsé causant des maladies (cowdriose et trypanosomiase animale) aux animaux.

Pour la mortalité selon le mois de l'année après sevrage, elle est nulle pendant les mois de février à avril (figure 8), période sèche peu arrosée pendant laquelle les infections parasitaires sont rares et que les jeunes repousses sont abondantes. Les pertes en saison des pluies correspondent à des mortalités d'animaux à la suite de diarrhées. Ce constat a été aussi fait au Sénégal (2).

### Conclusion

Pour une bonne croissance de la productivité de la chèvre Djallonké, cette étude ressort qu'il faut donc agir plus sur l'amélioration du poids à la naissance des chevreaux. C'est ce facteur seul qui a mieux expliqué la mortalité chez les chevreaux avant sevrage.

Il ressort aussi de cette étude que la période pluvieuse (surtout les mois les plus pluvieux) est défavorable à la survie des chevreaux après sevrage. L'effet du type génétique qui agit sur la survie des chevreaux avant l'âge de trois jours s'explique aussi par l'amélioration du poids à la naissance des chevreaux métis par rapport aux chevreaux de race pure Djallonké.

Cette étude a aussi révélé que du sevrage jusqu'à l'âge de deux ans, la mortalité est plus élevée pour les jeunes mâles Djallonké que pour les Métis. Le croisement des chèvres Djallonké avec un bouc de race plus lourde permet d'augmenter la chance de survie des chevreaux après sevrage donc la productivité numérique de la chèvre Djallonké. Cependant, il faut une vigilance et surtout une étude sur l'adaptabilité des produits issus de ce croisement par rapport aux produits locaux. Et il devra être bien défini si les boucs sont orientés vers l'embouche, ce que deviendront les chevrettes. Il faudra une bonne politique afin de permettre la conservation de la race pure Djallonké au Togo pour ses nombreux atouts et qualités.

### Remerciements

Nos remerciements à l'Institut Togolais de Recherche Agronomique ITRA qui a bien voulu accepter de financer ce travail, nous remercions également l'ensemble du personnel du Programme National Ovins Caprins pour tous les efforts et tout le soutien apporté lors de la réalisation de ce travail. Nos remerciements vont au Docteur Ali Domtani, Directeur de la pêche et de l'aquaculture, à Ayawa Tcha Golé pour leur implication dans la réalisation de ce travail. Nous témoignons toute notre reconnaissance à Koffi Zovodou au Programme National Coton pour son appui dans le traitement des données.

## Références bibliographiques

1. Al-Najjar K., Salhab S, Al Merestani R., Kaem R., Al Azzawi W., Dawa M., Omed H. & Saatci M., 2009, Environmental factors affecting kid mortality. In: Shami Goats. *Kafkas Univ. Vet Fak Derg.*, **16**, 3, 431-435, 2010  
Doi:10.9775/Kvfd.2009.889
2. Ba Diao M., Gueye A. & Seck M., 1994, Facteurs de variation de la production laitière des caprins en Milieu Peul In: S.H.B. Lebbie & E. Kagwini: *Proceedings of the third biennial conference of the african small ruminant research small ruminant research and development in Africa*, Uicc, Kampala, Uganda, 1996.
3. Belay S., Gebru G., Godifey G., Brhane M., Zenebe M., Hagos H. & Teame T., 2014, Reproductive performance of Abergelle goats and growth rate of their crosses with boer goats. *Livestock Res. Rural Dev.*, **26**, 5, Retrieved January 18, 2016, From [Http://www.lrrd.org/lrrd26/1/Bela26005.htm](http://www.lrrd.org/lrrd26/1/Bela26005.htm)
4. Chemineau P. & Grude A., 1985, Mortalité, Poids À La Naissance et croissance des chevreaux créoles nés en élevage intensif, *Ann. Zootechniques*, **34**, 2, 193 – 204.
5. Gbangboche A.B., Abiola F.A., Laporte J.P., Salifou S. & Leroy P.L., 2002, Amélioration des ovins dans l'Ouémé et le plateau en République du Bénin. Enjeux de croisement des ovins Djallonké avec les moutons du Sahel, *Tropicultura*, **20**, 2, 70 – 75.
6. Hagan B.A., Nyameasem J.K., Asafu-Adjaye A. & Duncan J.L., 2014, Effects of non-genetic factors on the birth weight, litter size and pre-weaning survivability of West African Dwarf Goats in the Accra plains, *Livestock Res. Rural Dev.*, **26**, 1.
7. Kombhe C.T., 1985, *Environmental Factors Affecting The Growth And Viability Of Crossbred Sheep And Goats On Range Grazing In Zimbabwe*, In: Wilson, R.T. & Bourzat, D. *Small ruminants in Africa agriculture. IICA: Addis Ababa, Ethiopia*, Pp 46 - 52
8. Ndamukong K.J.N., 1985, Effects of management system on mortality of small ruminants in Bamenda, Cameroon. In: Wilson, R.T. & Bourzat, D., *Small Ruminants In Africa Agriculture. IICA: Addis Ababa, Ethiopia*. 1985. Pp 108 – 117.
9. Ndiaye M.N., Akakpo J.A. & Pangui L.J., 1994, *Pertes en reproduction, Chlamydie, Brucellose et Toxoplasmose en élevage extensif traditionnel de chèvres guinéennes au Sénégal*. In: S.H.B. Lebbie & E. Kagwini: *Proceedings of the third biennial conference of the african small ruminant research small ruminant research and development in Africa, IICA*, Kampala, Uganda, 1996.
10. Petros A., Kassaye A. & Berhanu S., 2014, Pre-weaning kid mortality in Adamitulu Jedokombolchad District, Mid rift valley, Ethiopia. In: *J. Vet. Med. Anim. Health*, **6**, 1, 1-6.
11. Shumuye B., Gebreslassie G., Guesh G., Minister B., Mulalay Z., Hailay H. & Tsegay T., 2014, Reproductive performance of Abergelle goats and growth of their crosses with boer goats, *Livestock Res. Rural Dev.*, **26**, 1.
12. Snyman M.A., 2010, Factors affecting pre-weaning kid mortality in South african angora goats, *South Afr. J. Anim. Sci.*, **40**, 1, 54-64
13. Tchouamo I.R., Tchoumboue J. & Lise T., 2005, Caractéristiques socio-économiques et techniques de l'élevage de petits ruminants dans la province de l'ouest du Cameroun, *Tropicultura*, **23**, 4, 201-211.
14. Traore A. 1985, *Causes de mortalité avant sevrage chez les ovins et caprins du système agropastoral du Mali Central*. In: Wilso R.T. & Bourzat D., *Small Ruminants In Africa Agriculture. IICA: Addis Ababa, Ethiopia*, 118-126.
15. Turkson P., Antiri Y. & Baffuor - Awuah O., 2004, Risk factors for kid mortality in west african dwarf goats under an intensive management system in Ghana: *Trop. Anim. Health Prod.*, **36**, 353. Doi:10.1023/B:Trop.0000026667.82724.

A.Y. Djagba, Togolaise, PhD, Institut Togolais de Recherche agronomique, Anié, Togo.

B. Bonfoh, Togolais, PhD, Directeur Général, Institut Togolais de Recherche Agronomique, Lomé, Togo

A.K. Aklikokou, Togolais, PhD, Professeur, Université de Lomé, Faculté Des Sciences, Département de Physiologie / toxicologie, Lomé, Togo.

H. Bassowa, Togolais, Ingénieur Agronome, Régisseur, Programme National Ovins Caprins, Lomé, Togo.

# Annonces Announcements

# Aankondigingen Anuncios

Academie Royale

des

Sciences d'Outre-Mer

Royal Academy for  
Overseas Sciences 

ROYAL ACADEMY

FOR

OVERSEAS SCIENCES

## Questions du concours 2019

**Première question.** — On demande une étude sur la vitalité des traditions autochtones dans le monde global contemporain.

**2<sup>e</sup> question.** — On demande une recherche sur l'impact de l'urbanisation, du développement agricole et/ou industriel sur les écosystèmes naturels dans des régions intertropicales, en particulier concernant leurs services écosystémiques et leur biodiversité. La recherche peut se limiter à une des causes (urbanisation, développement agricole ou industriel) et/ou une des conséquences (services écosystémiques ou biodiversité).

**3<sup>e</sup> question.** — On demande une étude sur l'implication technique, scientifique ou économique des pays émergents à la collecte et au recyclage des produits en fin de vie contenant des métaux.

Les ouvrages présentés au concours doivent parvenir au secrétariat de l'Académie avant le 1<sup>er</sup> mars 2019.

Des renseignements complémentaires peuvent être obtenus au secrétariat de l'Académie, avenue Louise 231, B-1050 Bruxelles (Belgique).

Tel - en Belgique 02.538.02.11  
Tel- de l'étranger +32.2.538.02.11  
Fax en Belgique 02.539.23.53  
de l'étranger + 32.2.539.23.53  
E-mail: [contact@kaowarsom.be](mailto:contact@kaowarsom.be)  
Web: <http://www.kaowarsom.be>

## Questions for the 2019 Competition

**First question** — A study is requested on the vitality of autochthonous traditions in the contemporary global world.

**2<sup>nd</sup> question.** — A research is requested on the impact of urbanization, agricultural and/or industrial development on natural ecosystems in tropical countries, in particular with regard to their ecosystem services and their biodiversity. The research can be limited to one of the causes (urbanization, agricultural or industrial development) and/or to one of the consequences (ecosystem services or biodiversity).

**3<sup>rd</sup> question.** — A study is requested on the technical, scientific or economic implication of emerging countries to the collecting and recycling of residues containing metals.

The studies must reach the secretariat of the Academy before 1<sup>st</sup> March 2019.

Additional information may be obtained from the secretariat of the Academy, avenue Louise 231, B-1050 Brussels (Belgium).

Tel - in Belgium 02.538.02.11  
Tel - from abroad +32.2.538.02.11  
Fax in Belgium 02.539.23.53  
from abroad + 32.2.539.23.53  
E-mail: [contact@kaowarsom.be](mailto:contact@kaowarsom.be)  
Web: <http://www.kaowarsom.be>

### Questions du concours 2019

**Première question.** — On demande une étude sur la vitalité des traditions autochtones dans le monde global contemporain.

**2<sup>e</sup> question.** — On demande une recherche sur l'impact de l'urbanisation, du développement agricole et/ou industriel sur les écosystèmes naturels dans des régions intertropicales, en particulier concernant leurs services écosystémiques et leur biodiversité. La recherche peut se limiter à une des causes (urbanisation, développement agricole ou industriel) et/ou une des conséquences (services écosystémiques ou biodiversité).

**3<sup>e</sup> question.** — On demande une étude sur l'implication technique, scientifique ou économique des pays émergents à la collecte et au recyclage des produits en fin de vie contenant des métaux.

Les ouvrages présentés au concours doivent parvenir au secrétariat de l'Académie avant le 1er mars 2019.

Des renseignements complémentaires peuvent être obtenus au secrétariat de l'Académie, avenue Louise 231, B-1050 Bruxelles (Belgique).

Tel - en Belgique	02.538.02.11
Tel- de l'étranger	+32.2.538.02.11
Fax en Belgique	02.539.23.53
de l'étranger	+ 32.2.539.23.53
E-mail:	contact@kaowarsom.be
Web:	http://www.kaowarsom.be

### Vragen voor de wedstrijd 2019

**Eerste vraag.** — Men vraagt een studie over het voortleven van autochtone tradities in de hedendaagse geglobaliseerde wereld.

**2<sup>de</sup> vraag.** — Men vraagt een onderzoek over de impact van verstedelijking, landbouwontwikkeling en/of industriële ontwikkeling op natuurlijke ecosystemen in de tropen, meer bepaald met betrekking tot hun ecosysteemdiensten en hun biodiversiteit. Het onderzoek mag zich beperken tot één van de oorzaken (verstedelijking, landbouwontwikkeling of industriële ontwikkeling) en/of tot één van de gevolgen (ecosysteemdiensten of biodiversiteit).

**3<sup>de</sup> vraag.** — Men vraagt een studie over de technische, wetenschappelijke of economische implicatie van groeilanden voor het collecteren en recyclen van afgedankte metaalhoudende producten.

De werken die voor de wedstrijd ingediend worden, moeten op het secretariaat van de Academie toekomen vóór 1 maart 2019.

Bijkomende inlichtingen kunnen verkregen worden op het secretariaat van de Academie, Louizalaan 231, B-1050 Brussel (België).

Tel- in België	02.538.02.11
Tel - vanuit het buitenland	+ 32.2.538.02.11
Fax in België	02.539.23.53
vanuit het buitenland	+32.2.539.23.53
E-mail:	contact@kaowarsom.be
Web:	http://www.kaowarsom.be

### Questions for the 2019 Competition

**First question** — A study is requested on the vitality of autochthonous traditions in the contemporary global world.

**2<sup>nd</sup> question.** — A research is requested on the impact of urbanization, agricultural and/or industrial development on natural ecosystems in tropical countries, in particular with regard to their ecosystem services and their biodiversity.

The research can be limited to one of the causes (urbanization, agricultural or industrial development) and/or to one of the consequences (ecosystem services or biodiversity).

**3<sup>rd</sup> question.** — A study is requested on the technical, scientific or economic implication of emerging countries to the collecting and recycling of residues containing metals.

The studies must reach the secretariat of the Academy before 1st March 2019.

Additional information may be obtained from the secretariat of the Academy, avenue Louise 231, B-1050 Brussels (Belgium).

Tel - in Belgium	02.538.02.11
Tel - from abroad	+32.2.538.02.11
Fax in Belgium	02.539.23.53
from abroad	+ 32.2.539.23.53
E-mail:	contact@kaowarsom.be
Web:	http://www.kaowarsom.be

### Vragen voor de wedstrijd 2019

**Eerste vraag** . — Men vraagt een studie over het voortleven van autochtone tradities in de hedendaagse geglobaliseerde wereld.

**2<sup>de</sup> vraag.** — Men vraagt een onderzoek over de impact van verstedelijking, landbouwontwikkeling en/of industriële ontwikkeling op natuurlijke ecosystemen in de tropen, meer bepaald met betrekking tot hun ecosysteemdiensten en hun biodiversiteit. Het onderzoek mag zich beperken tot één van de oorzaken (verstedelijking, landbouwontwikkeling of industriële ontwikkeling) en/of tot één van de gevolgen (ecosysteemdiensten of biodiversiteit).

**3<sup>de</sup> vraag.** — Men vraagt een studie over de technische, wetenschappelijke of economische implicatie van groeielanden voor het collecteren en recycleren van afgedankte metaalhoudende producten.

De werken die voor de wedstrijd ingediend worden, moeten op het secretariaat van de Academie toekomen vóór 1 maart 2019.

Bijkomende inlichtingen kunnen verkregen worden op het secretariaat van de Academie, Louizalaan 231, B-1050 Brussel (België).

Tel- in België	02.538.02.11
Tel - vanuit het buitenland	+ 32.2.538.02.11
Fax in België	02.539.23.53
vanuit het buitenland	+32.2.539.23.53
E-mail:	contact@kaowarsom.be
Web:	http://www.kaowarsom.be

## 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.

## TROPICULTURA FRIENDS

### TROPICULTURA FRIENDS

**AGRI-OVERSEAS** would like to thank especially the following authors. They paid 500 euros by article in 2017 to support **TROPICULTURA**'s publications. They become "**TROPICULTURA** Friends".

### LES AMIS DE TROPICULTURA

**AGRI-OVERSEAS** tient à remercier spécialement les auteurs suivants. Ils ont payé 500 euros par article en 2017 pour soutenir les publications de **TROPICULTURA**. Ils deviennent ainsi des «Amis de **TROPICULTURA**».

### VRIENDEN VAN TROPICULTURA

**AGRI-OVERSEAS** dankt vooral de volgende auteurs. Ze betaalden in 2017 per artikel 500 euro te ondersteuning van de **TROPICULTURA**-publicaties. Ze worden "**Vrienden van TROPICULTURA**".

### AMIGOS DE TROPICULTURA

**AGRI-OVERSEAS** desea agradecer especialmente a los siguientes autores. Pagaron 500 euros por artículo en 2017 para apoyar las publicaciones de **TROPICULTURA**. Se convierten en "**Amigos de TROPICULTURA**".

Authors	Article	Issue	Pages
Sylvestre Cabala Kaleba Yannick Useni Sikuzani Raoul Sambieni Kouagou Jan Bogaert François Munyemba Kankumbi	Dynamique des écosystèmes forestiers de l'Arc Cuprifère Katangais en République Démocratique du Congo. I. Causes, transformations spatiales et ampleur	35_3	192-202
Yannick Useni Sikuzani François Malaisse Sylvestre Cabala Kaleba François Munyemba Kankumbi Jan Bogaert	Dynamique des écosystèmes forestiers de l'Arc Cuprifère Katangais en République Démocratique du Congo. I. Causes, transformations spatiales et ampleur.	35_3	215-2221
Yannick Useni Sikuzani Sylvestre Cabala Kaleba César Nkuku Khonde, Amisi Mw ana Yamba François Malaisse Jan Bogaert François Munyemba Kankumbi	Vingt-cinq ans de monitoring de la dynamique spatiale des espaces verts en réponse à l'urbanisation dans les communes de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo)	35_4	300-311
Lovanirina Olivia Rakotondraso François Malaisse Jan Bogaert	Modélisation de la dynamique du paysage forestier de la Réserve Spéciale d'Ambatovaky – Nord-Est de Madagascar	35_4	312-324

## **Presentation**

Tropicultura es una revista pluridisciplinaria que publica artículos originales, informes de investigación y síntesis, resúmenes de libros y tesis, anuncios, así como sinopsis de películas y soportes audiovisuales relativos a todos los ámbitos relacionados con el desarrollo rural y la gestión sostenible del medio ambiente en ultramar.

## **Patrocinio científico**

La ASFL AGRI-OVERSEAS es quien edita Tropicultura y cuenta con el patrocinio científico de la Academia Real de Ciencias de Ultramar de Bélgica (ARSOM: [www.kaowarsom.be](http://www.kaowarsom.be)).

Tropicultura ocupa el papel que desempeñó el Boletín agrícola del Congo belga y Ruanda-Urundi hasta 1963. El primer volumen de Tropicultura fue publicado en 1983 en soporte papel (ISSN 0771-3312). A partir de 2013, una versión electrónica tomó el relevo (eISSN 2295-8010).

## **Apoyo financiero**

Tropicultura se edita con el apoyo financiero de la región de Bruselas-Capital ([be.brussels.be](http://be.brussels.be)) y de la Escuela Regional de Postgrado para la Ordenación y Gestión Integradas de los Bosques y Territorios Tropicales (ERAIFT: [www.eraift-rdc.cd](http://www.eraift-rdc.cd)).

## **Tropicultura y el CAMES**

Las publicaciones recogidas en Tropicultura son reconocidas por el Consejo Africano y Malgache de Enseñanza Superior para la promoción y los ascensos de los docentes - investigadores (CAMES: <http://www.lecames.org/>).

## **Miembros de la ASFL Agri-Overseas**

Agri-Overseas asbl está compuesta por miembros individuales y representantes de las siguientes instituciones belgas : las cuatro facultades de ciencias agronómicas de Bélgica (Gembloux - GxABT/ULg, Gante - UGent, Lovaina - KULeuven y Lovaina-La-Nueva - UCL), las dos facultades de medicina veterinaria (Gante - UGent y Lieja - ULg), las unidades de salud animal del Departamento de Ciencias Biomédicas del Instituto de Medicina Tropical de Amberes - IMTA, la Sección Interfacultativa de Agronomía de la Universidad libre de Bruselas - ULB, la facultad de ciencias de la Universidad de Namur (Namur - UNamur), el Departamento de Ciencias y Gestión del Medio Ambiente de la Universidad de Lieja (Arlon - DSGE ULg), y la Academia Real de Ciencias de Ultramar (KAOW - ARSOM).

## **Campos científicos**

Tropicultura publica artículos relacionados con el desarrollo rural y la gestión sostenible del medio ambiente en los países cálidos : producciones vegetales y animales, ciencias veterinarias, ciencias forestales, ciencias del suelo y de la tierra, ingeniería rural, ciencias del medio ambiente, pescas y piscicultura, bioindustrias, agroalimentaria, sociología y economía

## **Periodicidad**

Tropicultura es una publicación trimestral que se edita en marzo, junio, septiembre y diciembre.

## **Publicación en Open Access**

Desde su creación en 1983, todos los artículos de Tropicultura son publicados en acceso abierto. El texto íntegro y los resúmenes son gratuitos.

Los artículos son divulgados bajo la licencia Creative Commons (CC BY-NC 4.0 - <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/be/deed.fr>).

## **Indexación en las principales bases de datos**

Tropicultura está indexada en las bases de datos SCOPUS, AGRICOLA, AGRIS, CABI, SESAME y DOAJ.

## **Factor de impacto**

La obtención de un factor de impacto está en trámites.

## **Difusión de Tropicultura**

Tropicultura se publicó en versión impresa de 1983 a 2012. La versión papel tenía una tirada de 2.650 ejemplares y se divulgaba en 110 países distintos).

Todos los artículos, desde el primer fascículo, son accesibles a texto completo en el sitio web (<http://www.tropicultura.org/content/> ) y en el DOAJ (<https://doaj.org/toc/0771-3312>).

En 2014, Google analytics contabilizó 8.648 visitas procedentes de 141 países y regiones. En cuanto a la cifra de descargas ese mismo año, fue de 2.173 descargas procedentes de 101 países.

Tropicultura es asimismo accesible a través de los sitios EBSCO y Bielefeld ([http://www.base-search.net/Search/Results?lookfor=dccoll%3Aftdoaj\\*+tropicultura.org&refid=dclink](http://www.base-search.net/Search/Results?lookfor=dccoll%3Aftdoaj*+tropicultura.org&refid=dclink)) y de google scholar (<https://scholar.google.be/scholar?q=Tropicultura>).

## **Informaciones complementarias**

### **Comité de redacción**

Presidente : Prof. Dr. J. Bogaert (GxABT/ULg)

Redactor jefe : Prof. Dr. Ir. G. Mergeai (GxABT/ULg)

Miembros : Prof. Dr. Ir. P. Bertin (UCL), Prof. Dr. Ir. E. Tollens (KULeuven), Prof. Dr. Ir. Ch. De Cannière (ULB), Prof. Dr. B. Losson (ULg), Prof. Dr. J.-C. Micha (FUNDP), Prof. Dr. Ir. B. Tychon (DSGE ULg), 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) y Prof. Dr. J. Vercruyse (UGent).

Ayudantes del redactor jefe : Dr. Ir. Germain Harelimana, Sra. Caroline Louvet

### **Consejo de administración de Agri-Overseas**

El consejo de administración está compuesto por: Prof. Dr. J. Bogaert (presidente), Prof. Dr. Ir. G. Mergeai (consejero delegado), Prof. Dr. B. Losson (tesorero), Dr. E. Thys (secretario), Prof. Dr. J. Vercruyse (miembro), Prof. Dr. S. Geerts (miembro); Invitados permanentes: el Secretario vitalicio de la ARSOM y el director de la ERAIFT.

### **Editor**

Agri-Overseas

Avenue Louise, 231

B-1050 Bruxelles (Bélgica)

teléfono 32(0)2-540 88 60, 32(0)2-540 88 61

e-mail ghare.tropicultura@belgacom.net, clouvet.tropicultura@belgacom.net

<http://www.tropicultura.org>

### **Guía de autores**

Idiomas de publicación

Tropicultura publica artículos redactados en inglés, español, francés y neerlandés. Los resúmenes son publicados en inglés y francés (español o neerlandés si los manuscritos se presentan en estos idiomas).

### **Contenido de los manuscritos**

Se favorecerán los artículos que presenten temas originales, con un alcance lo más amplio posible, es decir, cuyo contenido concierna sobretodo aspectos metodológicos transferibles a una amplia gama de medio ambientes y regiones del mundo.

Se hará especial hincapié igualmente en la fiabilidad de las informaciones publicadas; es decir, cuando se trate de resultados experimentales, sobre la cantidad de repeticiones de los ensayos, en el tiempo y el espacio, que hayan dado lugar a los datos obtenidos.

Los manuscritos habrán de ser inéditos y no haber sido sometidos para su publicación simultánea a ninguna otra revista científica.

### **Derechos de reproducción**

Al someter el artículo, los diferentes autores asociados conceden a Tropicultura autorización, no exclusiva, de difusión en acceso libre. El autor conserva sus derechos de autor.

### **Certificado de publicación**

Con el fin de garantizar la originalidad del manuscrito y la aceptación de su publicación por parte de los organismos de tutela de los autores, el autor principal deberá firmar una declaración por su honor.

### **Contribución a los gastos de publicación**

El importe de la contribución de los autores a los gastos de publicación del artículo asciende a 200 euros. En el momento de su presentación, el autor correspondiente deberá aceptar dichos gastos. La contribución a los gastos es pagadera en cuanto quede aprobada la publicación del manuscrito.

### **Detector de plagio**

Todos los manuscritos serán sometidos a una verificación de plagio antes de ser transmitidos a los lectores.

### **Comité de lectura**

El comité de lectura de Tropicultura está compuesto por lectores voluntarios pertenecientes a la comunidad científica internacional, especializados en los campos relativos al desarrollo rural y la gestión sostenible del medio ambiente en los países de ultramar.

Los autores deberán proponer tres lectores de renombre internacional, cuando presenten sus obras.

Los artículos serán sometidos a uno o varios lectores seleccionados por el comité de redacción.

Estos lectores son anónimos para los autores y viceversa.

El comité de redacción se reserva el derecho de rechazar cualquier artículo no conforme con las prescripciones de la revista.

La tasa de aceptación de los artículos sometidos a Tropicultura entre 2010 y 2015 fue del 32%.

### **Ayudas a la redacción**

La Secretaría de redacción puede dar a los autores consejos para la mejora de sus manuscritos. Asimismo, puede poner en contacto a los lectores que lo deseen con los autores del manuscrito que están evaluando.

# TROPICULTURA

2017 Vol. 35 N°4

Four issues a year (October-November-December)

## EDITORIAL

- Wetland Management Plan, a hope for sustainable artisanal fisheries in protected areas (PA)? (*Text in English and French*)  
**J.C. Micha** 235

## ORIGINAL ARTICLES

- Participatory Varietal Evaluation of Rice Varieties in the salt areas of Senegal, Mali and Gambia (*Text in French*)  
**O. Nd Faye, T. Gueye, A. Dieng, M. Cissé & M. Ndiaye** 237

- Growth and Exploitation Parameters of *Chrysichthys nigrodigitatus* Lecepede, 1803) (Siluriformes, Bagridae) in a Tropical Lagoon: Ebrié lagoon (Potou Lagoon Sector, Ivory Coast) (*Text in French*)  
**A.T. Bédia, R. N'doua Etilé, G.G. Bi, P. Essetchi Kouamelan & V. N'douba** 253

- A Two-stage Empirical Analysis of Market Participation in Yam-growing Areas of West Africa  
**D.B. Mignouna, T. Abdoulaye, A.A. Akinola, A. Alene, A. Oparinde, V.M. Manyong, N. Maroya & R. Asiedu** 262

- Preliminary Inventory of the Macromycetes from the National Park Fazao-Malfakassa (Togo, West Africa) (*Text in French*)  
**H. Kamou, K.A. Gbogbo, S.N. Yorou, P. Nadjombe, A.G. Abalo-loko, A. Verbeken, K. Batawila, K. Akpagana & K.A. Guelly** 275

- Spatio-seasonal Distribution of the Cyanobacteria along the River Stream, Lobo Haut Sassandra (Daloa, Ivory Coast Ivory Coast) (*Text in French*)  
**N. Grog, T. N. Akedrin, K. Koffi, K.Thiegba, D.S. Akaffou & A. Ouattara** 288

- Twenty-five Years of Monitoring of Green Space Pattern Dynamics in Response to Urbanization in the Municipalities of Lubumbashi City (Uppet Katanga, DR Congo) (*Text in French*)  
**Y. Useni Sikuzani, S. Cabala Kaleba, C. Nkuku Khonde, Y. Amisi Mwana, F. Malaisse, J. Bogaert & F. Munyemba Kankumbi** 300

- Modelling of the Forest Landscape Dynamics of Réserve Spéciale d'Ambatovaky (Northeast of Madagascar) (*Text in French*)  
**L.O. Rakotondrasoa, F. Malaisse & J. Bogaert** 312

- Mortality Determinants of Djallonke Kids and Crossbred between Djallonke and Sahelian Buck at Kolokope Station (*Text in French*)  
**A.Y. Djagba, B. Bonfoh, K. Aklikokou, H. Bassowa & K.Z. Koffi** 325

## ANNOUNCEMENTS

- RAOS: Yearly Competitions 338  
RAOS: International Conference: Climates and Cultures: Perspectives for the Future 341

## TROPICULTURA FRIENDS

- Tropicultura Friends 342

TROPICULTURA IS A PEER-REVIEWED JOURNAL INDEXED BY SCOPUS, AGRIS, CABI, SESAME AND DOAJ