

TROPICULTURA

2017 Vol. 35 N°3

Trimestriel (juillet-août-septembre)

Driemaandelijks (juli-augustus-september)

Trimestral (julio-agosto-septiembre)

Quarterly (July-August-September)



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;
d'École régionale post-universitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires
tropicaux (ERAIFT), 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, van
École régionale post-universitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires
tropicaux (ERAIFT), www.eraift-rdc.cd; en van het Brusselse Gewest

EDITORIAL/EDITORIAL/EDITORIAL

What Seeds for the Future?

Quelles semences pour le futur ?

Welke zaden voor de toekomst?

¿Qué semillas para el futuro?

G. Mergeai**147**

ARTICLES ORIGINAUX/OORSPRONKELIJKE ARTIKELS/ARTICULOS ORIGINALES

Effects of Defatting Combined or not to Heating of *Jatropha curcas* Kernel Meal on Feed Intake and Growth

Performance in Broiler Chickens and Chicks in Senegal

Effets d'une délipidation combinée ou non au chauffage d'un tourteau d'amande de *Jatropha curcas* sur l'ingestion alimentaire et les performances de croissance de poulets et poussins de chair au SénégalEfectos de la deslipidación combinada o no con el calentamiento de una torta de almendras de *Jatropha curcas* sobre la ingesta alimentaria y el rendimiento de crecimiento de pollos y pollitos de engorde en SenegalEffecten van ontvetting van *Jatropha curcas* amandelschroot al of niet gecombineerd met verwarming op de voederopname en de groei van vleeskippen en - kuikentjes in Senegal.**T.D.T. Nesseim, A. Dieng, G. Mergeai & J.-L. Hornick****149**

La dynamique spatiale de la forêt située dans la réserve naturelle forestière de Bururi, Burundi

La dinámica espacial del bosque ubicado en la Reserva Forestal de Bururi, Burundi

De ruimtelijke dynamiek van het woud in het Bururi natuurgebied, Burundi

F. Havyarimana, T. Masharabu, J.K. Kouao, I. Bamba, D. Nduwarugira, M.-J. Bigendako, P. Hakizimana, A. Mama, F. Bangirina, G. Banyankimbona, J. Bogaert & C. De canniere**158**

Incidence et sévérité de la mosaïque africaine du manioc dans les champs et les jardins de case à Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Incidencia y gravedad del mosaico africano de la yuca en campos y jardines de casa en Kinshasa (República Democrática del Congo)

De incidentie en ernst van de Afrikaanse mozaïek van maniok in gefragmenteerde velden en moestuinen van Kinshasa in de Democratische Republiek Congo

N. Kadima Kabemba, J. Munganga Gikug, F. Bulubulu Otono & S.N.D. Mutambel' Hity**173**

Contract Farming Preferences of Smallholder Rice Producers in Benin: A Stated Choice Model Using Mixed Logit Erodibility

Préférences des petits producteurs de riz pour les contrats agricoles au Bénin: un modèle de préférences déclarées basé sur le modèle «mixed logit»

Preferencias de los pequeños productores de arroz para los contratos agrícolas en Benin: un modelo de preferencias basado en el modelo «mixed logit»

Voorkeuren van kleine rijst producenten voor landbouwbeleidscontracten in Benin: een model van verklaarde voorkeuren gebaseerd op het «mixed logit» model

A. Arouna, P.Y. Adegbola, R.C. Zossou, R. Babatunde & A. Diagne**180**

Dynamique des écosystèmes forestiers de l'Arc Cuprifère Katangais en République Démocratique du Congo.

I. Causes, transformations spatiales et ampleur

Dinámica de los ecosistemas forestales del arco de cobre del Katanga en la República Democrática del Congo.

I. Causas, transformaciones espaciales y magnitud

Dynamiek van de bosecosystemen van de Katangese Koperriem in de Democratische Republiek Congo.

I. oorzaken, ruimtelijke transformaties en omvang

S. Cabala Kaleba, Y. Useni Sikuzani, K.R. Sambieni, J. Bogaert & F. Munyemba Kankumbi**192**

Profitability and Technical Efficiency of Soybean Production in Northern Nigeria

La rentabilité et l'efficacité technique de la production du soja dans le nord du Nigeria

La rentabilidad y la eficiencia técnica de la producción de soja en el norte del Nigeria

Rentabiliteit en technische efficiëntie van sojabonen productie in het noorden van Nigeria

O.O. Ugababe, T. Abdoulaye, A.Y. Kamara, J. Mbavai & O. Oyinbo**203**

NOTES TECHNIQUES/ TECHNISCHE NOTA'S / NOTAS TECHNICAS

Le rayon de déforestation autour de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo): synthèse
El radio deforestación alrededor de la ciudad de Lubumbashi (Haut-Katanga, RD Congo): resumen
De ontbossingsstraal rondom de stad Lubumbashi (Hoog Katanga, DR Congo): synthese

Y. Useni Sikuzani, F. Malaisse, S. Cabala Kaleba, F. Munyemba Kankumbi & J. Bogaert

215

Characteristics of Guinea Fowl Breeding in West Africa: A Review

Elevage de la pintade en Afrique de l'Ouest: une synthèse bibliographique

Reproducción de la pintada en África occidental: síntesis bibliográfica

Parelhoenderskweek in West-Afrika: een bibliografische synthese

P.V. Houndonougbo, J. Bindelle, C.A.A. Mahoussi, H. Hedi & N. Gengler

222

ANNONCES/ AANKONDIGINGEN/ ANUNCIOS

ARSOM: Yearly Competitions

231

ARSOM: Disasters and Resilience in the 21st Century: Multidisciplinary Workshop

234

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

What Seeds for the Future?

Everyone agrees that the use of high quality seeds provides the basis for efficient agricultural production. In sub-Saharan Africa, 60-100% of farmers still use their own seeds when sowing crops, either because no distribution network exists for improved seeds or because the latter are too expensive for them. This is particularly true of farmers in isolated regions who have little buying power.

Apart from when their use has been encouraged by subsidies, the private sector has so far shown little interest in the most common staple crop seeds, except for seeds used to grow cash crops that are difficult to produce, such as hybrid maize seeds and vegetables. Any remaining seeds that are not produced by the farmers themselves are acquired by state agencies, NGOs, a few private companies, which work for the public authorities, and grower associations. Various projects aim to promote the creation of community-based seed systems, in order to enable farmers to access (often but not always new) varieties, which are suited to their needs, by taking care of their maintenance, propagation, storage and distribution¹.

In order to meet the requirements of their economic partners in developed countries, in the context of the international trade liberalisation, and make farming more efficient, the African countries are introducing new legislation, which aims to protect intellectual property rights associated with cultivated plant varieties, promote the selection of more productive varieties and guarantee minimum quality standards for any seeds that are sold.

As was recently the case in the European Union, it is important that these new regulations take account of the realities in the field and do not threaten the preservation of the genetic diversity of traditional crops, the local selection of new varieties and autonomy for farmers. At this level, it is vital that we guarantee that farmers and organisations responsible for community-based seed production have the right to develop new varieties, together and with public institutions, as well as the right to use, sell and freely trade seeds for their chosen varieties.

Several recently published books stress the importance of adopting a pluralistic approach, in order to develop seed systems that sustainably meet the needs of farmers, while making it possible to protect biodiversity^{2,3}. These publications are highly informative for anyone who is interested in these fundamental problems and I felt it was important to draw your attention to these issues.

Guy Mergeai
Editor-in-Chief

References

1. FAO & ICRISAT. 2015. Community Seed Production, by Ojiewo CO, Kugbei S, Bishaw Z & Rubyogo JC, eds. Workshop Proceedings, 9-11 December 2013. FAO, Rome & ICRISAT, Addis Ababa. 176 pp.
2. Shiva Vandana eds. 2016. Seed Sovereignty, Food Security: Women in the Vanguard of the Fight against GMOs and Corporate. North Atlantic books. Berkeley. USA. 424 pp.
3. Erard P., Jorand M., Laurent M., Mainenti C. 2017. Le droit aux semences, un droit essentiel pour les paysan-ne-s ! Coordination Sud, Paris, 2017, 18 p. Téléchargeable sur: www.coordinationsud.org

Quelles semences pour le futur?

Tout le monde s'accorde pour dire que l'emploi de semences de qualité constitue la base d'une bonne production agricole. En Afrique subsaharienne, entre 60 et 100 % des agriculteurs utilisent encore leurs propres semences pour installer leurs cultures, soit parce qu'il n'existe pas de circuit de distribution de semences améliorées, soit parce ces dernières sont trop chères pour eux. Cela concerne particulièrement ceux qui se trouvent dans des régions enclavées et qui disposent de peu de pouvoir d'achat.

A moins qu'il n'y soit poussé par l'existence de subventions, le secteur privé a jusqu'ici montré peu d'intérêt pour les semences des principales cultures vivrières, à l'exception des plus rentables, c'est-à-dire celles des spéculations de rente qui sont difficiles à produire; comme par exemple les graines d'hybrides de maïs et de légumes. Le reste des semences qui ne sont pas autoproduites par les agriculteurs est pris en charge par des organismes étatiques, des ONG, quelques entreprises privées travaillant en régie pour les pouvoirs publics et des associations de producteurs. Différents projets promeuvent la mise en place de systèmes communautaires de production de semences afin de permettre aux agriculteurs d'accéder à des variétés adaptées à leurs besoins (souvent nouvelles, mais pas toujours) en assurant la maintenance, la multiplication, le stockage et la distribution de celles-ci¹.

Afin de se conformer aux exigences de leurs partenaires économiques des pays développés, dans un contexte de libéralisation des échanges à l'échelle mondiale, et d'augmenter les performances de leur agriculture, les pays d'Afrique mettent en œuvre de nouvelles législations qui visent à protéger la propriété intellectuelle des variétés de plantes cultivées, à promouvoir la sélection de variétés plus performantes et à assurer une qualité minimale des semences qui sont commercialisées.

A l'instar de ce qui s'est passé récemment au niveau de l'union européenne, il est important que ces nouvelles règles tiennent compte des réalités du terrain et qu'elles ne menacent pas la préservation de la diversité génétique des cultures traditionnelles, la sélection locale de nouvelles variétés et l'autonomie des agriculteurs. A ce niveau, il est fondamental de garantir aux agriculteurs et aux structures qui assurent la production communautaire de semences le droit de développer, entre eux et avec les institutions publiques, de nouvelles variétés ainsi que le droit d'utiliser, de commercialiser et d'échanger librement les semences des variétés qu'ils ont sélectionnés.

Plusieurs livres parus récemment insistent sur l'importance d'adopter une approche pluraliste pour développer des systèmes semenciers qui rencontrent durablement les besoins agriculteurs tout en permettant la préservation de la biodiversité^{2,3}. Ces ouvrages sont particulièrement édifiants pour tous ceux qui s'intéressent à cette problématique fondamentale sur laquelle il me paraissait important d'attirer votre attention.

Guy Mergeai
Rédacteur en chef

References

1. FAO & ICRISAT. 2015. Community Seed Production, by Ojiewo CO, Kugbei S, Bishaw Z & Rubyogo JC, eds. Workshop Proceedings, 9-11 December 2013. FAO, Rome & ICRISAT, Addis Ababa. 176 pp.
2. Shiva Vandana eds. 2016. Seed Sovereignty, Food Security: Women in the Vanguard of the Fight against GMOs and Corporate. North Atlantic books. Berkeley. USA. 424 pp.
3. Erard P., Jorand M., Laurent M., Mainenti C. 2017. Le droit aux semences, un droit essentiel pour les paysan-ne-s ! Coordination Sud, Paris, 2017, 18 p. Téléchargeable sur: www.coordinationsud.org

ARTICLES ORIGINAUX ORIGINAL ARTICLES

OORSPROKELIJKE ARTIKELS ARTICULOS ORIGINALES

Effects of Defatting Combined or not to Heating of *Jatropha curcas* Kernel Meal on Feed Intake and Growth Performance in Broiler Chickens and Chicks in Senegal

T.D.T. Nesseim^{1*}, A. Dieng¹, G. Mergeai² & J.-L. Hornick³

Keywords: Broiler chickens- Broiler chicks- *Jatropha curcas*- Ingestion- Growth performance- Senegal

Summary

Jatropha curcas is a tropical plant belonging to the Euphorbiaceae family whose cultivation has been largely promoted in recent years for the production of biofuels. The kernel of the seed contains approximately 55% lipid in dry matter and the meal obtained could be an exceptional source of protein for family poultry farming, after treatments to remove toxic and anti-nutritional compounds. The ingestion and the growth performance of *J. curcas* kernel meal (JKM), obtained after partial physico-chemical de-oiling combined or not with heating was evaluated in broiler chickens and chicks. Sixty unsexed broiler chickens, 30 day-old, divided into three groups as well as twenty broiler chicks, 1 day-old, divided into two groups were used in two experiments. In experiment 1, jatropha kernel was de-oiled and incorporated into a control fattening (0JKM₁) feed at 40 and 80 g/kg (diets 4JKM₁ and 8JKM₁). In experiment 2, jatropha kernel meal obtained in experiment 1 was heat treated and incorporated into a growing diet at 80 g/kg (diet 8JKM₂). Daily dietary intakes as well as weight gain of the animals were affected by the incorporation of jatropha kernel meal in the ration. In experiment 1, Average Daily Feed Intake (ADFI₁) of 139.2, 55.2 and 23.4 g/day/animal and also average daily weight gain (ADWG₁) of 61.9, 18.5 and -7.7 g/animal were obtained respectively for the groups fed with diets 0JKM₁, 4JKM₁ and 8JKM₁. In experiment 2, Average Daily Feed Intake (ADFI₂) of 18.7 and 3.1 g/day/animal and also Average Daily Weight Gain (ADWG₂) of 7.1 and 1.9 g/animal were obtained respectively for the groups fed with diets 0JKM₂ and 8JKM₂. In both experiment, feed conversion ratio (FCR) was also affected by the dietary treatments and the overall mortality rate showed an increase according to levels of jatropha kernel meal in diet.

Résumé

Effets d'une délipidation combinée ou non au chauffage d'un tourteau d'amande de *Jatropha curcas* sur l'ingestion alimentaire et les performances de croissance de poulets et poussins de chair au Sénégal

Jatropha curcas est une plante appartenant à la famille des Euphorbiaceae dont la culture a été largement promue au cours des dernières années pour la production de biocarburants. Sa graine referme une amande qui contient environ 55% de matière grasse par rapport à la matière sèche et le tourteau obtenu après l'extraction de l'huile pourrait être une source exceptionnelle de protéines notamment en aviculture familiale, après des traitements destinés à supprimer les composés toxiques et antinutritionnels. L'ingestion et les performances de croissance du tourteau de l'amande de *J. curcas*, obtenu après déshuilage physico-chimique partiel et traitement à la chaleur, ont été évaluées sur des poulets en croissance et des poussins de chair. Soixante poulets de chair, âgés de 30 jours, divisés en trois groupes ainsi que 20 poussins de chair, âgés d'un jour, divisés en deux groupes ont été utilisés dans deux expériences. Dans l'expérience 1, de l'amande de jatropha a été déshuillée et incorporée à un aliment témoin (0JKM₁) à raison de 40 et 80 g/kg (rations 4JKM₁ et 8JKM₁). Dans l'expérience 2, le produit déshuillé obtenu dans l'expérience 1 a subi un traitement thermique puis a été incorporé dans un aliment de démarrage à raison de 80 g/kg (ration 8JKM₂). L'ingestion moyenne quotidienne ainsi que la croissance pondérale ont été affectées par l'incorporation du tourteau d'amande de jatropha dans la ration. Les animaux de la 1^{ère} expérience ont présenté des ingestions moyennes de 139,2; 55,2 et 23,4 g/jour/animal ainsi que des gains

¹University of Thies, National Superior School of Agriculture, Department of Animal Productions, Thies, Senegal.

²University of Liege, Gembloux Agro-Bio Tech, Department of Tropical Crop Husbandry and Horticulture, Gembloux, Belgium.

³University of Liege, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Productions, Liege, Belgium.

Corresponding author: Email: tnesseim@univ-thies.sn

de poids moyens quotidiens de 61,9; 18,5 et -7,7 g/animal avec, respectivement, les rations 0JKM₁, 4JKM₁ et 8JKM₁. Dans l'expérience 2, des ingestions moyennes quotidiennes de 18,7 et de 3,1 g/jour/animal tandis que des gains de poids moyens quotidiens de 5,9 et 1,7 g/animal ont été obtenus respectivement pour les groupes nourris avec des régimes 0JKM₂ et 8JKM₂. Dans les deux expériences, l'indice de consommation a aussi été affecté par le niveau d'incorporation du jatropha et il en est de même pour le taux de mortalité total enregistré.

Introduction

To meet the population demand for animal proteins and lower the cost production, including those of poultry, expenses related to feed must be reduced. In Senegal, many raw materials and agricultural by-products used in the manufacture of feed are available (12). However, oilseeds meal used in poultry feed are mainly those of peanut and cotton. This is due to low domestic soybean meal production and high cost of imports thereof. A challenge is to find out alternatives valuing plant resources that abound in the country. Some by-products of these resources contain anti-nutritional or toxic natural substances that limit their use. Potentially usable byproduct is cake of *Jatropha curcas* seed. The plant, known as physic nut, or *tabanani* in Senegal, is a wild drought-resistant shrub belonging to the *Euphorbiaceae* family, which can grow in marginal wastelands and planted as a fence to protect fields because it is not consumed by animals (25). The oil content of the seed is about 22 to 48% (9), can be converted into bio-diesel (14). The kernel meal, obtained after shelling the seed and oil extraction, contains about half protein (4). It is nitrogen-rich and a very good soil fertilizer (19), but its use in animal feed remains limited. The seed was found to be toxic for several species types such as rat and rabbit (16), chicks (13) and also fish (8).

Jatropha toxicity is due to diterpene derivatives classified as phorbol esters (29). They activate protein kinase C, an enzyme which plays an essential role, regulating cell growth and differentiation (11). In addition, the nut by-products contain curcin, a lectin which has an effect on the protein synthesis (26) and anti-nutritional factors such as trypsin inhibitors, saponins and phytate which interfere with digestive process in animals (4).

Particularly in chickens, toxicity manifested as growth depression was observed with unprocessed meal (35). The cake should be detoxified before being use as feed. Common detoxification methods are essentially chemical (8, 10), e.g., de-oiling. Heating can give additional interest.

The objective of this study was to evaluate in Senegal, the impact of the introduction in a diet of *J. curcas* kernel meal physico-chemically de-oiled or de-oiled and heated, on ingestion and growth performance of broiler chickens.

Materials and methods

Location of the experiment

Experiments were conducted in *Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture* (ENSA), University of Thies (Senegal) in two stages. The first part (experiment 1) was planned during the dry season (April) with a temperature ranging from 21.9 to 34.7 °C, a relative humidity ranging from 22.4 to 53.4% and the second part (experiment 2) just after the rainy season (October) with a temperature ranging from 24.8 to 34.7 °C and a relative humidity ranging from 59.3 to 96.5%.

Preparation of the jatropha kernel meal and diet formulation

Thirty kg mature and dry seeds of *J. curcas* were collected from Dialacoto, Senegal. The seeds were cracked and unshelled manually to obtain kernels, which were grinded to get a *Jatropha* Kernel Paste (JKP). A residual level of Ether Extract (EE) lower than 100 grams per kilo gram (g/kg) Dry Matter (DM) was judged to be adequate to perform the trial. Oil extraction with petroleum ether (boiling range 60-80 °C) was assessed diluting 3 vol ether in 1 vol JKP, assuming a homogeneous distribution of the solvent in the mass.

The JKP was introduced into a barrel and dipped in petroleum ether (1:3 vol.) for 7 consecutive days. Meanwhile, the drum was regularly shaken to allow the kernel impregnation with ether. At the end of the soaking process, the kernel was recovered by filtering oil and ether and drying in the sun. Defatted *Jatropha* Kernel Meal (JKM) was obtained.

Experiment 1: JKM was incorporated as such in a commercial feed (SEDIMA) at levels of 40 and 80g/kg (diets 4JKM₁ and 8JKM₁) (Table 1). This commercial feed, constituting the control diet (0JKM₁), was mainly composed of maize, cereals issues, soybean meal, peanut meal, fish meal, calcium carbonate and vitamin-mineral complex. Extra-maize warranted iso-nitrogenous and iso-caloric traits of the diets.

Experiment 2: JKM was placed in a drying oven (105 °C for 2 hours), cooled and then incorporated in an experimental diet (0JKM₂) at 80g/kg (diet 8JKM₂), in substitution of groundnut cake (Table 2), allowing iso-nitrogenous and iso-caloric properties of the diets.

Table 1

Composition of diets incorporating the *J. curcas* kernel meal in experiment 1.

Raw materials	4JKM ₁	8JKM ₂
	%	%
Control diet (0JKM ₁)	76.6	67.0
JKM	4.0	8.0
Maize	19.4	25.0
Total	100.0	100.0

4JKM₁ and 8JKM₁=control diet (maize, cereals issues, soybean meal, peanut meal, fish meal, calcium carbonate and vitamin-mineral complex) incorporated with 4 and 8% *jatropha* kernel meal and maize.

Table 2

Gross composition of experimental diets for broiler chicks starters in experiment 2.

Ingredients (%)	0JKM ₂	8JKM ₂
Maize	40.0	40.0
Millet	17.0	17.0
Groundnut cake	23.0	15.0
JKM	0.0	8.0
Fishmeal	10.0	10.0
Chalk	0.5	0.5
TCP	0.3	0.3
Peanut oil	4.5	4.5
Synthetic lysine	0.2	0.2
Synthetic methionine	0.1	0.1
Vitamin-mineral Premix	4.5	4.5
Total	100.0	100.0
Calculated values		
Crude protein (%)	23.1	23.5
ME (kcal/kg)	3130.6	3181.2

JKM=*Jatropha curcas* meal, TCP= Tricalcium phosphate, ME= metabolic energy, 0JKM₂= control diet, 8JKM₂=diet incorporating 8% of JKM.

Animals and housing

Experiment 1: sixty unsexed broiler chickens, 30 day-old, local strain White Ross, were obtained, divided into three groups of twenty subjects corresponding to the three dietary treatments (0JKM₁, 4JKM₁ and 8JKM₁) and maintained during their final growth phase. The experiment was carried out for 15 days from the day 30.

Experiment 2: twenty unsexed one-day old chicks, local strain White Ross, were obtained, divided into two groups of ten subjects corresponding to the two dietary (0JKM₂ and 8JKM₂) treatments and maintained during their growing phase. The experiment was carried out for 15 days from the day 1.

Animals were kept in a well-ventilated broiler chickens barn in which three areas, separated by fences of 0.75 m in height, were installed. Each area, which was 4.5 m² (3x1.5 m) and was provided with troughs suitable for the distribution of feed and water. During the test, water was available *ad libitum*. Feed was weighed early in the morning and provided once a day. Refusals of food were collected and weighed the day after the distribution. Animals were kept on a concrete floor that was previously disinfected.

Feed consumption and growth performance

Every day, the amounts of feed distributed and the rejected quantities of the previous day were recorded to determine the feed intake by animal.

The daily group amounts of feed intake= feed supplies - feed rejected, were recorded.

It was deduced the Average Daily Feed Intake (ADFI). The Feed Conversion Ratio (FCR) was determined as the feed intake per unit weight gain.

During experiments, birds in each replicate were individually weighed at the beginning of the experiment and weekly thereafter to monitor the growth.

Weight gain was determined as the difference in weights between two successive weeks. It was deduced the Average Daily Weight Gain (ADWG).

Mortality in each replicate was calculated as the percentage of the total number of birds in the replicate at the beginning of the experiment.

Chemical analyses

At the beginning of the experiment, samples of the raw materials but also of the diets were collected for analysis.

Chemical analyses were performed according to the procedures of AOAC (6). Crude Protein (CP) was determined by the Kjeldahl method (N x 6.25), Ether Extract (EE) by the Soxhlet method and Crude Fiber (CF) by the method of Weende.

The following values were calculated from those measured:

Organic Matter (MO)= 100 - Ash

Non-nitrogen Extract (NNE)= MO- EE- CP- CF

The true metabolic energy of each diet is given by the following formula: ME (kcal/kg D= 3951 + (54.4xEE) - (88.7xCF) - (40.8 x Ash) (36).

Statistical analysis

All data generated were subjected to analysis of Variance in a Complete Randomized Design of Statistix 8.1 software package. Significant means were separated using Tukey HSD all-pairwise comparisons test of the same package. Mortalities data were compared according to Fischer's Exact test.

Results

Chemical composition of feed

Effect of various processing methods on proximate and energy composition of *Jatropha curcas* Kernel (JK), *J. curcas* Kernel Meal (JKM) and experimental diets are shown in table 3.

Kernel contained 560 g EE/kg dry matter (DM) and about 260 g CP/kg DM, while Ash remained close to 50 g/kg DM. Crude Fiber and Nitrogen Free Extract (NFE) reached values, respectively of 120 and 24 g/kg DM. The residual level of EE in jatropha kernel meal almost reached the objective of 100 g/kg DM. As a consequence, CP represented about half of material. NFE represented about a quarter of DM, while CF and ash remained close to 100 g/kg DM.

For experiment 1, the control feed, which was the carrier of the diets, gave a crude protein level of 220 g/kg DM. Ether extract and CF remained below 100 g/kg DM, while ash were 180 g/kg DM. The NFE constituted about half of the dry matter. Diets (4JKM₁ and 8JKM₁) that were used for this experiment were developed so as to provide protein and energy levels approximately similar. Moreover, the other nutrients remained in the same values for all diets.

The value of the real metabolic energy was calculated to be about 3200 kcal/kg DM for the control diet. Concerning diets 4JM and 8JM, this value was calculated, respectively, to about 3300 and 3200 kcal/kg DM.

For experiment 2, diets (0JKM₂ and 8JKM₂), showed almost similar values with regard to the DM, CP, ash and Metabolic Energy (ME) which were respectively 900 g/kg, 20 g/kg DM, 11 g/kg DM and 3500 kcal/kg DM. Only the EE and CF were slightly different (respectively 120 vs. 104 g/kg DM and 66 vs. 58 g/kg DM).

Analytical results showed that diets were iso-protein and iso-energetic.

Feed consumption

Table 4 shows the daily individual feed intake by animals during the experiments. It was inversely proportional to the incorporation of jatropha kernel meal and significantly different (P<0.05) in the first and in the second experiment.

In experiment 1, for animals fed with 0JKM₁, the ADFI₁ was 139.2±13.3 g/d/an (gram per day per animal) while it was 55.2±27.5 and 23.4±24 g/d/an, respectively, for 4JKM₁ and 8JKM₁.

In experiment 2, the ADFI₂ of animals fed with 0JKM₂ was 18.7±4.9 g/d/animal when it was 3.1±2.5 g/d/animal for 8JKM₂.

The FCR presented mean values that varied from 2.3 for 0JKM₁, to 17.4 for 4JKM₁ and -0.5 for 8JKM₁, and values that varied between 3.1 and 1.9, respectively for 0JKM₂ and 8JKM₂, without significant difference (P>0.05).

Table 3

Proximate composition of raw materials and feed used in experiments 1 and 2.

Raw materials and diets	DM (%)	Chemical composition (% in DM)						ME
		OM	CP	EE	CF	Ash	NFE	kcal/kg DM)
JK	96.1	95.2	25.9	55.5	11.6	4.8	2.4	5747.2
JKM	95.0	90.7	48.6	10.0	6.5	9.4	25.6	3537.0
0JKM ₁	90.7	81.8	22.0	7.5	5.1	18.2	47.2	3160.7
4JKM ₁	89.2	84.6	20.5	8.6	5.2	15.4	50.3	3328.0
8JKM ₁	89.3	84.7	20.7	7.4	5.5	15.4	51.1	3243.1
0JKM ₂	90.0	88.8	20.3	12.3	6.6	11.2	49.6	3577.8
8JKM ₂	89.9	88.7	20.7	10.4	5.8	11.3	51.8	3440.9

JK= *J. curcas* kernel, JKM=*Jatropha curcas* Kernel Meal, 0JKM₁₋₂= control diets, 4JKM₁ and 8JKM₁₋₂= diets with 4% and 8% jatropha kernel meal in control diet, DM= Dry Matter, MO= Organic Matter, CP= Crude Protein, EE= Ether Extract, CF= Crude Fiber, NFE= Nitrogen Free Extract, ME=metabolic energy

Table 4
Growth performance characteristics of broiler chickens and chicks during the experiments.

	0JKM	4JKM	8JKM	P>F	SEM
Initial weight (g)	1153.5	1132.1	1200.6	0.5	42.0
Final weight (g)	2078.1 ^a	1407.5 ^b	1089.6 ^c	0.000	55.4
ADFI ₁ (g/d/animal)	139.2 ^a	55.2 ^b	23.4 ^c	0.000	5.8
ADWG ₁ (g/d/animal)	61.9 ^a	18.5 ^b	-7.7 ^b	0.001	6.6
FCR ₁	2.3	17.4	-0.5	0.3	8.3
Initial weight (g)	45.7		46.1	0.7	0.8
Final weight (g)	135.5 ^a		70.9 ^b	0.000	7.4
ADFI ₂ (g/d/animal)	18.7 ^a	-	3.1 ^b	0.000	1.1
ADWG ₂ (g/d/animal)	7.1	-	1.9	0.17	1.2
FCR ₂	3.1	-	1.9	0.48	1.0

SEM= Standard Error of the Mean.

a, b, c= means with different superscripts on the same row differ significantly (P<0.05).

In both experiments (1 and 2), ADFI= Average Daily Feed Intake, ADWG= Average Daily Weight Gain,

FCR= Feed Conversion Ratio.

Growth performance

During the two weeks, it was found that the control group showed a linear weight growth, evolving from 1153.5±48.7 g on day 30 (d30) to 2078.1±360.1 g on day 44 (d44). For the same periods, animals that received the 4JKM₁ diet showed lower performance, from 1132.1±267.8g to 1407.5±211.1 g. Finally, the animals that received the 8JKM₁ diet, in turn, presented a decreasing weight change over the weights from 1200.6±110.1 g to 1089.6±124.4 g. Thus, Average Daily Weight Gain (ADWG) per animal significant (P<0.05) evolved inversely to the incorporation of jatropha kernel meal, ranging from 61.9 g/d/animal for the control group to 18.5 g/d/animal for the 4JKM₁ group and -7.7 g/d/animal for the 8JKM₁ group (Table 4).

The total mortalities recorded during experiment 1 showed an increase without significant difference (P>0.05) according the incorporation of jatropha kernel meal in diets, from 0% for the control group to 5 and 20% for respectively the 4JKM₁ and 8JKM₁ groups.

In experiment 2, it was found that the control group showed a linear weight increase, evolving from 45.7±2.2 g on day 1 (d1) to 135.5±29.8 g on day 15 (d15). For the same periods, animals that received the 8JKM₂ diet showed lower weight, from 46.1±2.9 g to 70.9±24.2 g. Thus, Average Daily Weight Gain (ADWG) per animal had evolved inversely to the incorporation of jatropha kernel meal, and without significant (P>0.05), ranging from 7.1 g/d/animal for the control group to 1.9 g/d/animal for 8JKM₂ group. During experiment 2, the total mortalities recorded showed a significant difference (P<0.05) according incorporation of the jatropha kernel meal in diets, from 0% for the control group to 60% for the 8JKM₂ group.

Discussion

The extract of vegetable oil from seeds is mainly based on two processes which are mechanical pressing and solvent extraction. Mechanical screw press is a mean of oilseed crushing to small and medium scale (40).

To avoid the presence of low digestible shells in monogastrics (20), and thus to study the specific effects of kernels on poultry, seeds were shelled manually. After shell removing, the kernels contained between approximately 550 g/kg in DM of EE. These values confirm those obtained by Aderibigbe *et al.* (4), Kumar *et al.* (24), Makkar *et al.* (27), and Martinez-Herrera *et al.* (30).

Use of mechanical press for de-oiling the kernel after shelling did not allow a satisfactory extraction of oil and just helped to reduce it into a paste. To overcome this difficulty, petroleum ether was used to allow oil extraction from the paste. The solvent is a special gasoline G type, colorless liquid, of low viscosity and very good solvent of greases. It allows direct extraction by exhaustion. However, its flammability, toxicity and price indexed to oil prices are major disadvantages of its use (22).

The de-oiling process used yielded about 10% residual fat in the dry matter of jatropha kernel meal. These values matched those obtained by Aderibigbe *et al.* (4) with a partial de-oiling with a screw press, but higher than those obtained by the same authors and (27) with a totally defatted meal. These differences in results compared to the method used, can be explained by the process of de-oiling. Indeed, the last authors implemented a soxhlet de-oiling which eliminates all the fat of the matter.

Soaking method used presently, more compatible with a field experiment, left a significant amount of fat. Concerning the procedure that was used, the kernel paste was dipping in petroleum ether (1:3 vol.) inside a barrel where it was maintained for 7 successive days and then was recovered by draining residual ether and drying in the sun to allow the ether evaporation.

For experiment 2, following the de-oiling process, the JKM powder obtained in the first experiment was treated by passage in a drying oven (105 °C for 2 hours). The aim of this stage was to inactivate toxic and anti-nutritional compounds. Indeed, Martinez-Herrera *et al.* (31), by heat treatment in an autoclave (121 °C for 20 mn), significantly inactivated trypsin inhibitor activities which are anti-nutritional factors but also lectin activity which is considered to be another toxic factor in *J. curcas* seeds. In the same way, Abo El-Fadel *et al.* (2) decreased the concentration of trypsin inhibitor and lectin by about 75 and 83% respectively. These results were in agreement with Haas and Mittlebach (18) who reported also that heat treatment has a positive effect on reducing trypsin inhibitor and lectin concentration in *J. curcas* meal.

Chemical analyzes made on JKM showed that it mainly consist of crude protein and nitrogen free extract (723 g/kg in DM). The levels of crude protein and ash were similar with those obtained by Aderibigbe *et al.* (4) for partially de-oiled cake, but the values in EE and especially in crude fiber were higher.

Jatropha meal showed good nutritional potential with a level of crude protein noted higher than that of soybean meal (27), confirming the protein concentrate nature of this product for poultry feed. Diets offered during the experimentation showed a crude protein content of 21% DM. These values corresponded to the recommended ones for broiler chickens production (21).

In our study, the daily intake per broiler chickens and chicks was inversely dependent on the incorporation of the JKM, resulting in lower weight gain, especially for animals that received the 8 JKM diet.

The decrease feed intake recorded during experimental sequence, which was reflected in weight gain, was probably related to the incorporation of the jatropha kernel meal in diet. Feed intake was influenced by a variety of factors, such as taste, smell and texture of the diet (38). The decline was probably related of palatability as animals systematically reduced their consumption whenever they were exposed to jatropha. The daily feed intake and body weight change during the test sequence were significantly lower in jatropha kernel groups in comparison with control group. These results confirmed those obtained by Sumiati *et al.* (37) which incorporated *J. curcas* meal at the level of 5% in the diets of broiler chickens and observed reduced feed intake.

This shows the negative effect on feed palatability of the jatropha meal. To some extent, this could be surprising since investigators did not perceived abnormal taste of the JK. It is possible that discomfort could be perceived by the animal once the product is ingested.

Phorbol esters, the main toxic compounds in *J. curcas* seeds (29), were reported to possess a diterpene named 12-deoxy-16-hydroxyphorbol (17). They were found to be responsible of an irritant effect after topical application, but also caused diarrhea and mortality in the animals (16). These compounds are thermo stable and isolated from the oil of jatropha (7). Chemical de-oiling of jatropha kernel, followed by a physicochemical detoxification treatment does not cause a complete removal of toxic factors including phorbol esters (24). Its inclusion in diets thus gives rise to a decrease in feed intake and a weight gain reduction on monogastrics and the presence of phorbol esters in feed has significant effects on its' acceptance (7). In spite of chemical treatments (sodium chloride and calcium hydroxide) that decreased phorbol esters and haemagglutination activity, Katole *et al.* (23) observed a reduced nutrient intake. Also, Annongu *et al.* (5) showed a tolerance in diets containing physico chemically treated jatropha kernel meal up to 15%. In addition, mortalities were mainly recorded in experimental group. Monogastrics show great sensibility to this compound in feed (8). They show intestinal irritation and thus feed rejection due to the residual effects of the toxins.

The low animal weight performance observed for group receiving jatropha kernel meal during experiments was probably due to both reduced intake but also poor protein utilization (32). In this respect, trypsin inhibitors and curcin are known to decrease the weight gain performance of animals (15) and were probably related to the level of jatropha kernel in the diet. Trypsin inhibitors are anti-nutritional factors which interfere with the physiological process of digestion in non-ruminants, leading to severe growth depression (39). A similar growth depression due to residual anti-nutritional factors with JKM roasted was observed (34). Furthermore, Other Studies however showed that the feed intake and mortality of animals were not affected by inclusion of jatropha kernel meal fermented with *Aspergillus niger* in their diet, despite a poor feed conversion and a low weight gain (33). For defatted and untreated jatropha kernel meal, Aderibigbe *et al.* (4) measured a trypsin inhibitor activity to about 20 mg/g of sample. Heat treatments reduced this activity to 0.2 mg/g of sample, showing the thermo labile character of the toxin. The effect of heat treatment was confirmed by Abou-Arab A.A. and Abu-Salem (1).

In experiment 1, the kernel of jatropha was de-oiled without heat treatment. Trypsin inhibitors remained present and probably contributed to interference with the physiological digestive process in poultry.

These observations are in agreement with those made by Kumar *et al.* (24), Makkar *et al.* (27) and Makkar and Becker (28) who showed adverse physiological effects in monogastric and therefore a decrease in voluntary intake and reduced weight gain for animals subjected to diets with unheated jatropha kernel meal. Finally, these observations confirm those of our previous studies (32).

The growth depression and the poor feed conversion ratio observed for diets incorporating JKM can be attributed to residual anti-nutritional factors like phorbol esters, curcin and trypsin inhibitors that have been reported to be present in jatropha seed. In experiment 2, the JKM was heat treated. Curcin and Trypsin inhibitors were presumed to be removed eliminated but this did not improve feed intake of animals and thus weight gain. This confirms observations of Pasaribu *et al.* (35) which showed that chemical followed by heat treatments allowed the removal of curcin and some anti-nutritional factors such as trypsin inhibitors. However, the reactions of animals that consumed the tested feed let thinking that there was still a toxic compound in the JKM.

This was probably a significant fraction of phorbol esters which was not eliminated.

This study was the first field experiment on evaluation of jatropha kernel seed in broiler chickens and chicks production in Senegal.

The results showed that, despite total dehulling, chemical de-oiling using petroleum ether and heat treatment, jatropha kernel meal still conserve a strong negative effect on feed intake and then on growth performance despite the short period of incorporation. Further studies must be performed in order to assess combined effects of thermal, chemical and biological detoxification processes on jatropha seeds.

Acknowledgements

Authors gratefully acknowledge the financial grant provided by the University Commission for Development (CUD) of Belgium for carrying out this study, through the inter-university program focused on improvement of agro ecological techniques of agricultural production systems integrating jatropha in the western part of the Senegalese groundnut basin.

Literature

1. Abou-Arab A.A. & Abu-Salem F.M., 2010, Nutritional quality of *Jatropha curcas* seeds and effect of some physical and chemical treatments on their anti-nutritional factors, *Afr. J. Food Sci.*, **4**, 3, 93-103. <http://eprints.icrisat.ac.in/395/> Accessed 23 March 2015
2. Abo El-Fadel M.H., Hussein A.M. & Mohamed A.H., 2011, Incorporation *Jatropha curcas* meal on lambs ration and its effect on lambs performance, *J. Am. Sci.*, **7**, 2, 129-132. http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am0702/18_4507am0702_129_132_abo.pdf Accessed 30 April 2015
3. Achten W., 2010, *Sustainability evaluation of biodiesel from Jatropha curcas L. A life cycle oriented study*. Doctoraatsproefschrift n°921 aan de faculteit Bio-ingenieurswetenschappen van de K.U. Leuven, 176p. <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Documento/JatrophaConstrataciones/SUSTAINABILITYEVALUATIONOFBIODIESELFORJATROPHACURCAS.pdf> Accessed 29 April 2015
4. Aderibigbe A.O., Johnson C.O.L.E., Makkar H.P.S., Becker K. & Foidl N., 1997, Chemical composition and effect of heat on organic matter- and nitrogen-degradability and some antinutritional components of jatropha meal, *Anim. Feed Sci. Technol.*, **67**, 2, 223-243. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840196011364> Accessed 3 February 2015
5. Annongu A.A., Joseph J.K., Apata D.F., Adeyina A.O., Yousuf M.B. & Ogunjimi K.B., 2010, Detoxification of *Jatropha curcas* seeds for use in nutrition of monogastric livestock as alternative feedstuff. *Pakistan J. Nutr.*, **9**, 9, 902-904. <http://www.pjbs.org/pjnonline/fin1703.pdf> Accessed 23 March 2015.
6. AOAC, 1990, Official Methods of Analysis (Volume 1). 15th Edn. Association of Official Analytic Chemists, Washington DC., USA. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf> Accessed 3 February 2015
7. Aregheore E.M., Becker K. & Makkar H.P.S., 2003, Detoxification of a toxic variety of *Jatropha curcas* using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation with rats, *The S. Pac. J. Nat. Appl. Sci.*, **21**, 1, 51-56. <http://www.publish.csiro.au/?paper=SP03010> Accessed 23 March 2015.
8. Becker K. & Makkar H.P.S., 1998, Effects of phorbol esters in carp (*Cyprinus carpio* L.), *Vet. Hum. Toxicol.*, **40**, 2, 82-86. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9554059> Accessed 3 February 2015.
9. Becker K. & Makkar H.P.S., 2008, *Jatropha curcas*: a potential source for tomorrow's oil and biodiesel, *Lipid Technol.*, **20**, 5, 104-107. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lite.200800023/abstract> Accessed 3 February 2015
10. Chivandi E., Mtumuni J.P., Read J.S. & Makuza S.M., 2004, Effects of processing method on phorbol esters concentration, total phenolics, trypsin inhibitor activity and the proximate composition of the Zimbabwean *Jatropha curcas* provenance: a potential livestock feed, *Pakistan J. Biol. Sci.*, **7**, 6, 1001-1005. <http://www.cabdirect.org/abstracts/20043092544.html;jsessionid=ADC139F85207A4DBD2B0FEB6F2E62A5E> Accessed 24 March 2015
11. Dempsey E.C., Newton A.C., Mochly-Rosen D., Fiedls A.P., Reyland M.E., Insel P.A. & Messing R.O., 2000, Protein kinase C isozymes and the regulation of diverse cell responses. *Am. J. Physiol.*, **279**, 3, 429-438. <http://ajplung.physiology.org/content/279/3/L429> Accessed 8 April 2015
12. Dieye P.N., Missohou A. & Faye A., 2010, *L'aviculture familiale: un levier pour améliorer les revenus des éleveurs pauvres au sud du Sénégal*. In: Faye B. and Duteute G. (Ed.): *L'élevage, richesse des pauvres*, Paris: Editions Quae, 191-201.

- <https://books.google.be/books?hl=fr&lr=&id=B67I6TzMIpC&oi=fnd&pg=PA191&dq=situation+de+l%27aviculture+s%C3%A9n%C3%A9galaise&ots=pmE9ZZ6yXo&sig=Pdy9yaXp2gmZ7kSWWrAiV-euistl#v=onepage&q=situation%20de%20l'aviculture%20s%C3%A9n%C3%A9galaise&f=false> Accessed 6 May 2015
13. El Badwi S.M., Adam S.E. & Hapke H.J., 1995, Comparative toxicity of *Ricinus communis* and *Jatropha curcas* in Brown Hisex chicks. *Dtsch. Tierarztl. Wochenschr.*, **102**, 2, 75-77. <http://europepmc.org/abstract/med/7600941> Accessed 6 April 2016
 14. Foidl N., Foidl G., Sanchez M., Mittelbach S. & Hackel S., 1996, *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua, *Bioresource Technol.*, **58**, 1, 77-82. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852496001113> Accessed 3 February 2015
 15. Francis G., Makkar H.P.S. & Becker K., 2001, Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish, *Aquaculture*, **199**, 3-4, 197-227. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848601005269> Accessed 23 March 2015
 16. Gandhi V.M., Cherian K.M. & Mulky M.J., 1995, Toxicological studies on ratanjyot oil, *Food Chem. Toxicol.*, **33**, 1, 39-42. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691595802460> Accessed 3 February 2015
 17. Haas W., Sterk H., & Mittelbach M., 2002, Novel 12-Deoxy-16-hydroxyphorbol Diesters isolated from the Seed Oil of *Jatropha curcas*, *J. Nat. Prod.*, **65**, 10, 1734-1440. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/np020060d> Accessed 7 May 2015
 18. Haas W. & Mittlebach M., 2000, Detoxification experiments with the seed oil from *Jatropha curcas* L., *Indian Crop. Prod.*, **12**, 2, 111-118. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666900000431> Accessed 30 April 2015
 19. Heller J., 1996, Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Physic nuts *Jatropha curcas* L., *Int. Plant Genetic Res. Inst.*, Rome, 66p. <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Heller1996Jatropha.pdf> Accessed 3 February 2015
 20. Huisman J. & Tolman G.H., 1992, *Antinutritional factors in the plant proteins of diets for non-ruminants*. In: Garnsworthy P.C., Haresign W. and Cole D.J.A.: *Recent advances in animal nutrition*, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 3-31. <https://books.google.be/books?hl=fr&lr=&id=XwDLBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=low+digestible+shells+in+monogastric&ots=b7h5JrQBoW&sig=Zxz9tFnY475AuHqMDpjHNqZWxbY#v=onepage&q&f=true> Accessed 23 June 2015
 21. INRA, 1989, *L'alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles*. (2ème Ed.) INRA Paris, 286p.
 22. Johnson L., 2008, *Recovery, refining, converting, and stabilizing edible fats and oils*. In: *Foods Lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology*. Eds Akoh C.C. and Min D.B., New-York, USA, 206-241. https://books.google.be/books?hl=fr&lr=&id=sPgIndmgXU8C&oi=fnd&pg=PA205&dq=Recovery,+refining,+converting,+and+stabilizing+edible+fats+and+oils&ots=p07hc4HPf&sig=KyuK7_NuR_CZD2qHTfs4_jRMWnY#v=onepage&q=Recovery%2C%20refining%2C%20converting%2C%20and%20stabilizing%20edible%20fats%20and%20oils&f=false Accessed 18 March 2015
 23. Katole S., Saha S.K., Sastry V.R.B., Lade M.H. & Prakash B., 2011, Intake, blood metabolites and hormonal profile in sheep fed processed jatropha (*Jatropha curcas*) meal, *Anim. Feed Sci. Tech.*, **170**, 1-2, 21-26. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840111003300> Accessed 23 March 2015
 24. Kumar V., Makkar H.P.S. & Becker K., 2010, Nutritional, physiological and haematological responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles fed detoxified *Jatropha curcas* kernel meal, *Aquacult. Nutr.*, **17**, 4, 451-467. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2095.2010.00825.x/abstract;jsessionid=C58D303F24BADE95D8BCC2E615CC62AC.f03t03?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=false> Accessed 18 March 2015
 25. Kumar A. & Sharma S., 2008, An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial use (*Jatropha curcas* L.): A review. *Indian Crop. Prod.*, **28**, 1, 1-10. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669008000046> Accessed 20 April 2015
 26. Lin J., Chen Y., Xu Y., Yan F., Tang L. & Chen F., 2003, Cloning and expression of curcin, a ribosome-inactivating protein from the seeds of *Jatropha curcas*, *Acta Bot. Sin.*, **45**, 7, 858-863. <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/1710/1/as03015.pdf> Accessed 8 April 2015
 27. Makkar H.P.S., Aderibigbe A.O. & Becker K., 1998, Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic effects, *Food Chem.*, **62**, 2, 207-215. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814697001830> Accessed 18 March 2015
 28. Makkar H.P.S. & Becker K., 2009, *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added coproducts, *Eur. J. Lipid Sci. Tech.*, **111**, 8, 773-787. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ejlt.200800244/abstract> Accessed 23 March 2015
 29. Makkar H.P.S., Becker K., Sporer F. & Wink M., 1997, Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*, *J. Agr. Food Chem.*, **45**, 8, 3152-3157. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf970036j> Accessed 3 February 2015
 30. Martinez-Herrera J., Aderibigbe A.O. & Becker K., 1998, Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. *Food Chem.*, **62**, 2, 207-215. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814697001830> Accessed 18 March 2015
 31. Martinez-Herrera J., Siddhuraju P., Francis G., Davila-Ortiz G. & Becker K., 2006, Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects if different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico, *Food Chem.*, **96**, 1, 80-89. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814605001603> Accessed 29 April 2015
 32. Nesseim T.D.T., Dieng A., Mergeai G., Ndiaye S. & Hornick J.-L., 2015, Digestibility of solvent-treated *Jatropha curcas* kernel by broiler chickens in Senegal, *Trop. Anim. Health Prod.*, **47**, 8, 1553-1590

33. Oladunjoye I.O., Ojediran T., Aringbangba C., Akinrinlade O.S. & Opakunle O.G., 2014, Effects of inclusion level and length of fermentation on the utilization of jatropha (*Jatropha curcas*) seed cake by broiler chickens, *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, **3**, 7, 44-54. <http://ijcmas.com/vol-3-7/I.O.Oladunjoye%20et%20al.pdf> Accessed 23 March 2015
34. Ojediran T.K., Adisa Y.A., Yusuf S.A. & Emiola I.A., 2014, Nutritional evaluation of processed *Jatropha curcas* kernel meals: effects on growth performance of broiler chicks, *J. Anim. Sci. Adv.*, **1**, 11, 1110-1121. <http://www.scopemed.org/?jft=72&ft=72-1416080773> Accessed 21 April 2015
35. Pasaribu T., Wina E., Tangendjaja B. & Iskandar S., 2009. Performance of broiler chicken fed physically and chemically treated jatropha (*Jatropha curcas*) seed meal. *Indonesian J. Anim. Vet. Sci.*, **14**, 1, 11-18. <http://medpub.litbang.pertanian.go.id/index.php/jitv/article/view/358> Accessed 6 April 2016
36. Sibbald, I.R., 1976, The true metabolizable energy values of several feedingstuffs measured with roosters, laying hens, turkeys and broiler hens, *Poultry Sci.*, **55**, 4, 1459-1463. <http://ps.oxfordjournals.org/content/55/4/1459.short> Accessed 21 April 2015
37. Sumiati A., Sudarman I.N., Hidayat I. & Santoso W.B., 2007, *Toksisitas racun bungkil biji jarak pagar (Jatropha curcas L.) pada ayam broiler (toxicity of Jatropha curcas L. mealtoxins in the broilers)*. Proceeding Seminar Nasional AINI VI. Bagian Nutrisid Makanan Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, Indonesia, 144-150 <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/36219> Accessed 5 May 2015
38. Temler R.S., Dormond C.A. & Finot P.A., 1983, Biological assessment of proteins from different sources by protein efficiency ratio (per) and by nitrogen retention, *Nutr. Rep. Int.*, **28**, 2, 267-276. <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=9355713> Accessed 23 March 2015
39. White C.E., Campbell D.R. & McDowell L.R., 2000, Effects of dry matter on trypsin inhibitors and urease activity in heat treated soya beans fed to weaned piglets. *Anim. Feed Sci. Tech.*, **87**, 1-2, 105-115. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840100001681> Accessed 23 March 2015
40. Zheng Y.I., Wiesenborn D.P., Tostenson K. & Kangas N., 2003, Screw pressing of whole and dehulled flaxseed for organic oil, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **80**, 10, 1039-2045. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11746-003-0817-7> Accessed 23 March 2015.

T.D.T. Nesseim, Senegalese, PhD Student, Assistant, University of Thies, National Superior School of Agriculture, Department of Animal Productions, Thies, Senegal.

A. Dieng, Senegalese, PhD, Professor, University of Thies, National Superior School of Agriculture, Department of Animal Productions, Thies, Senegal.

G. Mergeai, Belgian, PhD, Professor, University of Liege, Gembloux Agro-Bio Tech, Department of Tropical Crop Husbandry and Horticulture, Gembloux, Belgium.

J-L. Hornick, Belgian, PhD, Professor, University of Liege, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Productions, Liège, Belgium.

La dynamique spatiale de la forêt située dans la réserve naturelle forestière de Bururi au Burundi

F. Havyarimana^{1*}, T. Masharabu¹, J.K. Kouao², I. Bamba³, D. Nduwarugira¹, M.-J. Bigendako¹, P. Hakizimana¹, A. Mama⁴, F. Bangirina⁵, G. Banyankimbona¹, J. Bogaert⁶ & C. De canniere⁷

Keywords: Anthropogenic disturbance- Forest spatial dynamic- Satellite images- Socio-political instability- Burundi

Résumé

La forêt étudiée est une aire protégée située au sud du Burundi à proximité de la ville de Bururi et des villages agricoles. La protection effective de cette réserve forestière a débuté en 1980 mais l'aire protégée a été délimitée en 2000. L'objectif de cette étude est d'analyser la dynamique spatiale de cette forêt afin de vérifier si son statut de protection a limité les pressions anthropiques auxquelles elle était soumise avant sa protection. Les changements d'occupation du sol au sein de la réserve ont été analysés à l'aide de six images satellitaires multispectrales de type Landsat et des observations sur le terrain. L'analyse des changements d'aire et du périmètre de la forêt de Bururi montre que la dynamique de cette forêt comprend deux phases: la première est principalement caractérisée par la déforestation et la savanisation en bordure des zones agricoles mais également par la cicatrisation de son intérieur entre 1986 et 2001. La deuxième phase est caractérisée par l'augmentation de la superficie et du périmètre forestier suite à la transformation des zones antérieurement savanisées. La limitation de la pression anthropique liée notamment à la délimitation de l'aire protégée, la perturbation des activités agricoles suite à l'instabilité sociopolitique ainsi que l'augmentation du nombre de garde-forestiers, seraient à l'origine de l'augmentation de la superficie entre 2001 et 2011. L'implication des populations locales dans la protection de cette forêt pourrait limiter davantage la pression anthropique et favoriser ainsi la régénération des zones dégradées. Dans ce contexte, l'innovation des pratiques agropastorales dans les villages riverains de l'aire protégée pourrait également contribuer à limiter les perturbations anthropiques.

Summary

The Forest Spatial Dynamics in the Bururi Forest Nature Reserve, Burundi

The studied forest is a protected area located in Southern Burundi, close to Bururi city and to agricultural villages. The effective protection of this forest started in 1980 but the protected area delimitation occurred in 2000. The forest spatial dynamic is analyzed to assess the effectiveness of this protection status. The study combines six Landsat multispectral satellite images analysis with field observations. Forest area and perimeter analysis highlights its dynamic in two phases: the first one is mainly characterised by deforestation and savannah development around agricultural lands but also by forest regrowth processes between 1986 and 2001. The second phase (2001-2011) of the forest dynamic is characterized by the increase of its surface and perimeter following the transformation of savannah zones. The anthropogenic effect limitation linked to the protected area delimitation, agricultural activities disturbance during socio-political instability period and to the increasing number of forest-rangers, would have influenced the surface and perimeter gain between 2001 and 2011. Local population implication in forest protection could further limit human pressure and promote degraded zones regeneration. Thus, agropastoral practices innovation in neighboring villages of the protected zone could contribute to limit these anthropogenic disturbances.

¹Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Bujumbura, Burundi.

²Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales, Unité de Recherche en Ecologie et Biodiversité, Abidjan, Côte d'Ivoire.

³Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

⁴Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Cotonou, Bénin.

⁵Ecole Normale Supérieure, Bujumbura, Burundi.

⁶Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, Passage des Déportés, Gembloux, Belgique.

⁷Université Libre de Bruxelles, Ecole Interfacultaire de Bioingénieurs, Service d'Ecologie du Paysage et Systèmes de Production Végétale, Belgique.

*Auteur correspondant: Email: francois.havyarimana@ub.edu.bi; frhavyarimana@yahoo.fr

Introduction

L'intérêt accordé à la protection de l'environnement a depuis longtemps amené plusieurs pays à créer des aires protégées sur leurs territoires (44). La plupart d'entre elles se trouvent en zone tropicale (20). Cette politique de conservation est fondée notamment sur l'intérêt pour les générations actuelles et futures de conserver la biodiversité en raison de son patrimoine génétique (51) mais aussi son rôle dans l'alimentation, la santé, la résistance des écosystèmes en cas de perturbation, la régulation de l'équilibre physico-chimique de la biosphère, etc. (38, 67).

Même si la création d'aires protégées présente des avantages pour les populations locales notamment la création d'emplois ou le désenclavement suite à l'aménagement pour le tourisme, ces populations sont cependant condamnées à limiter ou à abandonner l'exploitation de tels espaces où elles vivent depuis plusieurs siècles (1). Cette politique entraîne ainsi des revendications foncières qui influencent significativement les rapports entre l'aire protégée et la population riveraine, qui la considère toujours comme son territoire traditionnel (59). Dans les pays moins développés, les agriculteurs estiment que cette politique de conservation les conduit à un état d'extrême pauvreté. La contribution de la superficie déforestée dans l'accroissement de la production agricole reste pourtant insignifiante (19). Définies par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) comme étant des zones strictement protégées (46), ces écosystèmes subissent cependant des pressions anthropiques qui s'exercent de la périphérie vers l'intérieur ou dans le sens inverse (65). En zone tropicale, le taux de déforestation serait paradoxalement plus élevé par rapport à celui des forêts soumises à une gestion communautaire (56). Plusieurs auteurs (17, 21, 22, 55) considèrent unanimement que dans un tel contexte, la recherche de nouvelles terres agricoles plus fertiles constitue l'une des causes majeures de la déforestation. En Afrique subsaharienne, 86% de la déforestation est attribué à l'agriculture, avec 54% de la superficie concernée qui est imputable à l'agriculture de subsistance, tandis que le reste revient à l'agriculture intensive (40). Des études réalisées dans certains pays de l'Afrique australe ont montré que la plupart des parcs nationaux et réserves forestières ont diminué de superficie alors qu'ils étaient supposés protégés (52, 61). A titre d'exemple, Green *et al.* (29) signalent une perte de 5% de forêts dense et 43% de forêts claires sur la chaîne de montagne de l'Est de la Tanzanie entre 1975 et 2000. En Ouganda, une perte de 25% de la forêt du Mont Elgo a été enregistrée entre 1973 et 2009 (54). Cette perte d'habitats naturels entraîne incontestablement l'érosion de la biodiversité surtout lorsque les écosystèmes concernés sont de petite superficie (6).

La plupart des Parcs et Réserves Forestières du Burundi sont de petites superficies et se trouvent dans une matrice anthropique où les zones agricoles constituent la classe d'occupation du sol la plus dominante. Selon les informations fournies par le Ministère en charge de l'environnement au Burundi en 2008, ces aires protégées sont en perpétuelle dégradation suite à la pression des populations locales dont les intérêts n'ont pas été pris en considération dans les systèmes de gestion (52). En plus, leur protection aurait été perturbée par l'instabilité sociopolitique survenue au Burundi en octobre 1993 (60). Ces écosystèmes abritent pourtant des espèces animales et végétales endémiques ou en voie de disparition (54). Selon le décret-loi du 25 janvier 2000 portant délimitation de la Réserve Naturelle Forestière de Bururi (RNFB), l'exploitation des terres autour de cette réserve n'est permise qu'à un rayon de 1 km au moins de sa limite. Cependant, cette limite est contiguë aux milieux agricoles et se trouve à quelques mètres seulement de la ville de Bururi. Les quelques références consultées divergent sur la superficie réelle de la forêt située dans cette réserve et ne précisent pas à quelle année elle a été évaluée. Nzigidahera (47) indique qu'elle a une superficie d'environ 2000 ha tandis que Kanyamibwa et Vande Weghe (35) lui attribuent une superficie de 1600 ha. La divergence entre les deux estimations pourrait s'expliquer par le processus de régénération forestière ou de déforestation survenu entre les deux dates d'évaluation. Compte tenu de la localisation de la réserve dans un paysage agropastoral, les activités anthropiques qui s'y déroulent et qui auraient été davantage influencées par l'instabilité sociopolitique, sont susceptibles de perturber les processus écologiques et de limiter ainsi la régénération forestière.

L'objectif global de cette étude est d'analyser la dynamique spatiale de la forêt de Bururi afin de vérifier si son statut de protection a limité les pressions anthropiques auxquelles elle était soumise avant sa protection. Ainsi, cette étude cherche à répondre à trois questions:

(i) La création de la RNFB aurait-elle entraîné l'augmentation de la superficie et du périmètre de la forêt suite à la régénération des zones antérieurement dégradées? Cette forêt jouit en effet d'un statut de protection depuis 1980 et une équipe de garde-forestiers a été mise en place pour lutter contre son exploitation illicite.

(ii) L'augmentation de l'aire et du périmètre de la forêt de Bururi seraient-elle principalement liée à la transformation des zones antérieurement savanisées? En effet, compte tenu de sa localisation dans un paysage agropastoral où les feux de brousse sont fréquents, un processus de savanisation de la forêt pourrait s'y être déroulé.

La protection de la forêt ainsi que la perturbation des activités agricoles suite à l'instabilité sociopolitique pourraient alors limiter cette pression anthropique et favoriser plutôt un processus de succession forestière.

(iii) Dans ces conditions, quel processus de transformation spatiale caractérise la dynamique forestière?

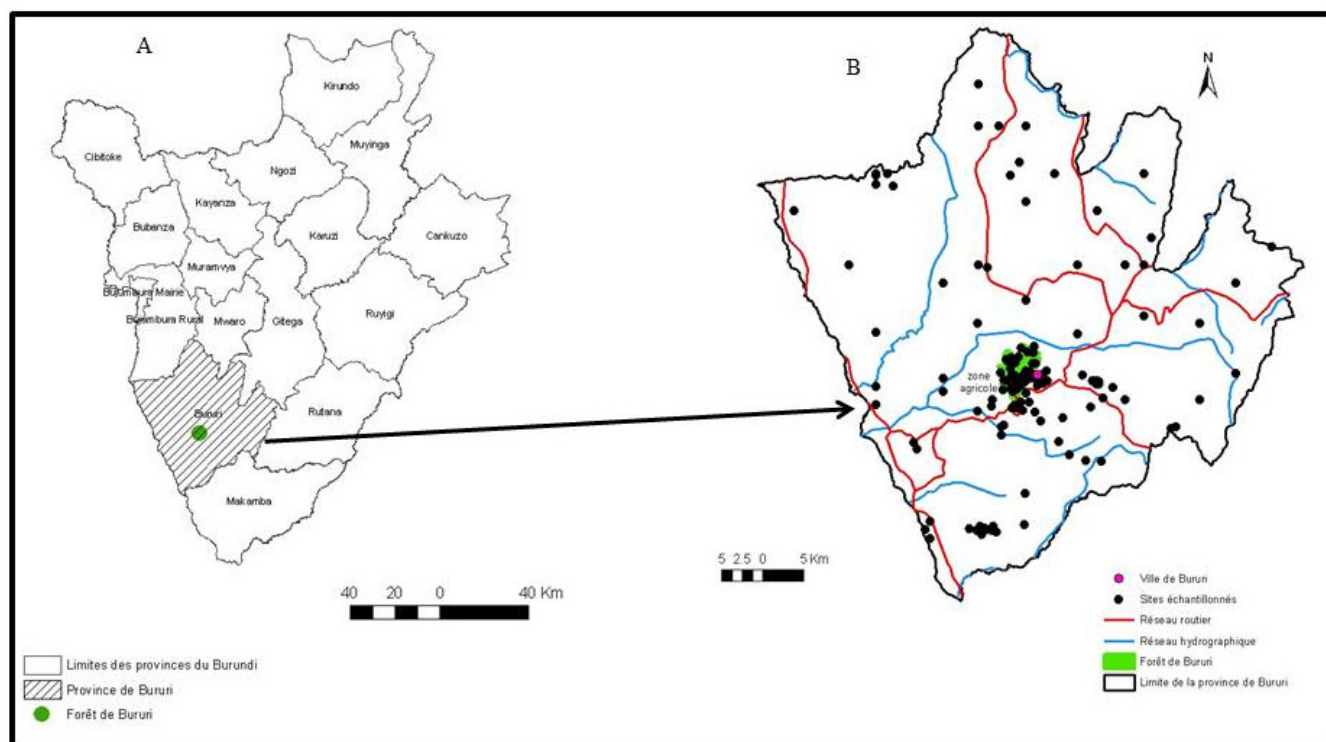
Matériau et méthodes

Description du site d'étude

La forêt étudiée est une aire protégée située au sud du Burundi dans la province de Bururi. Elle est située à une altitude variant entre 1600 m et 2300 m. Sur la façade Ouest, la forêt commence à environ 1600 m d'altitude tandis qu'elle commence à plus ou moins 1950 m à la façade Est. Elle est située à moins de 200 m de la ville de Bururi (Figure 1). C'est une forêt dense dont les espèces d'arbres caractéristiques sont notamment *Entandrophragma excelsum* (Dawe & Sprague) Sprague, *Chrysophyllum gorungosanum* Engl., *Symphonia globulifera* L.f., *Tabernaemontana johnstonii* Stem Bark, *Myrianthus holstii* Engl, etc. (47). Certains arbres ont une hauteur de plus de 30 m et un diamètre pouvant dépasser 190 cm (31). Selon les données climatologiques fournies par l'Institut Géographique du Burundi, le climat qui règne dans cette région est du type CW₃ selon la classification de Köppen. Les sols sont principalement des ferrisols lourds et des ferrisols humifères argileux (57).

Les premières démarches de protection de cette forêt datent de l'époque coloniale et visaient la protection des sols contre l'érosion et la conservation de la faune (45). Sa protection effective a débuté en 1980 avec la promulgation du décret-loi n° 100/47 du 3 mars 1980 portant création et organisation de l'Institut National pour la Conservation de la Nature (INCN) et du décret-loi n° 1/6 du 3 mars 1980 portant création des Parcs Nationaux et des Réserves Naturelles au Burundi. Même si cette forêt jouissait du statut d'aire protégée, la délimitation effective de la RNFB a été définie par le décret-loi n° 100/007 du 25 janvier 2000.

Cette forêt a été choisie pour différentes raisons concernant la biodiversité et les services écosystémiques. Elle contient en effet des espèces animales ou végétales menacées de disparition au Burundi (44) mais également endémiques de la région du Rift Albertin (54). En plus, cette forêt alimente en eau la ville de Bururi et les villages environnants. Étant une forêt de montagne, elle assure également la protection des sols contre l'érosion et limite les crues des rivières en aval. Par ces multiples fonctions, elle constitue un élément important dans ce paysage et sa dynamique spatiale mérite par conséquent d'être analysée.



(A) Localisation de la province de Bururi et de la forêt de Bururi dans la carte administrative du Burundi.

(B) Localisation de la forêt de Bururi, de la ville de Bururi et des sites d'échantillonnage dans la carte de la province de Bururi.

Figure 1: Localisation de la forêt de Bururi.

Choix des images satellitaires

Le choix des images satellitaires permettant de détecter les changements d'occupation du sol constitue une étape fondamentale (36). Ces images doivent être prises aux dates similaires pour minimiser les effets saisonniers (63). Dans cette étude, les images utilisées ont été prises au cours de la même saison (sèche) pour minimiser cette influence saisonnière. Les images prises pendant la saison sèche permettent en effet d'avoir un maximum de contraste entre les éléments du paysage et la disponibilité des données devient par conséquent maximale du fait de la faible nébulosité (48). L'évolution de l'aire et du périmètre de la forêt de Bururi a été analysée à l'aide de six images satellitaires multispectrales de type Landsat dont la résolution spatiale est de 30 m. Parmi ces images, trois ont été prises avant la délimitation officielle de la RNFB tandis que les trois autres ont été prises après. Celles prises avant la délimitation sont des images TM (*Thematic Mapper*) qui datent respectivement du 12 juillet 1986, 27 août 1991 et 3 août 1994. Les images prises après la délimitation de la RNFB sont de type ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper plus*) et TM. Leurs dates d'acquisition sont respectivement le 1 octobre 2001 (ETM+), 31 août 2007 (ETM+) et 1 juillet 2011 (TM). La zone couverte par ces images comprend les provinces de Makamba, Rutana et une partie de la province de Bururi contenant cette forêt.

Collecte des données de terrain

Lors des travaux de terrain, les types d'occupation du sol observés ont été notés. Au total, 771 points ont été relevés dans des zones homogènes à l'aide d'un GPS (Garmin, précision de 7 m) au cours des années 2010, 2011 et 2012. Le nombre de points relevés dans les différentes classes d'occupation du sol était variable mais dépendait surtout de la superficie de chaque classe. Ainsi, 276 points ont été échantillonnés en zones agricoles, 118 en forêt, 316 en savanes-prairies et 61 points en plantations, soit en moyenne 1 point sur une superficie de 6,5 km². Nous avons également mené une enquête non structurée sur l'histoire de l'occupation du sol auprès de la population locale. Il était question de savoir approximativement depuis quand la classe d'occupation du sol observée existe à cet endroit en se référant à l'âge de la personne interrogée. Dans le cas où la classe était récente, il s'agissait de déterminer la classe qui existait avant elle. Seules les personnes ayant un âge permettant de connaître l'occupation du sol de 1986 ont été interrogées. Nous tenons à préciser que les réponses données par toutes les personnes interrogées à propos de l'histoire de l'occupation du sol n'étaient pas divergentes.

Prétraitement et classification des images satellitaires

La composition colorée de toutes ces images a été effectuée en associant les bandes spectrales 4 (proche infra rouge), 3 (rouge) et 2 (vert). Ces bandes sont en effet appropriées dans l'étude de la dynamique de la végétation étant donné que cette dernière réfléchit très fortement le rayonnement proche infrarouge (28, 39). La classification supervisée de toutes ces images a été réalisée en utilisant l'algorithme du maximum de vraisemblance à l'aide du logiciel ENVI. Globalement, ce type de classification consiste à définir au préalable les classes thématiques qu'on souhaite extraire de l'image satellitaire. On identifie ensuite quelques zones de l'image occupées, sans ambiguïté, par les classes d'intérêt. Par après, les pixels sont affectés à la classe qui correspond le mieux à ses caractéristiques spectrales (15).

En se basant sur l'ancienne carte d'occupation du sol du Burundi (1:50000) établie par l'Institut Géographique du Burundi et l'Institut Géographique de France en 1982, quatre classes d'occupation du sol ont été retenues. Il s'agit des forêts, savanes-prairies, plantations (canne à sucre, palmiers, Eucalyptus,...) et zones agricoles (champs, jachères, habitations et sols nus). Cette classification a été retenue car elle s'inspire de celle réalisée par Mayaux *et al.* (43) sur toute l'Afrique. L'utilisation des points de terrain relevés à l'aide d'un GPS (Garmin, précision de 7 m) dans le choix des zones d'entraînement a permis de discriminer les formations herbeuses naturelles des zones agricoles. Le logiciel ENVI 4.3 que nous avons utilisé pour classer les images permet en effet de retrouver ces points de terrain sur les images en composition colorée, ce qui a permis de localiser les différentes classes mais aussi de distinguer les pixels des formations herbeuses et ceux des zones agricoles. Après avoir classé l'image de 2011 dont les classes d'occupation du sol étaient encore vérifiables sur le terrain, il a été possible de reconstituer l'occupation du sol des années antérieures (1986, 1991, 1994, 2001 et 2007) en réutilisant les mêmes zones d'entraînement (48). Il convient cependant de signaler que seuls les pixels dont l'occupation du sol n'avait pas changé ont été considérés. Ces pixels ont été déterminés en s'inspirant des informations livrées par les personnes enquêtées mais aussi en comparant visuellement leur réflectance en 2011 et celle observée sur les images des années antérieures.

Validation de la classification des images satellitaires

Pour valider la classification réalisée, deux indices issus de la matrice de confusion à savoir la précision globale (*PG*) et le coefficient de Kappa (*K*) ont été utilisés en se basant sur des valeurs de référence. Les valeurs du coefficient de Kappa varient en effet de 0 à 1.

La valeur 0 n'indique aucun gain par rapport à une classification aléatoire tandis que la valeur 1 indique une classification parfaite (18, 68). Selon Fitzgerald et Lees (25), une valeur du coefficient de Kappa inférieure à 0,40 indique une mauvaise classification. Une valeur comprise entre 0,40 et 0,75 est jugée acceptable tandis qu'elle est excellente si la valeur est supérieure à 0,75. Les valeurs de PG et de K ont été calculées en utilisant respectivement les équations (I) et (II).

$$PG = \frac{\sum m(i, i)}{T_{\text{classés}}} \quad (I)$$

$$K = \frac{(T_{\text{classés}}) \sum m(i, i) - \sum [m(i, +) \cdot m(+, i)]}{T_{\text{classés}}^2 - \sum [m(i, +) \cdot m(+, i)]} \quad (II)$$

où $m(i, i)$ est le nombre de pixels de la classe i correctement classés, $T_{\text{classés}}$ le nombre total des pixels classés en considérant toutes les classes, $m(i, +)$ la valeur marginale de la ligne i dans la matrice de confusion c'est-à-dire la somme de la ligne et $m(+, i)$ le total des pixels devant appartenir à la classe i (15).

Traitement cartographique et extraction des données numériques

Les images classées ont été vectorisées en utilisant le module conversion tools du logiciel ArcGIS 9.3. Ce logiciel a également été utilisé pour calculer l'aire et le périmètre des différentes taches qu'on retrouve dans le paysage dont la forêt de Bururi. Ensuite, l'extraction du polygone correspondant à cette forêt a été réalisée à partir des cartes d'occupation du sol dérivées d'images satellitaires. L'aire et le périmètre de la forêt correspondant à chaque date ont été transformés en valeurs relatives en les divisant respectivement par l'aire et le périmètre maximal observés entre 1986 et 2011. Cette transformation a été réalisée pour avoir la même échelle sur le graphique qui montre leur évolution. Il convient de préciser que le paysage est ici considéré comme une portion du territoire composée d'ensembles d'écosystèmes en interaction tandis qu'une tache constitue un élément paysager (14, 26).

Analyse de la dynamique des classes d'occupation du sol dans l'empreinte forestière

Pour analyser la dynamique spatiale de la Forêt de Bururi, nous avons d'abord déterminé l'empreinte forestière c'est-à-dire la zone qui a été occupée par la forêt au moins à l'une des six dates considérées (1986, 1991, 1994, 2001, 2007, 2011). En d'autres termes, pour déterminer l'empreinte forestière, nous avons considéré tous les pixels qui ont été observés au moins une fois forestier.

Pour cela, les six polygones correspondant à la tache forestière aux 6 dates ont été fusionnées (à l'aide du module data management tools de ArcGIS 9.3) et l'aire du polygone résultant a été déterminée. Ce dernier qui correspond à l'empreinte forestière, a été ensuite utilisé pour extraire la zone contenant la forêt de Bururi à partir de chacune des six cartes d'occupation du sol dérivées d'images satellitaires. La zone extraite comprend la forêt de Bururi mais aussi d'autres classes d'occupation du sol résultant de sa transformation. Superposées deux à deux à l'aide du logiciel ArcGIS 9.3, ces zones ont permis de détecter les changements d'occupation du sol et la conversion des différentes classes au sein de l'empreinte forestière. Les matrices de transition qui en résultent ont été par la suite utilisées pour analyser la dynamique de la forêt au cours du temps. Afin d'analyser l'influence du statut de protection sur la dynamique spatiale de cette forêt, le rapport en pourcentage entre l'aire de la zone forestière non transformée et l'aire de la forêt de l'année précédemment étudiée a été calculé. La stabilité de la forêt est indiquée par la proportion de la forêt qui n'a pas été convertie en d'autres classes d'occupation du sol. Cette proportion est déterminée par rapport à l'aire totale de l'empreinte forestière. Le taux de déforestation annuel (y) exprimé en pourcentage a été défini comme étant la proportion de la forêt transformée en classes anthropiques (zones agricoles et plantations). Il a été calculé à l'aide de l'équation III.

$$y = \frac{100n}{N(t_2 - t_1)} \quad (III)$$

où n représente l'aire de la forêt convertie en classes anthropiques entre deux dates t_1 et t_2 et N étant l'aire de la forêt à la date t_1 .

Analyse des processus de transformation spatiale

L'analyse de la dynamique de la forêt de Bururi a été également réalisée en identifiant les processus de transformation spatiale associés à la dynamique des classes d'occupation du sol dans l'empreinte forestière. L'arbre de décision dichotomique de Bogaert *et al.* (6) a été utilisé pour identifier les processus de transformation spatiale sur la base de l'analyse de l'évolution de l'aire, du périmètre et du nombre de taches des différentes classes d'occupation du sol entre deux dates considérées.

Résultats

Evaluation de la qualité de la classification des images satellitaires

Pour les six images traitées, la valeur de la précision globale est comprise entre 77% et 95% tandis que celle du coefficient de Kappa est comprise entre 0,74 et 0,94. Même si la classification peut être considérée comme très bonne de manière générale pour les six images utilisées, les plus récentes ont été les mieux classées par rapport aux plus anciennes si on tient compte de la valeur du coefficient de Kappa. Le nombre de pixels correctement classés dépasse en moyenne 80% pour toutes les classes d'occupation du sol (Tableau 1).

Les erreurs de commission et d'omission observées pour les différentes classes et pour toutes les images sont inférieures à 50%, ce qui indique que la classification réalisée est acceptable.

Evolution de l'aire et du périmètre de la forêt de Bururi

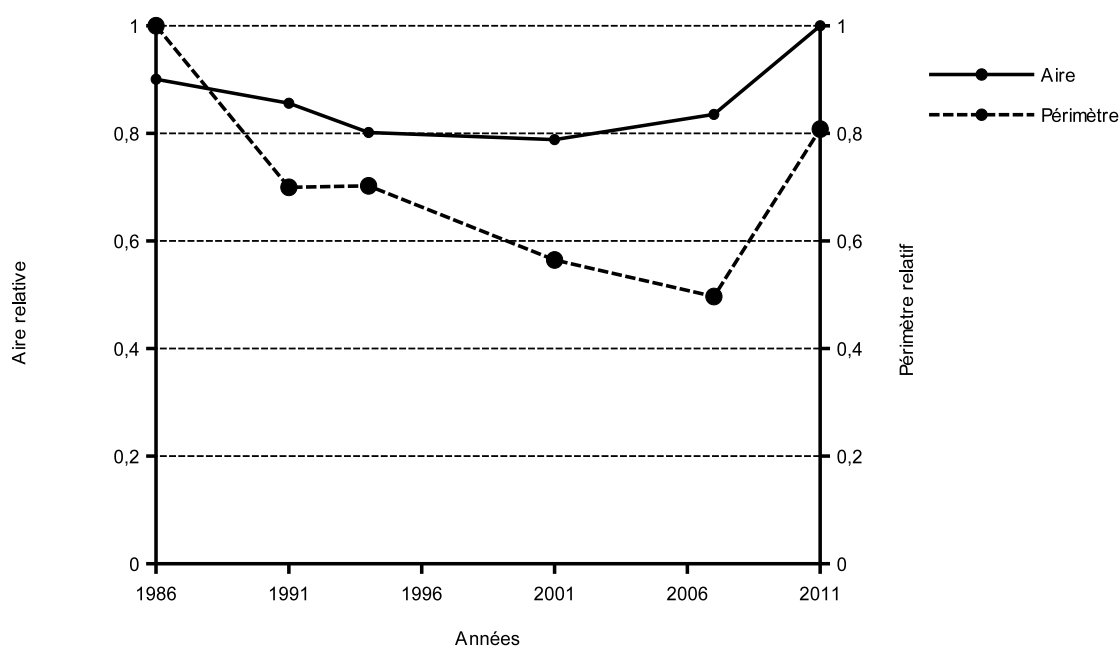
La zone qui a été occupée par la forêt de Bururi entre 1986 et 2011 c'est-à-dire l'empreinte forestière s'étend sur 2362 ha. Cependant, pour chacune des six années d'étude, la forêt n'a jamais occupé toute cette superficie. La plus grande superficie est observée en 2011 (1974 ha) tandis que la plus petite (1556 ha) s'observe en 2001 (Figure 2). L'analyse de l'évolution de la superficie forestière au cours du temps montre qu'elle a subi une diminution progressive de 1986 à 2001.

Tableau 1

Pourcentage de pixels correctement classés pour les 4 classes d'occupation du sol en utilisant l'algorithme du maximum de vraisemblance.

Classes	Dates d'acquisition des images satellitaires					
	1986	1991	1994	2001	2007	2011
ZA	82,95	96,13	97,01	99,94	99,77	100,00
FO	87,15	89,33	95,49	91,78	95,22	95,63
SP	59,44	91,15	96,68	97,11	96,54	99,67
PL	83,05	82,24	84,37	92,64	81,41	88,90
PG	77,33	87,96	92,17	94,52	91,43	94,68
K	0,74	0,87	0,93	0,95	0,95	0,94

Pour chaque classe, ce pourcentage est calculé par rapport au total de pixels de cette classe. ZA: zones agricoles, FO: forêts, SP: savanes-prairies, PL: plantations, PG: précision globale, K: coefficient de Kappa.



L'aire maximale de la forêt est de 1974,96 ha (en 2011) et le périmètre maximal est de 115,48 km (en 1986). L'aire relative est le rapport entre l'aire de la forêt à une date donnée et l'aire maximale observée entre 1986 et 2011. Le périmètre relatif est le rapport entre le périmètre de la forêt à une date donnée et le périmètre maximal observé entre 1986 et 2011. L'aire et le périmètre ont été obtenus à partir de 6 images satellitaires.

Figure 2: Evolution de l'aire relative et du périmètre relatif de la forêt de Bururi entre 1986 et 2011 (Burundi).

La diminution la plus faible s'observe entre 1994 et 2001, période caractérisée par l'instabilité sociopolitique au Burundi. L'augmentation de sa superficie est observée entre 2001 et 2011. Cette augmentation est la plus élevée entre 2007 et 2011. L'analyse de l'évolution du périmètre de la forêt indique qu'il a diminué progressivement de 1986 à 2007 malgré une légère augmentation en 1994. Il importe de souligner que sa valeur maximale s'observe en 2011 c'est-à-dire onze ans après la délimitation effective de la Réserve et huit ans après la fin de l'instabilité sociopolitique.

La dynamique spatiale de la forêt entre 1986 et 2011

L'analyse des matrices de transition (Tableau 2) montre que la stabilité de la forêt est plus élevée entre 2007 et 2011 tandis qu'elle est plus faible entre 1986 et 1991. La zone forestière qui n'a pas été convertie en d'autres classes représente en effet 58% de l'aire totale de l'empreinte forestière entre 1986 et 1991 tandis qu'elle atteint 67% entre 2007 et 2011. La fraction de la forêt convertie en savanes-prairies a globalement diminué au cours du temps. Elle représente 15,8% de la superficie forestière entre 1986 et 1991.

Par rapport à toute l'empreinte forestière, cette fraction représente 11,9%. Par contre, cette conversion en savanes-prairies est passée à 3,2% de l'aire totale de l'empreinte forestière entre 2007 et 2011.

La transformation de la forêt en zones agricoles et plantations est plus importante entre 1986 et 1991. Au cours de cette période, le taux de déforestation annuel est de 1,47%. Ce taux passe de 0,77% entre 1991 et 1994 à 0,26% entre 2007 et 2011.

La conversion des savanes-prairies en forêts est également observée. La stabilité des savanes-prairies est plus faible entre 2007 et 2011. La fraction de cette classe convertie en forêt est passée de 11,43% de l'aire totale de l'empreinte forestière entre 1986 et 1991 à 15,66% entre 2007 et 2011. C'est entre 1991 et 1994 que la conversion des savanes-prairies en forêts est la plus faible (3,41%).

Quant aux plantations, leur superficie a augmenté au cours de la période d'étude. L'aire totale des plantations est passée de 1,26% de l'aire totale de l'empreinte forestière en 1986 à 5,61% en 2011. Entre 2007 et 2011, la fraction des plantations résultant de la conversion de la forêt et des savanes-prairies représente environ 82% de l'aire totale des plantations en 2011.

L'analyse comparative des cartes d'occupation du sol de toute l'empreinte forestière montre cependant la persistance d'une pression anthropique centripète à partir de la périphérie de la forêt. En plus, la façade Ouest proche des milieux agricoles semble plus anthropisée que la façade Est, proche de la ville de Bururi (Figure 3).

Entre 1986 et 1991, la cicatrisation de l'intérieur de la forêt ainsi que la savanisation et la déforestation de sa périphérie sont observées. Bien que la périphérie de la forêt montre globalement une tendance à la régénération à partir de 1994, le sud de la forêt est par contre caractérisé par la progression des milieux agricoles entre 1994 et 2001, suivi par leur transformation en plantations entre 2001 et 2011. En somme, la dynamique spatiale de cette forêt comprend deux phases: la première entre 1986 et 2001 est caractérisée par la déforestation et la savanisation de la zone située surtout en bordure des milieux agricoles mais également par la cicatrisation de son intérieur. La seconde observée entre 2001 et 2011 est caractérisée par l'augmentation de sa superficie et de son périmètre suite à la transformation des zones antérieurement savanisées.

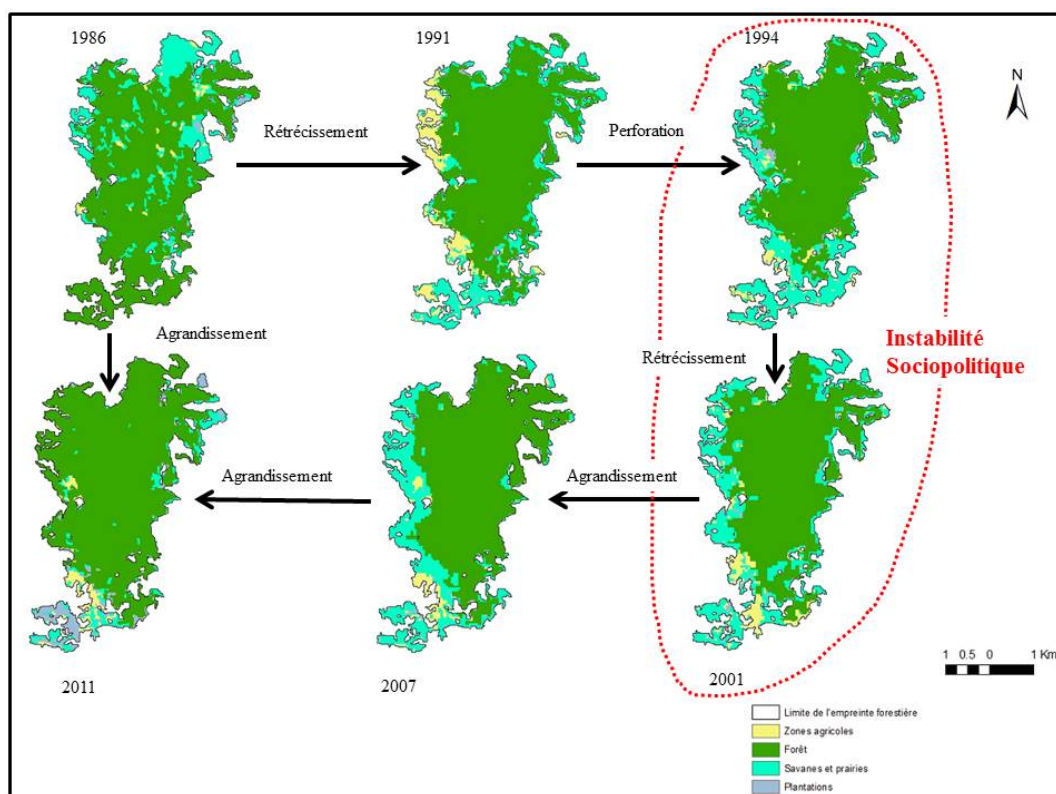
Analyse des processus de transformation spatiale

L'analyse des processus de transformation spatiale montre que cette forêt est constituée d'une seule tache durant toute la période d'étude. Cette tache a d'abord subi un processus de rétrécissement entre 1986 et 1991, qui a été suivi par un processus de perforation entre 1991 et 1994. Pendant la période d'instabilité sociopolitique (1994-2001), la tache forestière est ensuite caractérisée par un processus de rétrécissement. Ces processus de rétrécissement et de perforation ont entraîné la diminution de sa superficie entre 1986 et 2001. Entre 2001 et 2011, un processus d'agrandissement est observé (Figure 3).

Tableau 2
Matrices de transition décrivant les
changements d'occupation du sol dans la forêt
de Bururi entre 1986 et 2011.

		Année 1991				
	Classe	ZA	SP	FO	PL	Total
Année 1986	ZA	0,21	0,53	1,38	0,03	2,15
	SP	3,45	6,11	11,43	0,32	21,31
	FO	4,62	11,90	57,84	0,91	75,27
	PL	0,04	0,72	0,43	0,06	1,26
	Total	8,33	19,26	71,08	1,33	100,00
		Année 1994				
Année 1991	ZA	0,98	6,60	0,32	0,43	8,33
	SP	2,63	12,75	3,41	0,47	19,26
	FO	0,66	6,44	63,10	0,99	71,08
	PL	0,20	0,87	0,18	0,09	1,33
	Total	4,46	26,66	67,00	1,87	100,00
		Année 2001				
Année 1994	ZA	0,84	2,85	0,62	0,14	4,46
	SP	3,98	16,32	5,56	0,80	26,66
	FO	0,38	7,22	59,16	0,24	67,00
	PL	0,29	0,94	0,55	0,09	1,87
	Total	5,49	27,34	65,89	1,27	100,00
		Année 2007				
Année 2001	ZA	1,19	3,70	0,44	0,17	5,49
	SP	2,19	16,71	7,62	0,83	27,34
	FO	0,22	4,04	61,34	0,30	65,89
	PL	0,16	0,80	0,22	0,09	1,27
	Total	3,75	25,25	69,62	1,38	100,00
		Année 2011				
Année 2007	ZA	2,00	0,60	0,68	0,46	3,75
	SP	1,18	4,45	15,66	3,96	25,25
	FO	0,09	2,26	66,64	0,63	69,62
	PL	0,06	0,16	0,61	0,55	1,38
	Total	3,33	7,47	83,59	5,61	100,00

ZA: zones agricoles, FO: forêts, SP: savanes-prairies, PL: plantations. Les valeurs en gras représentent la fraction de l'empreinte forestière qui n'a pas été transformée entre deux dates considérées.



Les plages blanches sont des zones non forestières qui n'ont pas été converties en forêt entre 1986 et 2011. Les zones agricoles sont des champs, jachères, habitations ou sols nus. Entre 1986 et 2011, la tache forestière est globalement caractérisée par un processus d'agrandissement. Ce processus se manifeste après l'instabilité sociopolitique.

Figure 3: Dynamique de l'occupation du sol et processus de transformation spatiale dans la forêt de Bururi entre 1986 et 2011 (Burundi).

Discussion

Classification des images satellitaires

L'analyse de la dynamique spatiale de la forêt de Bururi sur la base des images satellitaires constitue l'objectif de cette étude. Dans une étude de détection des changements d'occupation du sol comme celle-ci, il est important que les images utilisées présentent des caractéristiques les plus homogènes possibles pour que les différences résultant de leur comparaison, soient attribuées à de réels changements du territoire et non à des artefacts liés à ces images (64). Même si la réflectance des objets peut varier d'un capteur à l'autre (3, 49), l'utilisation des images TM et ETM+ dans notre étude pourrait ne pas entacher significativement les résultats obtenus. Une étude de comparaison des réflectances dans les bandes homologues a montré en effet que les deux capteurs fournissent des données similaires si les images sont prises au-dessus d'un même site (3). Il importe de signaler cependant que même si l'analyse par télédétection permet de quantifier les changements d'occupation du sol, les causes sous-jacentes ne peuvent s'expliquer qu'à partir de données socio-économiques, culturelles et historiques (37, 66). C'est la raison pour laquelle le contexte sociopolitique a été mis en avant pour expliquer les causes de la dynamique de cet écosystème.

Les coefficients de Kappa obtenus pour les six images utilisées varient entre 74 et 94%, ce qui indique que la classification réalisée est acceptable si on tient compte des valeurs de références proposées par Fitzgerald et Lees (25). Il convient de signaler en outre que les valeurs du coefficient de Kappa obtenues dans notre étude sont similaires à celles considérées dans d'autres études pour valider la classification (4, 24, 58, 62). Les quelques erreurs de confusions observées seraient dues à la configuration spatiale des classes (42). Certaines petites parcelles agricoles sont en effet mélangées aux autres classes d'occupation du sol, et les cultures restent mêlées aux arbres dans le système d'abattis-brûlis observé dans notre zone d'étude (19). Cet agencement spatial pourrait conférer à ces parcelles agricoles des propriétés spectrales proches de celles de la végétation naturelle environnante (42) et pourrait ainsi être à l'origine de ces erreurs de confusions observées.

Dynamique de la forêt de Bururi et processus de transformation spatiale

Depuis la création de la RNFB, la forêt de Bururi a d'abord subi une diminution de sa superficie malgré son statut d'aire protégée. Cette diminution pourrait être attribuée au fait que la zone protégée n'était pas matériellement délimitée.

Le décret-loi portant délimitation effective de cette Réserve forestière a en effet été promulgué en 2000 alors que la forêt était supposée protégée depuis 1980. Le taux de déforestation annuel observé avant la délimitation de cette réserve forestière est supérieur à celui des forêts de l'Afrique de l'Est (Ouganda, Kenya, Tanzanie, Rwanda, Burundi) qui est de 0,8% (53). Il est également plus élevé par rapport au taux moyen de déforestation des forêts africaines estimé à 0,4% (30). La reforestation par des espèces exotiques (*Pinus*, *Eucalyptus*, ...) observée dans notre zone d'étude a également été signalée dans d'autres forêts du Burundi notamment à Kigwena et dans la Kibira. L'étendue de ces plantations et leur dynamique spatiale sont cependant peu connues, ce qui limite la comparaison des taux de reforestation à l'échelle nationale. Il convient de signaler que le taux de reforestation dans la forêt de Bururi est plus de deux fois plus élevé que la moyenne du continent africain (2,3%) mais reste inférieur à la moyenne mondiale (6,6 %) (23).

Les facteurs susceptibles d'influencer significativement la déforestation sont multiples et complexes (53). L'accessibilité à la forêt constitue l'un des facteurs majeurs (7). La topographie, la distance ou le temps nécessaire pour accéder à la forêt sont autant de variables permettant d'évaluer l'impact de l'accessibilité (34). La localisation de la forêt de Bururi dans un paysage anthropisé, à proximité de la ville et des habitations des agri-éleveurs, aurait fortement contribué à la diminution de sa superficie. Plusieurs auteurs (7, 19, 59) estiment en effet que la pression urbaine contribue significativement à l'altération du milieu naturel périurbain en zone tropicale (Ex. Parc National de Banco, Abidjan, Côte d'Ivoire). L'anthropisation de cette forêt est accentuée par l'absence de zone tampon dans laquelle la population locale pourrait prélever certaines ressources nécessaires (32). Le fait que la façade Ouest qui est en contact direct avec les agri-éleveurs semble plus anthropisée que la façade Est qui est proche de la ville, indique que la recherche des terres agricoles serait le facteur majeur influençant la déforestation de cet écosystème. Ce constat confirme l'idée selon laquelle l'agriculture constitue l'une des causes majeures de la déforestation en Afrique tropicale (7, 12). Il convient de souligner cependant que la localisation du bureau du responsable forestier juste à la lisière forestière Est pourrait également expliquer la différence d'anthropisation observée entre les deux façades. L'extension des parcelles agricoles situées à la lisière forestière, la culture à l'intérieur des forêts (pour s'échapper à la surveillance des gardes forestiers), les feux et la coupe du bois sont signalés comme étant les principales menaces des forêts tropicales (50).

Ainsi, le processus de perforation observé dans cette forêt serait dû à la culture en forêt mais aussi à la coupe du bois précieux (*Entandrophragma* par exemple). Par contre, les feux de brousse et l'extension des parcelles agricoles situées juste à la bordure de cette forêt auraient entraîné le rétrécissement de la tache forestière entre 1986 et 2001. D'origine anthropique, ces processus sont connus comme étant caractéristiques de la transformation spatiale des taches naturelles (7). Le brûlage des résidus agricoles sous prétexte que les cendres qui en résultent enrichissent le sol, accentue le risque des feux accidentels dans un tel milieu où la forêt et les champs sont contigus. Il pourrait par conséquent être à l'origine du processus de savanisation de la périphérie de la forêt observé entre 1986 et 2001. Certaines espèces savanicoles résistantes au feu comme *Parinari curatellifolia*, *Hyparrhenia* sp et *Psorospermum febrifugum* (41) ont été en effet observées lors de nos travaux de terrain. Les savanes observées dans la forêt de Bururi sont également signalées dans la forêt de Nyungwe au Rwanda (5). Ces derniers auteurs soulignent que de telles savanes sont généralement moins fréquentes. Cette caractéristique commune est expliquée par le fait que les deux forêts résulteraient de la fragmentation d'une même forêt qui occupait toute la crête Congo-Nil (14).

La phase d'augmentation de la superficie de la forêt entre 2001 et 2011 résulte principalement de la conversion des savanes-prairies. Cette évolution positive a également été constatée par Bangirina et al. (2) dans leur étude sur la caractérisation du processus de la succession écologique au Burundi. Ces derniers auteurs indiquent en effet que les zones anciennement perturbées de la forêt de Bururi affichent une tendance vers la reconstitution de la forêt initiale. Une telle dynamique traduit normalement la diminution de la pression anthropique (33). Dans un tel paysage où l'on observe une forte croissance démographique mais aussi où plus de 90 % de la population sont des agriculteurs, la diminution de la pression anthropique paraît cependant constituer un paradoxe. D'une part, le décret-loi de la délimitation de cette réserve forestière promulgué en 2000 pourrait limiter la pression anthropique et favoriser ainsi la régénération forestière. L'augmentation du nombre de garde-forestiers aurait également contribué à la diminution de la pression anthropique. D'autre part, la perturbation des activités agricoles en période d'instabilité sociopolitique (16) aurait limité la pression anthropique dans certaines zones de la forêt. La régénération de la végétation dans ces zones moins perturbées aurait entraîné plus tard (après l'instabilité) l'augmentation de la superficie forestière.

Cela ne veut pas signifier cependant que l'instabilité sociopolitique n'a pas eu d'impact négatif sur la protection de la forêt car l'on observe un taux de déforestation élevé entre 1991 et 1994 et un rétrécissement de la tache forestière en 2001. La faible stabilité des savanes-prairies observée en 2011 n'est donc pas le résultat d'une pression anthropique mais traduit plutôt un processus de succession écologique. Elle est en effet observée au même moment que l'agrandissement de la tache forestière. D'autres études ont également abouti à la même conclusion que le processus de savanisation peut être réversible une fois que la pression anthropique est limitée (27).

Conclusion

Cette étude montre que la dynamique spatiale de la forêt située dans la Réserve Naturelle Forestière de Bururi comprend deux phases: la première est principalement caractérisée par la déforestation et la savanisation de la zone située surtout en bordure des milieux agricoles mais également par la cicatrization de son intérieur entre 1986 et 2001, notamment en raison de l'instabilité sociopolitique survenue au Burundi en 1993.

La deuxième phase est caractérisée par l'augmentation de sa superficie et de son périmètre suite à la transformation des zones antérieurement savanisées. Cette dynamique successione est survenue entre 2001 et 2011 après la délimitation effective de cette Réserve Naturelle qui aurait limité la pression anthropique de la ville de Bururi et des villages agricoles environnants. Le statut d'aire protégée a donc contribué à la protection de cet écosystème bien que des perturbations anthropiques persistent. A cet égard, l'implication des populations locales dans la protection de cette forêt, notamment les agri-éleveurs, pourrait limiter les feux de brousse et favoriser davantage la dynamique successione des zones dégradées.

Remerciements

Les auteurs remercient le Gouvernement du Burundi, l'Université Libre de Bruxelles à travers le Bureau des Relations Internationales et de la Coopération, l'ARES-CCD ainsi que l'Université de Liège pour leur soutien financier

Références bibliographiques

1. Aubert S., Rambintsaoatra S. & Razafarijaona J., 2013, L'insécurité foncière dans et autour des aires protégées de Madagascar: un obstacle à surmonter pour la conservation de la biodiversité et le développement rural, *Dév. Durable Territ.*, **4**, 1, 1-19.
2. Bangirina F., Bigendako M.J., Lejoly J., Noret N., De Cannière C. & Bogaert J., 2010, Définition d'indices successionnels pour la caractérisation du processus de la succession post-culturelle au Burundi, *Bois Forêts Tropiques*, **305**, 3, 57-66.
3. Bannari A., Teillet P.M. & Landry R., 2004, Comparaison des réflectances de surfaces naturelles dans les bandes spectrales homologues des capteurs TM de Landsat-5 et TM+ de Landsat-7, *Télédétection*, **4**, 3, 263-275.
4. Bianchi C.A. & Haig S.M., 2012, Deforestation trends of tropical dry forests in Central Brazil, *Biotropica*, **45**, 3, 395-400.
5. Bizuru E., Niyigaba P. & Mujawamariya M., 2014, Phytosociological study of Nyungwe montane savannahs, *J. Nat. Sci. Res.*, **4**, 9, 67-78.
6. Blankespoor B., Dasgupta S. & Wheeler D., 2014, *Protected areas and deforestation. New results from high resolution panel data. Policy Research Working*, 7091, 1-30.
7. Bogaert J., Bamba I., Kabulu J.P., Koffi K.J., De Cannière C., Visser M. & Sibomana S., 2008, *Fragmentation of Forest Landscapes in central Africa: causes, consequences and management*. In: [Patterns and Processes in Forest Landscapes: Multiple Use and Sustainable Management]. Laforteza, R., Chen, J., Sanesi, G., Crow, Th. R. (Eds.), 67-87. Springer, Verlag, New York, 425 p.
8. Bogaert J., Barima Y.S.S., Ji J., Jiang, H., Bamba I., Iyongo Waya Mongo L., Mama A., Nysen E., Dahdouh-Guebas F. & Koedam, N., 2011a, *A methodological framework to quantify anthropogenic effects on landscape patterns*. In: Hong K.S., Wu J., Kim J.-E., Nakagoshi N., 2011 (eds.) *Landscape ecology in asian cultures*, 141-167, Library of Congress, Springer, Tokyo, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 331 p.
9. 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.
10. Bogaert J., Vranken I., & André M., 2014, *Anthropogenic effects in landscapes: historical context and spatial pattern* pp 89-112, In: Hong, S. K., Bogaert, J., Min, Q. (eds.), *Biocultural landscapes: diversity, functions and values*, Library of Congress, Springer, Tokyo, Dordrecht, Heidelberg, New York, London, 218 p.
11. Bonnefille R., Rioulet G. & Buchet G., 1991, Nouvelle séquence pollinique d'une tourbière de la crête zaïre-nil (Burundi), *Rev. paleobotany & palynology*, **67**, 315-330.
12. Brink A.B. & Eva H.D., 2009, Monitoring 25 years of land cover change dynamics in Africa: a sample based remote sensing approach, *Appl. Geogr.*, **29**, 501-512.
13. Brinkmann K., Schumacher J., Dittich A., Kadaore I. & Buerkert A., 2012, Analysis of landscape transformation processes in and around four west african cities over the last 50 years, *Landscape and Urban Planning*, **105**, 94-105.
14. Burel, F., Baudry, J., 2003. *Landscape ecology: concepts, methods and applications*. TEC & DOC, Paris, 362 p.
15. Caloz R. & Collet C., 2001, *Précis de télédétection: Traitements numériques d'images de télédétection*. Volume 3, Québec, Presses de l'Université du Québec, 386 p.
16. Cazenave-Piarrot A., 2004, Burundi: Une agriculture à l'épreuve de la guerre civile, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, **226-227**, 1-15.
17. Chakravarty S., Ghosh S.A., Suresh C.P., Dey A.N. & Shukla G., 2012, *Deforestation: causes, effects and control strategies. Global Perspectives on Sustainable Forest Management*, InTech, 27 p.
18. Chokmani K., Bernier M. & Slivitzky M., 2006. Suivi spatio-temporel du couvert nival du Québec à l'aide des données NOAA-AVHRR, *Rev. Sci. Eau*, **19**, 3, 163-179.
19. Cochet H., 2001, *Crises et révolutions agricoles au Burundi*. Paris, Editions Karthala, 468 p.
20. DeFries R., Hansen A., Newton A.C. & Hansen M.C., 2005, Increasing isolation of protected areas in tropical forests over the past twenty years, *Ecol. Appl.*, **15**, 1, 19-26.
21. De Fries R., Hansen A., Turner B.L., Reid R. & Liu J., 2007, Land use change around protected areas: Management to balance human needs and ecological function, *Ecol. Appl.*, **17**, 4, 1031-1038.
22. Engelsen A., 2010, Policies for reduced deforestation and their impact on agricultural production, *P. Nat. Acad. Sci.*, **107**, 46, 19639-19644.
23. FAO, 2010, *Evaluation des ressources forestières mondiales 2010*. Rapport principal, Etude FAO: Forêts, 163, Rome, 348 p.
24. Fichera C.R., Modica G. & Pollino M., 2012. Land cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics, *Eur. J. Remote Sensing*, **45**, 1-18.

25. Fitzgerald R.W. & Lees B.G., 1994. Assessing the classification accuracy of multisource remote sensing data, *Remote Sensing Environ.*, **47**, 362-368.
26. Forman R.T.T., 2005. *Land mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University press, Cambridge, 632 p.
27. Geiger E.L., Gotsch S.G., Damasco G., Haridasan M., Franco A.C. & Hoffmann W.A., 2011, Distinct roles of savanna and forest tree species in regeneration under fire suppression in a Brazilian savanna, *J. Vegetat. Sci.*, **22**, 312-321.
28. Girard M.C. & Girard C., 2010. *Traitement des données de télédétection. Environnement et ressources naturelles*, 2ème édition, Dunod, Paris, 553 p.
29. Green J.M.H., Larrosa C., Burgess N.D., Balmford A., Johnston A., Mbilinyi B.P., Platts P.J. & Coad L., 2013, Deforestation in a African biodiversity hotspot. Extend, variation and the effectiveness of protected areas, *Biol. Conserv.*, **164**, 62-72.
30. Hansen M.C., Stehman S.V. & Potapov P.V., 2010, Quantification of global gross forest cover loss. *PNAS*, **107**, 19, 8650-8655
31. Havyarimana F., Bogaert J., Ndayishimiye J., Barima S.S., Bigendako Y., Lejoly J. & De Cannière C., 2013. Impact de la structure spatiale de *Strombosia scheffleri* Engl. et *Xymalos monospora* (Harv.) Baill sur la régénération naturelle et la coexistence des espèces arborescentes dans la Réserve Naturelle Forestière de Bururi, Burundi, *Bois Forêts Tropiques*, **316**, 2, 49-61.
32. Heinen J.T., 1996, Human behavior, incentives and protected area management, *Conserv. Biol.*, **10**, 2, 681-684.
33. Inoussa M.M., Mahamane A., Mbow C., Saadou M. & Bachmann Y., 2011, Dynamique spatio-temporelle des forêts claires dans le Parc National du W du Niger (Afrique de l'Ouest), *Sécheresse*, **22**, 2, 108-116.
34. Joppa L. & Pfaff A., 2010, *Reassessing the forest impacts of protection: The Challenge of nonrandom location and a corrective method*. Annals of the New York Academy of Sciences, **1185**, 135-149.
35. Kanyamibwa S. & Vande Weghe J.P., 2001. *Burundi. Important bird's areas in Africa and associated islands: priority sites for conservation*, in Fishpool L. D. C., Evans M. I., (eds.), pp127-132, Newbury and Cambridge, UK: *Pisces Publications and BirdLife International*, BirdLife Conservation series n° 11.
36. Lagabrielle E., Metzger P., Martignac C., Durieux L. & Grellet G., 2005, *Guide pratique d'utilisation des informations produite dans le cadre du projet TEMOS à la Réunion*, 64 p.
37. Laporte N., 1999. *Géographie des relations ville-forêt en Afrique Centrale: approche régionale* (volume II). CARPE, Washington DC, 32 p.
38. Le Roux X., Barbault R., Baudry J., Burel F., Doussan I., Garnier E., Herzog F., Lavorel S., Lifran, R., Roger-Estrade J., Sarthou J.P. & Trommetter M., 2008, *Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport, INRA (France), 113 p.
39. Lillesand T. M., Kiefer R.W. & Chipman J.W., (2008)- *Remote sensing and image interpretation*. Sixth Edition. John Wiley & Son, USA, 756 p.
40. Liniger H.P., Mekdaschi Studer R., Hauert C., & Gurtner M., 2011, *La pratique de la gestion durable des terres. Directives et bonnes pratiques en Afrique subsaharienne*, TerrAfrica, Panorama mondial des approches et technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 249 p.
41. Masharabu T., Noret N., Lejoly J., Bigendako M.J. & Bogaert J., 2010, Etude comparative des paramètres floristiques du Parc National de la Ruvubu, Burundi, *Eco Géo-Trop.*, **34**, 29-44.
42. Mayaux P., Bartholomé E., Massart M., Cutsem C.V., Cabral A., Nonguierna A., Diallo O., Pretorius C., Thompson M., Cherlet M., Pekel J.F., Defourny P., Vasconcelos M., Di Gregorio A., Fritz S., De Grandi G., Elvidge C., Vogt P. & Belward A., 2003, *A land cover map of Africa*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 56 p.
43. Mayaux P., Bartholomé E., Fritz S. & Belward A., 2004, A new land-cover map of Africa for the year 2000, *J. Biogeogr.*, **31**, 861-877.
44. Mengue-Medou C., 2002, Les aires protégées en Afrique: perspectives pour leur conservation, *Vertigo*, **3**, 1, 1-14.
45. Ministère de l'eau, de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme (MEEATU), 2008, *Modes de gouvernance et catégories d'aires protégées actuelles et futures au Burundi*. INECN, Bujumbura, 56 p.
46. Nyamuyenzi S., 2004, *Identification des besoins de renforcement des capacités pour la mise en œuvre de la stratégie nationale et plan d'action en matière de diversité biologique zone écologique du Mugamba Bututsi*. INECN, Bujumbura, 60 p.

47. Nzigidahera B., 2000, *Analyse de la diversité biologique végétale nationale et identification des priorités pour sa conservation*. INECN, Bujumbura, 126 p.
48. Oszwald J., Gond V., Dolédec S. & Lavelle P. (2011) Identification d'indicateurs de changement d'occupation du sol pour le suivi des mosaïques paysagères, *Bois Forêts Tropiques*, **307**, 1, 7-21.
49. Paolini L., Grings F., Sobrino J.A., Munoz J.C.J. & Karszenbaum H., 2006, Radiometric correction effects in Landsat multi-date/multi-sensor change detection studies, *Int. J. Remote Sensing*, **27**, 3-4, 685-704.
50. Peres C.A., 2011, Conservation in sustainable-use tropical forest reserves, *Conserv. Biol.*, **25**, 6, 1124-1129.
51. Perrings C., Gadgil M., 2002, *Pour une protection efficace et équitable de la biodiversité*. Iddri, Paris, 46 p.
52. Pfeifer M., Burgess N.D., Swetnam R.D., Platts P.J., Willcock S. & Marchant R., 2012, *Protected areas: mixed success in conserving east African's evergreen forests*. Plos One, **7** (6): e39337.doi: 1371/journal.pone.0039337.
53. Pfeifer M., Platts P.J., Burgess N.D., Swetnam R.D., Willcock S., Lewis S.L. & Marchant R., 2012, Land use change and carbon fluxes in East Africa quantified using earth observation data and field measurements, *Environ. Conserv.*, **40**, 3, 241-252.
54. Plumptre A.J., Davenport T.R.B., Behangana M., Kityo R., Eilu G., Segawa P., Ewango C., Meirte D., Kahindo C., Herremans M., Peterhans J. K., Pilgrim J., Wilson M., Languy M. & Moyer D., 2007. *The biodiversity of the Albertin Rift. Biological Conservation*, **134**, 178-194.
55. Pomel S., Salomon, J.N., 1998, *La déforestation dans le monde tropical*. Presses Universitaires de Bordeaux, Talence, 160 p.
56. Porter-Bolland L., Ellis E. A., Guariguata M.R., Ruiz-Mallén, I., Negrete-Yankelevich S. & Reyes-Garcia V., 2012, Community managed forests and forest protected areas: an assessment of their conservation effectiveness across the tropics, *Forest Ecol. Manage.*, **268**, 6-17.
57. Rishirumuhirwa T., 2000, *Gestion et conservation des sols dans les tropiques humides d'altitude: Cas du Burundi-Région des Grands lacs*, document du Département de génie rurale, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 58 p.
58. Rodriguez-Galiano V.F., Ghimire B., Rogan J., Chica-Olmo M. & Rigol-Sanchez J.P., 2012, An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sensing*, **67**, 93-104.
59. Sako N., Beltrando G., Atta K.L., N'da H.D. & Brou T., 2013, Dynamique forestière et pression urbaine dans le Parc National de Banco (Abidjan, Côte d'Ivoire), *Vertigo*, **13**, 2, 1-23.
60. Sanginga P., Mapatano S.M. & Niyonkuru D., 2013, Vers une bonne gouvernance des ressources naturelles dans les sociétés post-conflits: concepts, expériences et leçons des Grands Lacs en Afrique, *Vertigo*, **17**, 1-19.
61. Sassen M., Sheil D., Giller K.E. & Ter Braak C.J.F., 2013, Complex contexts and dynamic drivers. Understanding four decades of forest loss and recovery in an east African protected area, *Biol. Conserv.*, **159**, 257-268.
62. Sexton J.O., Urban D.L., Donohue M.J., Song C., 2013, Long-term land cover dynamics by multi-temporal classification across the landsat-5 record, *Remote Sensing Environ.*, **128**, 246-258.
63. Skupinski G., BinhTran D. & Weber C., 2009, Les images satellitaires Spot multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain-cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France), *Eur. J. Geogr.*, **439**, 1-20.
64. Soucy-Gonthier, N., Marceau, D., Délage, M., Cogliastro, A., Domon, G. & Bouchard, A., 2003, *Détection de l'évolution des superficies forestières en Montérégie entre juin 1999 et août 2002 à partir d'images satellitaires TM*. Agence Forestière de la Montérégie, 29 p.
65. Terra T.N., Dos Santos R.F. & Cosat D.C., 2013, Land-use changes in protected areas and their future: The legal effectiveness of landscape protection, *Land Use Policy*, **38**, 378-387.
66. Timms B.F., Hayes J., Mccracken M., 2013. From deforestation to reforestation: applying the forest transition to the cockpit country of Jamaica, *Area*, **45**, 1, 77-97.
67. UPA, 2011. *Biodiversité: les alliés naturels de l'agriculteur, une richesse à préserver*. La Terre, Québec, 4p.
68. Vannier C., Vasseur C., Hubert-Moy L. & Baudry J., 2011. Multiscale ecological assessment of remote sensing images. *Landscape Ecol.*, **26**, 1053-1069.

F. Havyarimana, Burundais, PhD, Professeur, Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Burundi.

I. Bamba, Ivoirien, PhD, Professeur, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

T. Masharabu, Burundais, PhD, Professeur, Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Bujumbura, Burundi.

D. Nduwarugira, Burundais, PhD, Professeur, Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Bujumbura, Burundi.

M.-J. Bigendako, Burundaise, PhD, Professeur, Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Bujumbura, Burundi.

A. Mama, Béninois, PhD, Professeur, Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Cotonou, Bénin.

F. Bangirinama, PhD, Professeur, Ecole Normale Supérieure, Bujumbura, Burundi.

J. Bogaert, Belge, PhD, Professeur, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique

C. De Cannière, Belge, PhD, Professeur, Université Libre de Bruxelles, Ecole Interfacultaire de Bioingénieurs, Service d'Ecologie du Paysage et Systèmes de Production Végétale, Bruxelles, Belgique.

Incidence et sévérité de la mosaïque africaine du manioc dans les champs et les jardins de case à Kinshasa (République Démocratique du Congo)

N. Kadima Kabemba^{1*}, J. Munganga Gikug¹, F. Bulubulu Otono¹ & S.N.D. Mutambel' Hity¹

Keywords: Incidence- Severity- African cassava mosaic- Home gardens- Fields- DRC

Résumé

Une enquête prospective été menée de 2010 à 2011, d'une part, dans des champs de manioc de Kimwenza et de Mitendi et, d'autre part, dans des jardins de case de cinq communes de la ville de Kinshasa. Cette étude a permis de déterminer la sévérité et l'incidence de la mosaïque africaine de manioc (MAM) dans ces plantations. La MAM est présente dans presque tous les champs parcellaires et jardins étudiés. Une incidence moyenne de 70,11% et un taux moyen d'attaque foliaire de 71,29% ont été observés à Kimwenza et Mitendi alors qu'elle était de 78% dans les jardins de case des cinq communes investiguées. Il a été constaté que 70,23% des plantes de manioc analysées présentent un indice de gravité de symptôme (IGS) variant respectivement de 2 à 5 à Kimwenza et Mitendi. Dans les jardins de case; 52,5% des plantes présentent un indice de gravité qui se situe dans la même gamme de valeurs. Quatre cultivars de manioc appartenant aux espèces *Manihot esculenta* et *M. glaziovii* ont été identifiés dans les champs parcellaires de Kimwenza et Mitendi. Parmi ces cultivars, Nsanginsangi est le plus sensible avec une incidence de 81,7% tandis que Mankanu se révèle le moins sensible avec une incidence de 52,8%. La majorité de la population de Kinshasa cultive *M. glaziovii* dans les jardins de case comme source de légume; et *M. esculenta* dans leur parcelle comme source de légume économiquement accessible et source de racines tubéreuses. L'incidence élevée de la mosaïque dans les champs parcellaires et jardins de case à Kinshasa associée à la propagation par bouturage non contrôlée du manioc représente un danger certain du point de vue de la sécurité alimentaire

Summary

Incidence and Severity of the African Cassava Mosaic in Fields and Home Gardens in Kinshasa (Democratic Republic of the Congo)

A prospective survey was carried out from 2010 to 2011 in the cassava fields of Kimwenza and Mitendi and the home gardens of five townships of Kinshasa in order to determine the incidence and the severity of the African Cassava Mosaic (ACM) in Kinshasa city. The ACM is present in almost all the fields and home gardens of Kinshasa city. An average incidence rate of 70.11% and an average rate of foliar attack of 71.29% were respectively observed in the fields of Kimwenza and Mitendi while it amounted to 78% in the home gardens of the five Kinshasa townships. It was observed that 70.23% of the cassava plants presented a Symptom of Gravity Index (SGI) varying from 2-5 at Kimwenza and Mitendi. The SGI was 52.5% in the home gardens of Kinshasa. Four cassava cultivars belonging to *M. esculenta* and *M. glaziovii* species were identified in the fields of Kimwenza and Mitendi. Among them, Nsanginsangi is the most sensitive to the ACM with an incidence of 81.7% while the Mankanu is less sensitive with an incidence of 52.8%. The majority of the population in Kinshasa grows *M. glaziovii* as vegetable in their home gardens and *M. esculenta* as a source of tuberous roots in their fields. The high ACM incidence in the fields and home gardens in Kinshasa associated to the propagation of the plants by cuttings represents a danger for food security.

¹Université Pédagogique Nationale (UPN), Route de Matadi, Kinshasa, République démocratique du Congo.

*Auteur correspondant: Email: nazaire.kadima@upn.ac.cd

Introduction

Deux tiers des Congolais n'ont pas suffisamment à manger et sont en insécurité alimentaire (8). Le problème de la faim est une question récurrente dans les pays où le rythme de la croissance économique et de l'augmentation de la production vivrière n'est pas proportionnel à celui de la hausse du nombre de bouches à nourrir (7).

De toutes les activités du pays, l'agriculture est la plus importante et utilise environ trois quart de la population active vivant dans les espaces ruraux. L'insécurité grandissante des années 1990 a isolé les villes de leurs sources d'approvisionnement et a provoqué une explosion des activités de jardinage périurbain à Kinshasa et dans les autres grandes villes du pays. L'agriculture urbaine/périurbaine joue un rôle crucial dans l'état nutritionnel des populations urbaines et constitue la source de beaucoup d'emplois et de revenus. Une enquête effectuée en 2008 par le Service National d'Appui à l'Horticulture Urbaine et Péri-urbaine (SENAHUP) indique environ 2.100 ha de culture en production horticole à Kinshasa, avec environ 40.000 maraîchers. Ces jardins produisent environ 90% de tous les légumes frais consommés à Kinshasa. La valeur de cette production est estimée à 19 millions d'USD (5).

Les activités maraîchères constituent la principale source de revenu de la majorité de la population de Kinshasa. Parmi les plantes cultivées, le manioc s'avère être la culture vivrière la plus importante en République Démocratique du Congo (14). Malgré sa qualité de principale source alimentaire de nombreuses populations, le manioc voit, à chaque nouvelle saison de culture, sa productivité menacée par plusieurs maladies induites par différents agents. Il a été unanimement reconnu que les ravageurs et les maladies, notamment la mosaïque africaine du manioc, sont les principales causes de la baisse de production. Elle attaque tous les cultivars bien que le degré de sensibilité varie d'un cultivar à un autre. Les feuilles atteintes présentent des chloroses ou des rabougrissements qui ralentissent la nutrition nécessaire au développement de la plante. Les racines des plants malades diminuent de volume et sont moins nombreux, la famine tend à s'installer dans certaines régions et de manière générale la sécurité alimentaire se fragilise (13).

Une étude effectuée par Biola (2) dans les conditions de plein champs à Kimwenza, en périphérie de Kinshasa, a permis d'apprécier l'état phytosanitaire des cultures de manioc et l'effet sur la croissance et le développement des plants.

Pour mieux apprécier l'importance de ces effets, une enquête prospective a été menée dans les champs parcellaires de manioc à Kimwenza et Mitendi où se réalisent plusieurs activités maraîchères et dans les jardins de case de cinq communes de la ville de Kinshasa.

Elle poursuit comme objectifs:

- Déterminer l'incidence de la mosaïque africaine du manioc dans les champs parcellaires et jardins de case de Kinshasa;
- Y évaluer la sévérité de la maladie.

Milieu, matériel et méthodes

Milieu d'étude

Dix neuf champs parcellaires de manioc exploités par les paysans à Kimwenza et Mitendi, deux sites situés dans la périphérie de la commune de Mont-Ngafula (Figure 1), et 116 jardins de case de cinq communes (Ngaliema, Selembao, Mont-Ngafula, Lemba et Kimbaseke) dans la ville de Kinshasa ont fait l'objet de cette recherche réalisée de 2010 à 2011.

Matériels

Le matériel végétal, objet de l'étude, était constitué des plants de manioc, cultivés par les maraîchers dans les champs parcellaires de Kimwenza et Mitendi, et dans les jardins de case des cinq communes ci-haut cités. L'échelle de gravité de Cours (6) a été utilisée pour la cotation de degré de sévérité de symptômes au niveau des feuilles.

Méthodes

L'échantillon est constitué de 19 champs parcellaires choisis au hasard dont 10 champs sur le site de Kimwenza; situé à 317 m d'altitude, S04°28'39,5" de latitude et E015°16'38,3" de longitude; et, 9 champs à Mitendi à 401 m d'altitude, 04°28'44,9' de latitude Sud et 015°13'52,9" de longitude Est. Pour chaque champ parcellaire, la recherche a été menée sur un périmètre de 16 mètres carré. Cette étude a porté sur une population de 3.406 plants de manioc (*Manihot esculenta* et *Manihot glaziovii*) dont les cultivars sont dispersés au hasard, avec ou sans symptômes. Les paramètres ont été mesurés sur 475 plants. Un échantillon de 116 jardins de case a été sélectionné au hasard dans des parcelles de numéro impair de différentes avenues et quartiers des cinq communes. Les observations ont été effectuées sur 5.015 plants de manioc *Manihot glaziovii*.

Certains paramètres ont été mesurés et collectés dont l'incidence de la maladie sur le manioc, le taux d'attaques foliaires et l'indice de gravité des symptômes. L'analyse de ces paramètres a permis de déterminer la sévérité de la maladie et d'identifier les variétés résistantes ou tolérantes.

- *L'incidence* a consisté à déterminer le pourcentage des plants de manioc malades par simple comptage dans différents champs.
- *Le taux d'attaques foliaires* (nombre de feuilles atteintes par plant) a permis de déterminer la proportion des feuilles des plants malades, en vue d'évaluer la sévérité de la maladie.

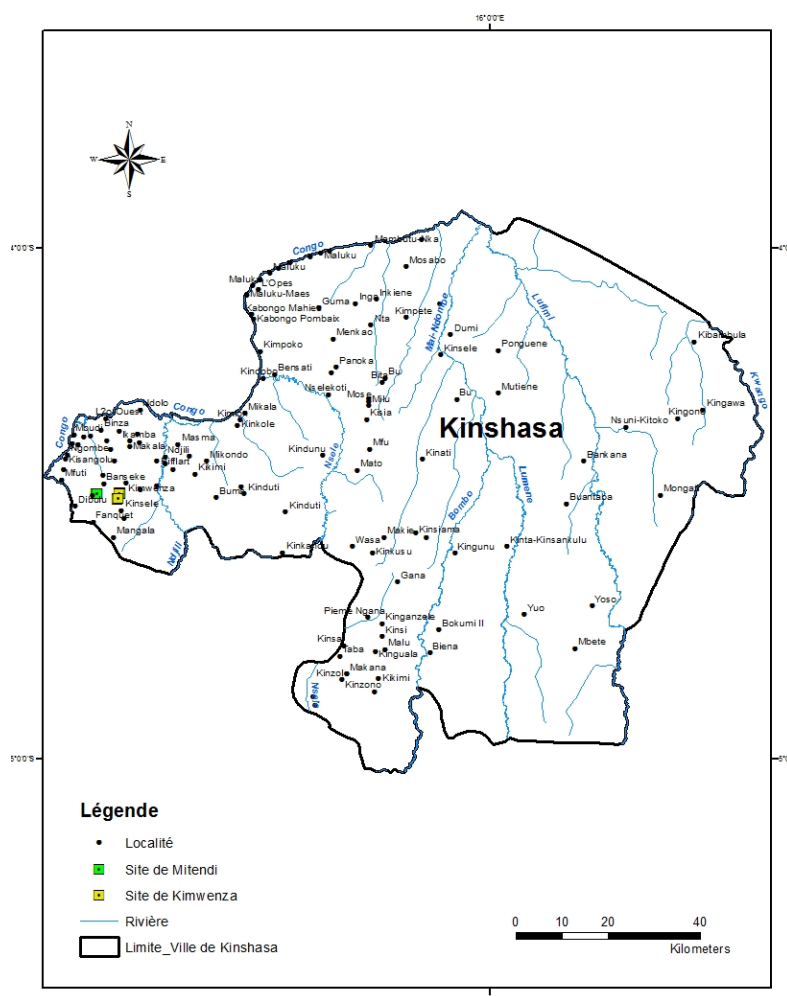


Figure 1: Carte ville de Kinshasa (Nlandu J.W., CGEA)

- L'indice de gravité des symptômes de Cours (Indice de sévérité) a conduit à apprécier le degré de gravité de la maladie sur les plants, l'échelle d'indice de gravité de symptômes variant de 0 à 5. Les plants sains ont une côte 0 et les plants malades ont un degré de sévérité allant de 1 à 5 (du moins au plus sévères). Degré 0: la plante ne présente pas de symptômes de maladie; degré 1: légère mosaïque sans déformation ni réduction de la taille et recouvrant moins de 20% de la surface de feuille; degré 2: mosaïque nette recouvrant 50% de la surface foliaire avec parfois déformation de la feuille; degré 3: mosaïque recouvrant toute la surface de la feuille, accompagnée de déformation et d'une réduction de la surface foliaire; degré 4: mosaïque recouvrant toute la feuille, accompagnée d'une déformation sévère et d'un nanisme de la feuille; degré 5: lorsque les folioles sont pratiquement réduites à la nervure (6).

Le test statistique de deux proportions binomiales a été utilisé pour comparer les différences éventuelles entre les populations des cultivars de manioc analysés, suivant le logiciel Minitab 16.

Résultats

Les résultats obtenus au cours de nos investigations sont présentés selon les sites où sont cultivés le manioc dans les champs parcellaires ou dans les jardins de case.

Incidence de la mosaïque africaine du manioc

L'incidence de la MAM dans les sites de Kimwenza et de Mitendi est respectivement de 70,36% et 69,68% (Tableau 1). Sur 3.406 plants de manioc analysés dans les champs parcellaires, 1.018 sont sains contre 2.388 malades exposant une incidence moyenne de 70,11%.

Par ailleurs, sur 5.015 plants de manioc (*Manihot glaziovii*) observés dans les parcelles situées dans les communes de Kimbaseke, Lemba, Mont-Ngafula, Ngaliema et Selembao, 3918 sont infectés par la mosaïque, exposant une incidence moyenne de 78% (Tableau 2). L'incidence la plus élevée a été enregistrée dans les jardins de case de la commune de Lemba (88%) et la plus faible dans les jardins de case de la commune de Ngaliema (72%).

Tableau 1
Incidence de la mosaïque africaine de manioc dans les
champs parcellaires des deux sites de plantation
(Kimwenza et Mitendi).

Site de plantation	Nbre de plants sains	Nbre de plants malades	Incidence (%)
Kimwenza	636	1510	70,36
Mitendi	382	878	69,68
Total	1018	2388	70,11

Tableau 2
Incidence de la mosaïque africaine du manioc dans les jardins de case de
quelques communes de la ville de Kinshasa.

Commune	Nombre de plants non infectés	Nombre de plants infectés	Incidence (%)
Kimbaseke	187	742	80
Lemba	96	702	88
Mont-Ngafula	371	1054	74
Ngaliema	235	617	72
Selembao	208	803	79
Total	1097	3918	78

Tableau 3
Taux d'attaque foliaire des plants malades par site de plantation
de manioc (*Manihot esculenta*).

Site de plantation	Nombre total de feuilles	Nombre de feuilles atteintes	Attaque foliaire (%)
Kimwenza	4255	3080	72,38
Mitendi	4109	2883	70,16
Total	8364	5963	71,29

Tableau 4
Indice de gravité des symptômes dans les champs parcellaires de deux sites
(Kimwenza et Mitendi).

IGS	Site Kimwenza		Site Mitendi		Totaux	
	Nombre de plants	%	Nombre de plants	%	Nombre de plants	%
1	36	21,81	69	36,7	105	29,75
2	42	25,45	49	26,06	91	25,78
3	32	19,39	43	22,87	75	21,25
4	47	28,48	21	11,17	68	19,26
5	8	4,84	6	3,19	14	3,96
Total	165	100	188	100	353	100

Tableau 5

Indice de gravité des symptômes en fonction des cultivars dans les champs parcellaires des sites Kimwenza et Mitendi.

Cultivars	Nombre de plants sains	Nombre de plants infectés	Total	Incidence (%)
Caoutchouc	12	29	41	70,7
Mankanu	33	37	70	52,8
Nsanginsangi	55	246	301	81,7
Projet	22	41	63	65
Total	122	353	475	74,3

Tableau 6

Indice de gravité des symptômes dans les jardins de cases de cinq communes de la ville de Kinshasa.

Communes	Indice de gravité des symptômes											
	0		1		2		3		4		5	
	N. pl	%	N. pl	%	N. pl	%	N. pl	%	N. pl	%	N. p	%
Kimbaseke	187	3,7	211	4,2	112	2,2	162	3,2	200	4	57	1,1
Lemba	96	1,9	223	4,4	112	2,2	157	3,1	170	3,4	40	0,7
Mont-Ngafula	371	7,4	387	7,7	306	6,1	225	4,5	116	2,3	20	0,3
Ngaliema	208	4,1	272	5,4	207	4,1	207	4,1	105	2,1	12	0,2
Selembao	235	4,7	197	3,9	136	2,7	166	3,3	109	2,2	9	0,1
Total	1097	21,8	1290	25,6	873	17,3	917	18,2	700	13,8	138	2,4

Légende: N. pl: nombre de plants

Le SD autour de la moyenne 70,10% est très faible révélant l'uniformité de l'incidence en champs, tandis qu'il est élevé autour de la moyenne 78% dans les jardins de case démontrant une disparité de l'incidence entre les communes. Les communes étudiées n'ont pas les mêmes dimensions du point de vu cadastral et sont placées à des altitudes différentes.

Intensité de la maladie

L'intensité de la maladie est évaluée par le taux d'attaque foliaire et l'indice de gravité des symptômes qui sont complémentaires.

Taux d'attaque foliaire

Le taux d'attaque foliaire est le pourcentage des feuilles des plants présentant des symptômes de la mosaïque. Ce paramètre n'a été prélevé que dans les champs parcellaires de Kimwenza et Mitendi. Le taux d'attaque foliaire est élevé (71,29%) dans les deux sites: 72,3% à Kimwenza et 70,16% à Mitendi (Tableau 3). Cela pourrait influencer la baisse de rendement par le fait que les feuilles connaissent une dégradation et la réduction de la surface foliaire, phénomène qui empêcherait le développement des tubercules par limitation de la photosynthèse.

Indice de gravité des symptômes (IGS) de Cours

L'indice de gravité des symptômes décrit le dommage occasionné par la maladie sur les feuilles. Ces dommages se traduisent par la réduction de la surface foliaire, l'enroulement de la feuille sur elle-même et la dépigmentation (taches jaunes et vert clair).

On observe que 70,25% des plants de manioc infectés dans les champs de Kimwenza et Mitendi (Tableau 4) affichent des indices de sévérité qui varient de 2 à 5. A Kimwenza; 28,48% des plants infectés présentent l'indice 4 alors qu'à Mitendi 36,70% ont l'indice 1 et 26,06% l'indice 2.

Les informations récoltées auprès des paysans ont permis d'identifier quatre cultivars différents de manioc dans les champs parcellaires de Kimwenza et Mitendi: *Mankanu*, *Nsanginsangi* et *Projet* (*M. esculenta*) et *Caoutchouc* (*M. glaziovii*) (Tableau 5). Tous les cultivars analysés se sont révélés sensibles à la mosaïque africaine du manioc à des degrés divers. Cependant, *Nsanginsangi* se révèle plus sensible à la mosaïque avec une incidence de 81,70%, suivie de *Caoutchouc* avec une incidence de 70,70%, vient en troisième position, *Projet* avec 65% et enfin, *Mankanu* avec 52,80%.

Les analyses statistiques (logiciel Minitab 16) ont révélé une différence significative entre le cultivar résistant (*Mankanu*) et le cultivar sensible (*Nsanginsangi*) alors qu'il n'y a pas de différence significative entre le cultivar *Mankanu* et les autres cultivars (*Projet* et *Caoutchouc*).

En référence à l'indice de Cours (6), 25% des plants infectés par la mosaïque africaine de manioc présentent l'indice 1; 17,40% l'indice 2; 18,30% l'indice 3, 14% l'indice 4 et 2,80% l'indice 5. Ces résultats révèlent que plus de 52,50% de plants de manioc (*Manihot glaziovii*) cultivés par la population dans les parcelles des cinq communes visitées ont un indice de gravité se situant entre 2 et 5, selon l'IGS de Cours.

La commune de Mont-Ngafula venant en première position avec 13,20%, suivie respectivement de Kimbaseke et Ngaliema avec 10,50%, Lemba 9,40% et Selembao 8,30% (Tableau 6).

Discussion

Le manioc est principalement produit par des petits exploitants sur des terres à faibles fertilités et très faibles rendements (3). La culture de manioc à Kinshasa constitue une importante activité économique pour la plupart des agriculteurs et des maraîchers. Cette activité est considérée par beaucoup de producteurs comme une «source de revenus». En effet, le manioc est plus cultivé par des paysans de champs parcellaires de sites de Kimwenza et Mitendi pour la production des racines tubéreuses et des feuilles destinées non seulement à la consommation, mais également à la vente (3). La population de Kinshasa recourt à la culture de *Manihot glaziovii* pour la production des feuilles consommées comme légumes.

Cependant, la mosaïque africaine du manioc représente une sérieuse menace pour la culture de manioc en champs et dans les jardins de case de Kinshasa.

En effet, les champs parcellaires situés à Kimwenza et Mitendi ont présenté une incidence moyenne de 70,11% contre 78% dans les jardins de case de quelques communes de la ville de Kinshasa. La quasi-totalité des champs de manioc sont infectés. Des observations faites dans les champs de 6 mois à Kimwenza par Biola (2) ont montré que la variété *Nsanginsangi* présente une incidence de 100%. L'incidence moyenne observée en République Centrafricaine et en République du Congo étant respectivement de 73,80% et 79,5% (15). Une étude moléculaire et immunoenzymatique menée sur la variété Boma a montré la présence du virus de la mosaïque africaine du manioc (ACMV) (4).

Tous les cultivars observés dans les exploitations paysannes de Kimwenza et Mitendi ont montré une sensibilité à la mosaïque.

La variété *Mankanu* susciterait de l'espoir chez les paysans compte tenu de la faible incidence de l'attaque par la mosaïque. Elle peut être largement diffusée et il serait nécessaire qu'un test de vérification de performance agronomique et de la sensibilité éventuelle vis-à-vis de la mosaïque africaine soit effectué.

L'interprétation possible de cette infestation des champs de manioc par la mosaïque est liée à l'utilisation par les paysans des boutures ne présentant pas de garantie sanitaire et de faible niveau de résistance à la mosaïque. En plus, la majorité de variétés de manioc utilisées par les paysans ne sont pas améliorées.

D'une manière générale, nombreux sont les auteurs qui ont estimé que les pertes dans des champs atteints par la mosaïque du manioc sont énormes en fonction du niveau d'infection. Les pertes peuvent atteindre 55 à 77% lorsque le manioc est contaminé au niveau de la bouture et 35 à 60% pour un plant contaminé à partir de la mouche blanche (10). En se référant à l'échelle de Cours (6), 70,23 % des plants infectés dans les 19 champs de Kimwenza et Mitendi affichent des indices de sévérité qui varient de 2 à 5 contre 52,50% dans les jardins de case de quelques communes de la ville de Kinshasa. Ces indices étaient de 70,25% en République Centrafricaine et 62,10% en République du Congo (12, 15).

Le taux d'attaque foliaire dans différents champs est très élevé (71,29%). Les symptômes analysés tels que la dépigmentation, la réduction de la surface foliaire et l'enroulement sont des phénomènes qui réduisent considérablement la photosynthèse de la plante, notamment par la destruction de la chlorophylle. L'altération de la chlorophylle réduit la photosynthèse, l'élaboration des glucides par la plante (1). Cette altération présente un grand risque de déperdition de rendement et une inquiétude sur la sécurité alimentaire pour la population.

La croissance des plantes est souvent fonction de plusieurs facteurs et varie selon les conditions climatiques, le type de sol, la variété, les pratiques culturales, l'état sanitaire, etc. (11). Les résultats présentés montrent sans ambiguïté que la mosaïque africaine du manioc est présente à Kinshasa. Les feuilles présentent selon le degré d'attaque des chloroses ou des rabougrissements qui ralentissent la nutrition nécessaire à leur croissance. Karakacha (12) et Neuenschwander *et al.* (13) ont montré que l'ACMV et l'EACMV-UG sont en circulation dans les provinces de Congo central et Kinshasa.

Conclusion

Cette étude a été effectuée dans différents champs parcellaires et jardins de cases de la ville de Kinshasa afin de déterminer l'incidence et la sévérité de la MAM. Les résultats obtenus révèlent que les variétés locales utilisées par la population de Kinshasa sont, pour la majorité des cas, sensibles aux attaques de la mosaïque du manioc. Cette situation liée à l'utilisation de matériel (boutures) non garanti du point de vue phytosanitaire est de nature à entretenir la maladie et contribue à l'augmentation et la pérennisation de la mosaïque dans ce milieu agricole. Cette sensibilité diffère selon la variété cultivée. Cette pratique expliquerait la difficulté croissante qu'éprouve la population à disposer du matériel performant pour obtenir des rendements convenables. La variété *Nsanginsangi* se révèle la plus sensible de toutes les variétés observées dans les champs parcellaires de Kinshasa, avec 81,70%.

Des plants infectés à 70,25% à Kimwenza et Mitendi affichent des indices de sévérités qui varient de 2 à 5 et 52,5% dans les jardins de case des cinq communes visitées. L'incidence de la maladie est de 70,11% dans les champs de Kimwenza et Mitendi et 78% dans les jardins de case de la ville de Kinshasa. Le taux d'attaque foliaire dans la ville de Kinshasa s'élève à 71,29%.

Les résultats de cette étude prouvent qu'à Kinshasa le manioc est exposé aux effets de la mosaïque africaine et qu'une situation catastrophique en découlerait probablement si aucune stratégie n'est mise en place. Il serait nécessaire de réglementer les mécanismes de transfert des boutures par la mise en place d'un comité chargé de la gestion, du contrôle et de la distribution des boutures saines aux producteurs. Des mesures doivent être prises à cet effet par l'Etat congolais qui doit se charger de la vulgarisation des variétés résistantes et des techniques visant à réduire l'incidence de la maladie.

Références bibliographiques

1. Binet P. & Brunel J.P., 1968, *Physiologie végétale: Photosynthèse*. Edition DOIN. P 793
2. Biola F., 2007, *Situation phytosanitaire des plantations de manioc à Kimwenza (Région périurbaine de Kinshasa). Cas des attaques par la Mosaïque Africaine de Manioc, Kinshasa*, TFE, Faculté de Sciences agronomiques, UNIKIN, Inédit, 52p.
3. Braima J., Yaninek J., Tumanteh A., Maroya N., Dixon A., Salawu R. & Kwarteng J., 2000, *Comment démarrer un champ de manioc*. Guide de la pratique de lutte intégrée à l'usage des vulgarisateurs. IITA, Cotonou. 24 p.
4. Bulubulu O.F., Diamuini N.A., Kikakedimau N.R., Mbaya N.A., Mutambel H., Lumande K., Luyindula N., Ruffard G. & Lepoivre P., 2015, PCR and ELISA detection of cassava mosaic virus in a Congolese cassava landrace, *Int. J. Biotechnol. Food Sci.*, **3**, 2, 10-16
5. Chausse J.P., Kembola T. & Ngonde R., 2012, *L'Agriculture: Pierre Angulaire de l'Economie de la RDC* dans: Johannes Herderschee, Daniel Mukoko Samba & Moïse Tshimenga Tshibangu (éditeurs), *Résilience d'un Géant Africain: Accélérer la Croissance et Promouvoir l'Emploi en République Démocratique du Congo*, Volume II: Etudes sectorielles, MEDIASPAUL, Kinshasa, pages 1-97.
6. Cours G., 1951, Le manioc à Madagascar, Mémoire de l'Institut Scientifique de Madagascar. Série B, *Biol. Vég.*, **3**, 203-416.
7. Dufumier M., 2004, *Agriculture et paysanneries de tiers monde*. Editions Karthala, Paris, 598p.
8. FAO, 1970, *Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique*. Document sur la nutrition 31, 218p.
9. FAO, 2010, *Etat de l'insécurité alimentaire dans le monde. Combattre l'insécurité alimentaire lors des crises prolongées*, 63p.
10. Fauquet C., & Thouvenel J.C., 1980, *Maladies Virales des plantes cultivées en Côte d'Ivoire*. Documentations Techniques ORSTOM 46. 230p.
11. Hopkins W.G., 2003, *Physiologie végétale*. Edition de Boeck, Bruxelles, p 143-291.
12. Karakacha H., 2001, *Serological and molecular characterization of Begomoviruses infecting cassava (Manihot esculenta Crantz) in Africa*. These de doctorat, Universitat Hannover.
13. Neuenschwander P., Hughes J. D'A., Ogbe F., Ngatse J.M. & Legg J.P., 2002, The occurrence of the Uganda variant of East Africa cassava mosaic virus (EACMV-UG) in Western Democratic Republic of Congo and the Congo Republic defines the Western most extent of the CMD pandemic in East/Central Africa, *Plant Pathol.*, **51**, 3, 384.
14. Ntawuruhunga P., Okuja O., Legg J.P. & Bembe A., 2002, *Situation de la maladie pandémique virale de la mosaïque du manioc en République du Congo*. Rapport diagnostique d'enquête sur les maladies et pestes de la culture du manioc, 37 p.
15. Tata-Hangy K., Legg J.P., Lema K.M. & Luyindula N., 2009, *L'incidence de la mosaïque du manioc en relation avec la source de matériels de plantation et son impact sur la production*. International conference on cassava cultivation and utilization in Central Africa. Kisangani, RDC, 16-19th November 2009. Réseau African Cassava Mosaic Disease. www.mosaicdrc.blogspot.com
16. Usaid, 1987, *Production et commercialisation du manioc au Zaïre*, Bureau d'Analyse économique, 113p.
17. Zinga I., Nguimalet C.R., Lakouetene D.P. & Konate G., 2008, Les effets de la mosaïque africaine du manioc en République Centrafricaine, *Géo-éco-trop*, **32**, 47-60.

N. Kadima Kabemba, Congolais, Licencié, Assistant, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, République démocratique du Congo.

J. Munganga Gikug, Congolais, Licencié, Assistant, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, République démocratique du Congo.

F. Bulubulu Otono, Congolais, M. Sc., Enseignant/Chercheur, Chef de travaux, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, République démocratique du Congo.

S.N.D. Mutambel' Hity, Congolais, PhD, Professeur, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, République démocratique du Congo.

Contract Farming Preferences of Smallholder Rice Producers in Benin: A Stated Choice Model Using Mixed Logit

A. Arouna^{1*}, P.Y. Adegbola², R.C. Zossou², R. Babatunde³ & A. Diagne⁴

Keywords: Rice- Stated preferences- Contract farming- Mixed logit- Benin

Summary

In developing countries, smallholder farmers face many constraints including lack of information, and lack of access to credit and markets. To overcome these constraints, smallholder farmers can engage in contract farming. However, contract farming needs to meet farmers' preferences in order to be sustainable. This study aimed to analyze rice farmers' preferences for contract farming in Benin. Stated choice data were collected from 574 rice farmers. To account for heterogeneity, data were analyzed using a mixed logit model. Producers preferred contracts with seven major attributes: short term, payment on delivery, collective selling, agreement on quantity, no provision of credit, application of the market price, and no control by the partner. However, there was heterogeneity in the contract preferences of rice farmers. The study suggests that these differences and the preferred attributes are important in the design of best-fit contract farming models by agribusiness firms and policy-makers.

Résumé

Préférences des petits producteurs de riz pour les contrats agricoles au Bénin: un modèle de préférences déclarées basé sur le modèle «mixed logit»

Dans les pays en développement, les petits producteurs font face à plusieurs contraintes dont le manque d'information et le manque d'accès au crédit et aux marchés. L'agriculture contractuelle constitue une solution pour surmonter ces contraintes. Cependant, les contrats agricoles doivent satisfaire aux conditions des producteurs pour être durables. Cette étude vise à analyser les préférences des producteurs du riz concernant la conclusion de contrats agricoles au Bénin. Les données sur les préférences déclarées ont été collectées auprès de 574 producteurs de riz. Pour tenir compte de l'hétérogénéité, les données ont été analysées avec un modèle «mixed logit». Les producteurs préfèrent les contrats avec sept principaux attributs: une courte durée, un paiement à la livraison, une vente collective, un accord sur la quantité, pas de provision de crédit, une application du prix du marché et aucun contrôle de la part du partenaire. Cependant, il y a une hétérogénéité dans les préférences des producteurs. L'étude suggère que les différences, de même que les attributs préférés, sont importants pour le développement de meilleures formes de contrats agricoles par les sociétés de l'agrobusiness et les décideurs politiques.

¹Africa Rice Center, Cotonou, Benin.

²Agricultural Research Institute of Benin, Agricultural Research Center of Agonkanmey, Cotonou, Benin.

³University of Ilorin, Department of Agricultural Economics and Farm Management, Ilorin, Kwara State, Nigeria.

⁴University of Gaston Berger, Saint-Louis, Senegal.

*Corresponding author: Email: a.arouna@cgiar.org

Received on 14.04.16 and accepted for publication on 20.12.16

Introduction

In sub-Saharan African (SSA) countries, the agricultural sector is becoming increasingly market oriented and private-sector led. The sector is characterized by a large number of small-scale farmers who face considerable market constraints, including poor market information, restricted access to credit and modern inputs, and high transaction costs arising from weak market integration. Neither market information nor markets themselves are accessible to the rural poor and farmers capture little of the value that they create. In addition, market risk in terms of fluctuating prices is a great problem that concerns smallholders in SSA countries. Contract farming is seen as a potential solution to overcome these constraints for resource-poor farmers. In contract farming, the buyer and the producer commit in advance to exchange the product. In addition, the buyer can provide credit, inputs, monitoring, or is directly involved in part of the production process. Contract farming has been claimed to have a positive impact on local economies by improving the welfare of rural households (3, 5, 9, 21, 39). Several authors have found that participation in contract farming improves farmers' income (6, 39). In addition, contract farming has the potential to substitute for the government in the wake of neo-liberal reforms in the agrarian sector: as the state disengages from the provision of inputs, extension services, credit, and price support, private firms can enter to fill those roles, and may do so more efficiently. However, the literature also documents several problems affecting contract farming performance: high default rate, biased terms, delayed payments, cheating, and lack of compensation for crop failure (22, 41).

Linking farmers, processors, and marketers through contract farming in SSA has become an important challenge to positively impact the economic well-being of small-scale farmers. It is not surprising, therefore, that the agribusiness sector is currently being encouraged to engage in contract farming, and producers of food and non-food crops are responding to this institutional approach in many parts of SSA. Although contract farming is common in cash crops in developing countries, it is limited in food crop production such as rice.

This is because subsistence crops receive less research and development and less private-sector investment than cash crops. In addition, contract farming typically spontaneously emerges with high value crops such as fruits and vegetables and less for low-value crops such as staples (42).

However, as a result of decreasing performance of the cotton sector since the mid 2000s, Benin's new national agricultural policy includes the promotion of food crops such as rice. In fact, rice is among the six priority crops in the agricultural policy. Accordingly, rice sector has gained importance for both government and private-sector. In rice value chains, farmers, traders, processors, and inputs dealers can use various types of contract farming to respond to market failures. Different models of contract among value-chain stakeholders may work differently depending on the context (crop, institutions, entry point in the value chain, *etc.*). However, to be viable and sustainable, contract farming needs to benefit each party. Small-scale farmers will not engage in any contract farming if it does not meet their preferences. Both farmers and contractors will consider the risk–return trade-offs of each model of contract. Farmers' choice may also depend on their attitudes to risk and their financial positions. Although empirical studies in developing countries provide diverse analyses of the participation and welfare effects of contract farming, the existing literature does not address farmers' preferences for particular contract terms and attributes. While the main motivation of smallholders to enter into contract farming is to resolve market failure, a closer look at participation decisions may show how different contract attributes are evaluated. Smallholders' acceptance of a contract can be improved by better aligning contract terms and attributes with farmers' preferences. This paper addresses this question by analyzing the preferences of rice farmers for contract farming in Benin using a stated choice approach.

Our contribution to the literature on contract farming is three-fold. First, with the exception of Abebe *et al.* (1), existing literature pays surprisingly little attention to the design of contract farming directly from farmers' perspective. Our study explicitly focused on smallholders' preferences for contract farming design attributes using a stated choice approach.

Stated preference is a research technique in which information about decision-makers' preferences is elicited by using different hypothetical situations. The stated choice method provides the opportunity to estimate demand for contract attributes that may not exist in the real market. Second, previous studies on contract farming have focused heavily on the income and broader welfare effects, as well on individual-specific characteristics, as key determinants for participation. Yet, the effect of different contract design attributes on smallholders' contract choice has received little attention, especially for food crops such as rice. Third, there is a general assumption in the literature that farmers are risk averse, and that their motivation to participate in contract farming is primarily to manage output price risks (13, 36). Consequently, contractors tend to design contracts with pre-fixed price. However, contract design is a complex process involving many trade-offs (11), and farmers may have different risk preferences for the different contracts. This may lead to heterogeneity in farmers' preferences for contract farming. Therefore, heterogeneity in farmers' preferences for contract farming was here clearly modeled by using a mixed logit model. A number of studies of choice experiment have recently preferred the mixed logit model (4, 12, 23) to the traditional Multinomial Logit Model (MNL) due to the latter's shortcomings, especially the assumption of Independence of Irrelevant Alternatives (IIA). In many cases the IIA assumption is violated and the results of the MNL are biased. The main objective of the present study was to explore the relative importance of different contract design attributes that could differentially affect the motivation of smallholders to participate in contract farming. Better information on farmers' preferences and heterogeneity in preference can be used by agribusiness firms to design better contracts and by policy-makers in developing an enabling institutional environment.

Methods

Estimation of stated preference for contract farming

In order to elicit rice farmers' preferences for contract farming, the choice modeling approach with heterogeneity was used. Choice models are based on Lancaster's (31) theory of consumer choice, where individuals derive utility from the different characteristics a good possesses, and McFadden's (34) random utility theory, providing the econometric rational of choice experiments. Following Lancaster (31), attributes have been defined as characteristics of a good.

The random utility theory states that consumer preferences are latent and unobservable (10). The value of utility of an individual n associated with participation in contract farming j , U_{jn} , can be expressed as a function of two components: an observable systematic component V_{jn} , and a random component ε_{jn} which represents the unobservable part. The utility function is given by equation I:

$$U_{jn} = V_{jn} + \varepsilon_{jn} \quad (I)$$

The systematic V_{jn} of the utility is presumed to be a function of various predictors that can be formulated as a regression function (7) given by equation II:

$$V_{jn} = \beta X_{jn} \quad (II)$$

where β is the vector of parameters to be estimated and X_{jn} is the vector of covariates. If ε_{jn} is independently and identically distributed, the probability that the contract j is chosen from the set of J potential contracts (and dropping reference to individual n for simplicity) is the standard multinomial logit model (MNL) and can be expressed by equation III:

$$P_j = \frac{\exp(\beta X_j)}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta X_j)} \quad (III)$$

with P_j is the probability that the contract j is chosen from the set of J .

The MNL has been a fundamental basis for the analysis of discrete choice for many years. However, because of several shortcomings of the MNL, especially its inherent assumption of independence of irrelevant alternatives (IIA), researchers have developed a variety of alternative models. In addition, the MNL does not allow for unobserved preference heterogeneity, while it is well known that farmers' preferences do exhibit substantial heterogeneity. To avoid IIA assumption and take into account unobservable preference heterogeneity in β , one commonly used method is the random coefficient specification of the mixed logit model (MXL), which extends the MNL model in equation IV (35):

$$P_j = \frac{\exp[(\beta + \omega) X_j]}{\sum_{j=1}^J \exp[(\beta + \omega) X_j]} \quad (IV)$$

where β is the vector of mean attributes in the population, ω is the difference between the mean and individual attributes, and X_j is the vector of covariates. The parameters of the MXL can be estimated with simulated maximum likelihood (35). Unlike the traditional logit model, two sets of parameters are estimated in the MXL: the β parameters which represent the coefficient of the mean attributes and the parameters representing the coefficient of the standard deviation of the attributes. The significance of the ω parameters will show whether there is heterogeneity of preference in the data. Empirically, this model has been used in a number of studies of choice experiment (4, 12, 23). Based on this model, the generalized multinomial logit (GMNL) was introduced by Fiebig *et al.* (17). The GMNL enables accounting for both preference and scale heterogeneities. However, Greene and Hensher (20) show that, in the absence of scale heterogeneity, GMNL is equivalent to MXL. In addition, failure to account for scale heterogeneity may not be of such great empirical consequence in behavioral outputs such as direct elasticity and willingness to pay. Using both Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC),¹ the MXL model fits the empirical data analyzed in this paper better than did MNL, GMNL, and conditional logit (CL).

In the MXL, an independent normal distribution is assumed for each of the coefficients, such that each coefficient can take a negative or positive sign around the estimated mean and standard deviation. These estimates provide information on the proportion of individuals that give positive or negative values to an attribute (43). These proportions are given by equation V:

$$100 \times \Phi(-\beta_k/\omega_k) \quad (V)$$

where Φ is the cumulative standard normal distribution and β and ω are the coefficients of mean and standard deviation of the k th attribute, respectively.

The approach was to first estimate the MNL and CL models with fixed parameters. Then, using the same determinants, we estimated the MXL model to avoid the assumption of fixed parameter. Goodness of fit using information measures (AIC and BIC) was assessed on the basis of the maximum likelihood value (15, 20). In addition, a test of significance of all coefficients of the standard deviation (ω in equation IV) was performed using likelihood chi-square test.

Method of data collection and variables

Two methods exist for data collection on farmers' preferences: a method based on revealed preference and a method based on stated preference (30). The revealed preference method is used in real situations or conditions experienced by consumers. The questions are therefore asked to the respondents, who reveal what they did. In contrast, surveys based on stated preferences are based on a hypothetical situation. In this case, each respondent must declare a choice they would make if they were confronted with it in reality (16). The use of stated preference method has increased significantly in agricultural and agro-food economics, environmental and resource economics, health economics, trade and marketing since the mid 2000s (32, 33). Stated preference method has the advantage of testing the farmers' preferences before introducing a new product or new institutional mechanism such as new contract farming. So, stated preference was used in this study to analyze which types of contract farming were more likely to be adopted by farmers.

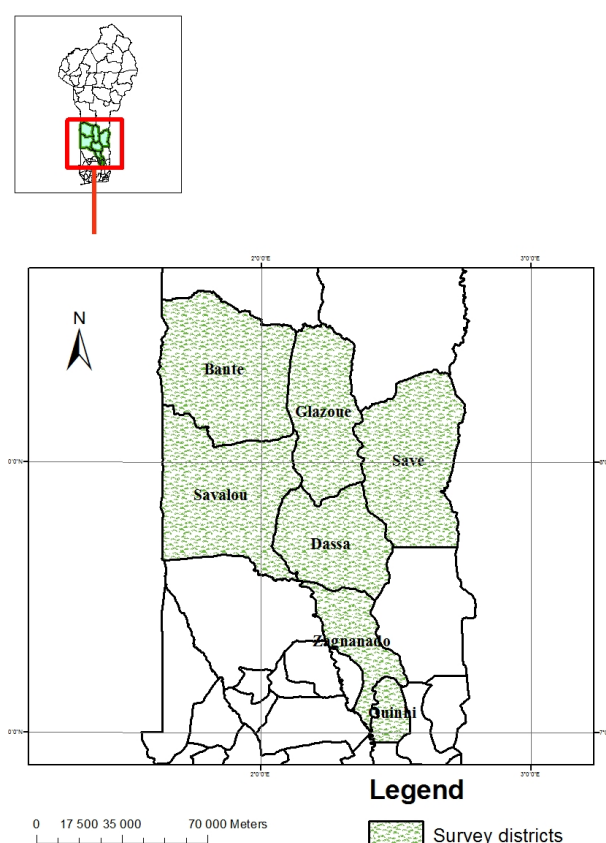
¹AIC = $2k - 2\ln(L)$ and BIC = $k \ln(n) - 2\ln(L)$, where k is the number of parameters in the model, n is the sample size, and L is the maximized value of the likelihood function for the estimated model. The lower the value of AIC, the better the model is.

The data were collected in the southern and central parts of Benin (Figure 1). These areas have been used for studies on rice production because of their importance for rice production in the country. The study focused on a sample of rice-farming households selected randomly in the rice sector development hubs in the southern and central parts of Benin. From a list of household head names, 10 households were randomly selected per village for a total of 30 villages. Using the computer-assisted personal interview (CAPI) technology, two household members (husband and wife) were interviewed in 2014, to analyze intra-household and gender differentiation in contract farming preferences. Due to missing data for some variables of 7 households, 574 rice farmers (293 men and 281 women)² were included in this analysis. Data were collected through a structured questionnaire comprising two parts: the first to collect socioeconomic and demographic characteristics of producers, and the second focused on experimental choice of contract farming for rice production.

Attributes and attribute levels (values) that might be important for farmers and which may influence the contract between rice producers and other rice value-chain actors in the real world were selected. Previous surveys and focus groups were used to choose potential contract attributes and attribute levels. The definitions of the explanatory variables and attribute levels as well as the expected sign are given in Table 1.

In total, nine attributes were selected (Table 1)³ as follows.

Length of contract: Longer-term contracts (more than one cropping season) help to overcome holdups and moral hazard problems. Farmers can be rewarded for agreeing to longer-term contracts through more favorable repayment terms (such as cheaper inputs or reduced rates of interest) (19). However, due to the lack of trust and the risk of losing autonomy, it is hypothesized that farmers will prefer short-term contracts (one cropping season).



Source: Own design.

Figure 1: Map of the survey area in Benin Republic.

²There are 12 male headed households in which the household head was not married or has divorced. Therefore, there were 12 households in which women could not be interviewed.

³Nine attributes selected for this survey can be considered as acceptable as an average of 7 is suggested in the literature (14).

Table 1
Description of variables.

Attribute	Values	Expected sign ^a
Length of contract	0 = One cropping season 1 = Long term (two or three cropping seasons)	–
Credit provision	0 = No 1 = Yes	+
Contract with group of producers	0 = Individual 1 = Group	–
Control over production activities	0 = No 1 = Yes	–
Agreement on quantity	0 = No 1 = Yes	+
Time of reaching agreement	0 = Before sowing/planting time 1 = After sowing/planting time	–
Timing of payment	0 = Immediately after delivering 1 = Two weeks after delivering	–
Product quality specification	0 = No 1 = Yes 2 = Yes with premium	(reference) ^b – –
Rice price	0 = Market price 1 = 10% less than market price 2 = 10% more than market price	(reference) ^b – +

^aReference point is 0; ^b Two binary variables are included in the regression.

Granting of credit

Market failures, especially the unavailability of production credit, limit the adoption of innovations and also restrict farmers' access to inputs, technology, and information (29). Contract farming is seen as an institutional mechanism to allow farmers to have access to credit and other production inputs (26). The need for credit may motivate farmers toward contract farming (11, 28). It is hypothesized that farmers will prefer contract farming that provides credit for the purchase of production inputs.

Type of organization

Farmer organizations can help producers commercialize their products at high price (8, 25, 44). However, uncertainty about the performance of organizations may discourage farmers from using them for commercialization. In addition, there are also associated costs for monitoring the actions of participant producers (37, 38). Thus, it is hypothesized that farmers will prefer selling individually instead of through organizations.

Control over production activities

Control or supervision is desirable for the contractor to monitor the production process to be sure that producers are following the agreement. With control, the contractor has the advantage of checking the quality of inputs and key farm management practices (45). Monitoring of activities can also help farmers to get technical advice from the contractor. However, farmers may feel a loss of autonomy with excessive control. Thus, it is hypothesized that farmers will prefer no control of their production activities by the contractor.

Agreement on quantity

When farmers produce under contract, quantity is usually pre-established with buyers (28). In the case of a food crop such as rice, farmers need to plan for self-consumption and for selling. Therefore, farmers are expected to prefer to have an agreement on market quantities with the buyer. Agreement on the quantity will help the farmer in planning and efficient allocation of production resources.

Time of reaching agreement

Reaching agreement before planting time will help the farmer plan the season, especially if the crop is not only for sale but also for subsistence as is the case for rice. Therefore, farmers are expected to prefer to establish a contract with the buyer before planting time (41). In addition, contractors may also prefer to reach agreement before planting time to be able to specify the quality of the product (e.g. the variety).

Timing of payment

In contract farming, contractors usually pay some time after the produce is delivered. This represents uncertainty on the part of farmers, especially when they do not trust the buyer (40, 41). In addition, due to lack of access to credit, smallholder farmers are in need of cash for household expenditure. Thus, it is expected that farmers prefer cash and immediate payment as in spot markets.

Product quality specification

The desire for high (specific) quality attributes increases the contractor's willingness to engage in contract farming and pay a high price (18, 24). In turn, farmers can potentially obtain higher prices for quality products. However, given the uncertainty of farmers about meeting quality standards, we hypothesize that smallholder farmers will prefer contracts without quality requirements.

Rice price

Price volatility is one source of uncertainty that may affect smallholders' decision to participate in contract farming. Different price options may entail different risks and rewards (27). If a contract specifies a fixed payment *ex ante*, farmers only bear the production risk while the firm takes all the market risk. By accepting a lower price, farmers in effect agree to pay a risk premium. However, the motivation for farmers to adhere to the contract is driven by resource provision and price incentives (11). Thus, it is expected that farmers will not prefer lower price than on the spot market.

The first seven attributes have two levels and the last two attributes have three levels (Table 1)⁴. A combination of attributes and their levels involves a total of 1152 alternatives ($2^7 \times 3^2$).

Given that it is impossible to evaluate such a number of contracts in reality, a fractional orthogonal design was used to select potential contracts for evaluation by rice farmers (32). Sixteen hypothetical contracts were selected. The 16 alternatives were divided into four groups each comprising five choice alternatives. The first four in each group were taken from the 16 orthogonal alternatives selected. The fifth in each group is the "no contract farming" option.

Results and discussion

Experience with contract farming

Results showed that the practice of contract farming for rice production is not well developed in the study area. Among the rice producers interviewed, only 7.5% and 8.9% of women engaged in contract farming with different buyers (millers, parboilers, and traders) for rice in 2011 and 2012, respectively (Table 2). These values were also low for men: 9.7% in 2011 and 10.7% in 2012. The adoption rate of contract farming was even lower in 2013. This can be explained by the fact that existing contract farming models are not compatible with resource-poor farmers' preferences.

Therefore, there may be a need to develop new schemes adapted to the socioeconomic conditions of resource-poor farmers. Alternatively, one could explain the low proportion of farmers engaged in contract farming by reduced interest of buyers. However, this is less plausible for two reasons. First, the number of farmers declining the offer of engagement in contract farming increased from 55% to 65% during the period of 2011 to 2013 (2). Second, the number of medium-scale millers in the area also increased during this period (two new medium-scale millers established in the survey area during that period).

Most contract farming models in the survey area are characterized by oral agreements with buyers, credit supply (in-kind or in cash), and price, quantity, and quality agreements. Only 8.85% of existing contractual arrangements are written (2). The agreement on price, quality, and quantity is made in 23%, 77%, and 40% of farming contracts, respectively (2). In addition, Arouna *et al.* (2) found that 60% of farming contracts are made through producer organization, which reduces the transaction cost and the associated risk for both producers and partners.

Table 2

Distribution of agricultural producers engaged in contract farming, 2011–2013.

	2011		2012		2013	
	Number	Percentage	Number	Percentage	Number	Percentage
Male (n = 293)	29	9.7	32	10.7	24	8.1
Female (n = 281)	21	7.5	25	8.9	16	5.7
Total (n = 574)	50	8.6	57	9.8	40	6.9

⁴For data analysis, each of two attributes was transformed into dummy variables. For each of the multi-level variables, three dummy variables were created. To avoid multi-correlation problem, two dummy variables were included and one dummy is used as reference.

Estimation of model for rice farmers' preference for contract farming

Four models (multinomial logit, MNL; generalized multinomial logit, GMNL; conditional logit, CL; and mixed logit, MXL) were tested during the analysis. Using information criteria (AIC and BIC), the MXL model gave best fit with the empirical data (Table 3). In addition, the coefficients of standard deviations of MXL for men and women were large and significant. This result confirmed the presence of heterogeneity in preferences for contract farming among rice farmers in Benin. However, scale heterogeneity did not exist in the data. Therefore, the MXL model was more robust than the GMNL model, and thus produced better-quality estimations.

Results of the MXL estimation for men and women are presented in Table 4.

Table 4 is divided into two parts: the top part presents the coefficients of the average of all attributes and the bottom part are the coefficients of the standard deviation of attributes. Estimation of the MXL for men confirmed that, with the exception of two attributes (agreement on quality with a premium and fixing a price more than market price), the coefficients of the average of all attributes were statistically significant. Similar results were obtained for women: the coefficients of the average of nine attributes were statistically significant. In both models, the variables for which the coefficients were statistically significant were: long-term contract, contract with farmer organization, agreement on the quantity to be delivered, timing of contract agreement, credit provision, agreement on quality, agreement on monitoring of production activities by the contractor, timing of payment to farmers, and agreement on rice price less than market price.

The test of significant of all coefficients of the standard deviation (in equation IV) rejected the null hypothesis of all coefficients are together equal to zero for both men and women. The coefficients of standard deviations showed that there was heterogeneity in preference of men for four attributes: credit provision, quality agreement, fixing a price less than market price, and timing of payment to farmers. For women, the coefficients of standard deviations were significant (i.e. showing the heterogeneity of preference) for the same four attributes like men plus monitoring of production activities by the contractor. These results, which are in agreement with literature on the preferences of smallholder farmers (10, 23, 28), confirmed heterogeneity in the contract preference of rice farmers and showed that the preference was somewhat different for male and female rice producers. The sign of the coefficient indicated how an attribute influenced rice farmers' decisions to participate in contract farming. The price is often the first parameter discussed in a contract between two parties. The contracts with market price were preferred by 89% of men and 93% of women over a contract with price less than market price.

Indeed, the coefficient of the attribute on fixing a price less than market price is negative and significant at the 1% level for both men and women. Fixing a price equal to market price in a contract with the buyer increased the probability of farmers entering into a contract by 96%. Fixing a price equal to market price will allow the rice farmer to receive the same price for their rice via the contract as on the spot market and to reduce the uncertainty associated with changes in the market price at delivery time. The mean and standard deviation of the attribute "price less than market price" indicated that a contractual agreement with the fixing of price less than market price was considered as positive attribute by only 11% of the men and 7% of the women. Conversely, an agreement on a price more than market price seemed not to be an incentive for farmers to engage in contract farming (the coefficient was not statistically significant). In existing contract farming in the survey area, farmers accept price less than market price when the buyers offer credit.

A contractual agreement with a duration of two or three cropping seasons had a significant negative effect on the probability of rice farmers' participation compared with short-duration contract. This implies that rice farmers prefer short-duration contracts, specifically a contract for each cropping season. This preference could be explained by the fact rice farmers are risk averse. By engaging in short-duration contracts, farmers will have the option to withdraw from the contract at the end of each season if the contractor does not fulfill the agreement or if the conditions of the farmer change.

Contrary to our expectation, the coefficient of the attribute of provision of credit was negative and significant for both men and women. This means that credit had a negative effect on adoption of contract farming by rice farmers. However, preference heterogeneity existed for this attribute for both men and women: 14% wanted access to credit, while the other 86% did not. Farmers not wanting credit could be explained by the fact that rice farmers are not used to taking credit from a contractor (2). Alternatively, it may be because rice production in the survey area is mainly rainfed, which is subject to high climatic risk. In addition, high interest rate may also explain why credit is less attractive for rice farmers. One could also suspect that the buyer may oblige farmers to use the credit for purchasing a fixed brand or dose of inputs, but this was not confirmed by this survey. Rice farmers may be risk averse and avoid taking credit for an activity that is strongly related to climatic variability.

However, due to the importance of credit, especially to guarantee the quality of paddy rice, it is important to find conditions under which rice farmers would be willing to take credit for contract farming.

Table 3
Akaike and Bayesian Information Criteria of different models.

	Men				Women			
	MXL	CL	GMNL	MNL	MXL	CL	GMNL	MNL
AIC	1365.3	2259.9	2223.3	3236.5	1142.7	2047.1	2107.7	2899.0
BIC	1472.1	2326.7	2336.8	3316.6	1248.9	2113.4	2220.5	2978.6

AIC, Akaike Information Criteria; BIC, Bayesian Information Criteria; CL, conditional logit; GMNL, generalized multinomial logit; MNL, multinomial logit; MXL, mixed logit.

Table 4
Estimation of the mixed logit model for men and women.

Variable	Estimation for men			Estimation for w omen		
	Coef.	Std err.	Marginal effect	Coef.	Std err.	Marginal effect
Long-term contract	−0.71**	0.24	−0.03	−1.14***	0.35	−0.04
Contract w ith farmer organization	1.82***	0.24	0.00	2.44***	0.36	0.00
Agreement on quality w ith a premium	30.54	0.12+E05	0.63	36.75	0.19+E05	0.64
Agreement on quantity	1.49***	0.38	0.01	2.19***	0.54	0.01
Engagement of contract before sow ing/planting	−0.85**	0.36	−0.01	−0.94**	0.48	−0.01
Fixed a price more than market price	29.86	0.74+E04	0.25	34.49	0.17+E05	0.21
Credit provision	−1.03***	0.34	−0.05	−2.27***	0.48	−0.08
Agreement on quality	1.61***	0.35	0.08	2.89***	0.45	0.11
Control by the partner	−1.46***	0.28	−0.01	−2.70***	0.42	−0.01
Immediate payment	2.51***	0.43	0.01	2.22***	0.48	0.01
Fixing a price less than market price	−2.94***	0.67	−0.04	−3.50***	0.71	−0.04
Random variable	Level of heterogeneity			Level of heterogeneity		
Credit provision	0.94***	0.39	0.86	2.11***	0.48	0.86
Agreement on quality	1.36***	0.35	0.88	1.20***	0.37	0.99
Control by the partner	0.33	0.42	1	−0.99***	0.35	0.003
Immediate payment	1.89***	0.41	0.81	1.82***	0.45	0.89
Fixing a price less than market price	2.36***	0.64	0.89	2.39***	0.54	0.93
Number of respondents: 293			Number of respondents: 281			
Number of observations: 5860 (293×5×4)			Number of observations: 5620 (281 × 5 × 4)			
Log likelihood = −668.58			Log likelihood = −555.38			
Prob >chi² = 0.00			Prob >chi² = 0.00			
LR chi² (df = 5) = 49.96***			LR chi² (df=5) = 44.17***			
AIC = 1365.32			AIC = 1142.75			
BIC = 1472.14			BIC = 1248.90			

** p < 0.05; *** p < 0.01.

One condition might be the introduction of agricultural insurance.

Agricultural insurance may help farmers to reduce the climatic risk and encourage them to take credit for rice production. In contrast, 14% of farmers considered that access to credit represents a guarantee that the partner will pay for their production. The access to credit in the contract would help them to reduce the financial constraints to the acquisition of quality inputs.

Contract with a group of producers had a positive and significant effect on the probability of rice farmers' participation compared with the individual contract. This is consistent with the findings from empirical studies (25, 44).

This suggests, perhaps, that the collective contract would allow farmers to organize themselves to better meet buyer demand, to improve their bargaining power, and to provide assistance to resolve contractual issues. On the other hand, group contracts allow agribusiness firms and other buyers to reduce the transaction cost and the problem of moral hazard. The agreement on quality was positive and significant at 1%. There was, however, heterogeneity among respondents in attitudes toward an agreement on quality. Agreement on quality was considered positive by 88% of men. Contrary to a priori expectation, the agreement on quality with a premium price was not statistically significant. This result might reflect the fact that the farmers are willing to respect the quality of rice recommended by the partner even if they do not receive a price bonus for doing so. The agreement on the quantity of rice to be delivered also appeared to be an important aspect for all farmers, as indicated by the coefficient of the variable "agreement on the quantity," which was positive and significant at 1% level. This suggests that fixing the quantity allows farmers to better estimate their production in terms of area to sow to meet their contractual arrangement, but also household food needs. This idea is also supported by other findings (28).

As expected, results of the model showed that the farmers preferred a contract that did not require monitoring of activities by the partner. This would mean that producers feel technically competent to produce high-quality rice without supervision. Preference heterogeneity existed for this attribute only for women: control was valued positively by only 0.3% of women. This means that 0.3% of the women think that control and monitoring by the contractor may help them to deliver the required quality of paddy rice.

Rice farmers preferred contracts under which they would receive their money with no delay, i.e. the contractor will pay upon receiving the product – the attribute specifying immediate payment after delivery had a positive and significant effect on the probability of agreeing a contract. However, there was heterogeneity among respondents in attitudes toward this attribute.

Although 81% of men and 89% of women attached a positive value to direct payment after delivery, about 11% of women and 19% of men may accept a delay of a payment to about two weeks after delivery. Rice production requires a lot of financial resources. Producers are mostly small-scale farmers with low financial means, so the cash payment allows them to meet their needs. In addition, direct payment would avoid the risk of debt and conflict. This result corresponds to the findings of Blandon *et al.* (10) who reported smallholders' preference for a cash payment as in a spot market.

Conclusion

The study analyzed rice farmers' preferences among different contract attributes, with the aim of identifying those attributes that would promote farmers' participation in production and commercialization of rice under contract. In terms of motivation, this study showed that rice farmers generally preferred contracts under the following terms: short-term contract (one season), payment on delivery, contract with a group of producers, agreement on quantity and quality, no provision of credit, application of the market price, engagement of contract before sowing operations, and no governance by the partner. These results showed that agribusiness firms and other buyers should base their pricing strategy of contract farming on the spot-market trends to reduce problems of extra-contractual sales and moral hazard. On the other hand, contract farming can successfully be implemented through farmer organizations allowing agribusiness firms and other buyers to reduce per-unit transaction costs. However, it may be relevant to study the perception of agribusiness firms toward contract design attributes that smallholders considered more important. Furthermore, there was heterogeneity in the preference of men and women for certain attributes of contract farming. Men showed heterogeneity for: provision of credit, quality agreement, fixing a price less than market price, and timing of payment to farmers. Women's preferences showed heterogeneity for: monitoring of production activities by the contractor, provision of credit, quality agreement, fixing a price less than market price, and timing of payment to farmers. The study suggests that these attributes of contracts and these differences need to be taken into account in the design of best-fit contract farming by agribusiness firms and policy-makers for rice sector development in sub-Saharan Africa.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Global Rice Science Partnership (RICE CRP) and the UEMOA project for providing financial support for collecting the data used in this paper.

Literature

1. Abebe G.K., Bijman J.K., Omta R. & Tsegaye O.A., 2013, Contract farming configuration: smallholders' preferences for contract design attributes. *Food Policy*, **40**, 14–24.
2. Arouna, A., Olounlade, A.O., Diagne, A. & Biao, G., 2015, Evaluation de l'impact des contrats agricoles sur le revenu des producteurs du riz : cas du Bénin, *Annal. Sci. Agron.*, **19**, 617–629.
3. Barrett C.B., Bachke M.E., Bellemare M.F., Michelson H.C., Narayanan S. & Walker T.F., 2012, Smallholder participation in contract farming: comparative evidence from five countries, *World Dev.*, **40**, 715–730.
4. Bartels R., Denzil G. & Van-Soest A., 2006, Consumers and experts: an econometric analysis of the demand of water heaters, *Empir. Econ.*, **31**, 369–391.
5. Bellemare M.F., 2010, Agricultural extension and imperfect supervision in contract farming: evidence from Madagascar, *Agr. Econ.*, **41**, 507–517.
6. Bellemare, M.F., 2012, As you sow so shall you reap: the welfare impacts of contract farming, *World Dev.*, **40**, 1418–1434.
7. Ben-Akiva M. & Lerman S.R., 1985, *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press, Cambridge, MA.
8. Berdegue J.A., 2001, *Cooperating to Compete: Peasant Associative Business Firms in Chile*. Unpublished doctoral dissertation, Wageningen University and Research Centre, Netherlands.
9. Bijman J., 2008, *Contract farming in developing countries: an overview*. Working Paper. Wageningen University, Netherlands.
10. Blandon J., Henson S. & Islam T., 2009, Marketing preferences of small-scale farmers in the context of new agrifood systems: a stated choice model. *Agribusiness*, **25**, 2, 251–267.
11. Bogetoft P. & Olesen H.B., 2002, Ten rules of thumb in contract design: lessons from Danish agriculture, *Eur. Rev. Agric. Econ.*, **29**, 185–204.
12. Brownstone D. & Train, K., 1999, Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns, *J. Econometrics*, **89**, 109–129.
13. Chavas J.P. & Holt M.T., 1996, Economic behavior under uncertainty: a joint analysis of risk preferences and technology, *Rev. Econ. Stat.*, **21**, 329–335.
14. Carson R.T., Wilks L. & Imber D., 1994, Valuing the Preservation of Australia's Kakadu Conservation Zone. *Oxford Econ. Pap.*, **46**, 727–749.
15. Cicia A.M., Schlenker L.S., Sulikowski J.A. & Mandelman J.W., 2012, Seasonal variations in the physiological stress response to discrete bouts of aerial exposure in the little skate, *Leucoraja erinacea*, *Comp. Biochem. Physiol. Part A*, **162**, 130–138.
16. Damien P., 2011, *Implementation of Stated Preference Surveys in the Study Framework of Projects Related to Passenger Transport Sector*. Unpublished thesis, Lyon 2 University and the National School of Works, France.
17. Fiebig D.G., Keane M.P., Louviere J. & Wasi N., 2009, The generalized multinomial logit model: accounting for scale and coefficient heterogeneity. *Market. Sci.*, **29**, 393–421.
18. Goodhue R.E., 2011, Food quality: the design of incentive contracts, *Annu. Rev. Resour. Econ.*, **3**, 119–149.
19. Gow H. & Swinnen J., 2001, Private enforcement capital and contract enforcement in transition countries, *A. J. Agr. Econ.*, **83**, 3, 686–690.
20. Greene W.H. & Hensher D.A., 2010, Does scale heterogeneity across individuals matter? An empirical assessment of alternative logit models, *Transportation*, **37**, 413–428.
21. Grosh B., 1994, Contract farming in Africa: an application of the new institutional economics, *J. Afr. Econ.*, **3**, 231–261.
22. Guo H., Jolly R.W. & Zhu J., 2005, *Contract farming in China: supply chain or ball and chain?* Paper presented at the 15th Annual World Food and Agribusiness Symposium, Chicago, IL.
23. Hall J., Fiebig D.G., King M., Hossain I. & Louviere J.J., 2006, What influences participation in genetic carrier testing? Results from a discrete choice experiment, *J. Health Econ.*, **25**, 520–537.
24. Henson S., Masakure O. & Boselie D., 2005, Private good safety and quality standards for fresh produce exporters: the case of Hortico Agrisystem, Zimbabwe. *Food Policy*, **30**, 371–384.
25. Holloway G., Nicholson C., Delgado C., Staal S. & Ehui S., 2000, Agro industrialization through institutional innovation: transaction costs, cooperatives and milk-market development in East-African highlands, *J. Agr. Econ.*, **23**, 279–288.
26. Hudson D., 2000, *Contracting in agriculture: a primer for leaders*. Research Report No. 2000–007, Department of Agricultural Economics, Mississippi State University, MS.
27. Hueth B. & Liguon E., 1999, Producer price risk and quality measurement, *Am. J. Agr. Econ.*, **81**, 512–524.
28. 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**, 381–401.
29. Kirsten J. & Satorius K., 2002, Linking agribusiness and small-scale farmers in developing countries: is there a new role for contract farming? *Dev. South. Afr.*, **19**, 503–529.
30. Lajili K., Barry P.J., Sonka S.T. & Mahoney J.T., 1997, Farmers' preferences for crop contracts, *J. Agr. Resour. Econ.*, **22**, 2, 264–280.
31. Lancaster K., 1976, *Hierarchies in goods-characteristics analysis* pp. 348–352, in: B.B. Anderson & O.H. Cincinnati (Editors), *Advances in Consumer Research*, Volume 03, Association for Consumer Research.
<http://acrwebsite.org/volumes/9289/volumes/ v03/NA-03>
(Accessed January 2016).
32. Louviere J.J., Hensher D.A. & Swait J.D., 2000, *Stated Choice Methods: Analysis and Application*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

33. Louviere J.J., David P. & Carson R., 2010, Design of discrete choice experiments: a discussion of issues that matter in future applied research, *J. Choice Mod.*, **4**, 1, 1–8.
34. McFadden D., 1974, *Conditional logit analysis of qualitative choice behavior* pp. 105–142, in: P. Zarembka (Editor), *Frontiers in Econometrics*, Academic Press, New York.
35. McFadden K. & Train K.E., 2000, Mixed MNL models for discrete response, *J. App. Econ.*, **15**, 447–470.
36. Michelson H., Reardon T. & Perez F., 2011, Small farmers and big retail: trade-offs of supplying supermarkets in Nicaragua, *World Dev.*, **40**, 342–354.
37. Ostrom E., 1990, *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
38. Ostrom E., Schroeder L. & Wynne S., 1993, *Institutional Incentives and Sustainable Development: Infrastructure Policies in Perspective*, Westview Press, Oxford, UK.
39. Reardon T., Barrett C.B., Berdegue J.A. & Swinnen, J.F.M., 2009, Agrifood industry transformation and small farmers in developing countries, *World Dev.*, **37**, 1717–1727.
40. Reardon T. & Berdegue J.A., 2002, The rapid rise of supermarkets in Latin America: Challenges and opportunities for development. *Dev. Policy Rev.*, **20**, 4, 371–388.
41. Singh S., 2002, Contracting out solutions: political economy of contract farming in the Indian Punjab, *World Dev.*, **30**, 1621–1638.
42. Swinnen, J.F.M., Vandeplas, A. & Maertens, M., 2010, *Governance and surplus distribution in commodity value chains in Africa* pp 77-98, in: A. Sarris & J. Morrison (Editors), *Food security in Africa: market and trade policy for staple foods in Eastern and Southern Africa*. Cheltenham, Edward Elgar Publishing.
43. Train K., 2003, *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge University Press, New York.
44. Wilson P., 2000, Social capital, trust, and the agribusiness of economics, *J. Agr. Resour. Econ.*, **25**, 1–13.
45. Wolf S., Hueth B. & Ligon E., 2001, *Policing mechanisms in agricultural contracts*. *Rural Sociol.*, **66**, 359–381.

A. Arouna, PhD, Beninese, Impact Assessment Economist, Africa Rice Center, Cotonou, Benin

P.Y. Adegbola, Beninese, PhD, Director, Agricultural Research Institute of Benin, Agricultural Research Center of Agonkanmey, Cotonou, Benin.

R.C. Zossou, Beninese, MSc, Research Assistant, Agricultural Research Institute of Benin, Agricultural Research Center of Agonkanmey, Cotonou, Benin.

R. Babatunde, Nigerian, PhD, Lecturer, University of Ilorin, Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics and Farm Management, Ilorin, Kwara State, Nigeria.

A. Diagne, Senegalese, PhD, Lecturer, University of Gaston Berger, Agricultural Economics, Saint-Louis, Senegal.

Dynamique des écosystèmes forestiers de l’Arc Cuprifère Katangais en République Démocratique du Congo. I. Causes, transformations spatiales et ampleur

S. Cabala Kaleba^{1*}, Y. Useni Sikuzani^{1,2}, K.R. Sambieni^{3,4}, J. Bogaert^{3,5} & F. Munyemba Kankumbi^{1,2}

Keywords: Deforestation- Spatial transformation process- Anthropogenic effects- Mining activities- Katangese Copper Belt- DRC

Résumé

Le développement socioéconomique issu de l'émergence du secteur minier en République Démocratique du Congo engendre des modifications profondes des écosystèmes naturels. L'objectif de cette étude est d'analyser la déforestation dans l'Arc Cuprifère Katangais (A.C.K.) en lien avec la prolifération des sites miniers et des villes sur base des images satellitaires issues du capteur Landsat de 2002 et 2015. Pour ce faire, une grille à mailles de 10 km x 10 km a été appliquée pour faire ressortir des attributs caractérisant la structure spatiale des forêts. Les résultats obtenus montrent qu'au sein de l'A.C.K., la superficie relative des forêts régresse et passe de 49% à 42% de 2002 à 2015. Les mailles sont en majorité caractérisées par une augmentation en nombre de taches de forêt et par une diminution de la superficie forestière. La dissection a été identifiée comme étant le processus de transformation spatiale dominant la dynamique de la couverture forestière dans 48% des mailles. L'agrégation, la création et l'élargissement des taches forestières ont été observées dans les milieux bénéficiant de mesures de conservation de la nature et/ou localisés dans des concessions privées. Une correspondance avec le développement urbain et minier a été cartographiée. Cette étude offre un cadre de réflexion pour une mise en place des politiques de gestion et de conservation durable appropriée des forêts katangaises susceptibles d'inverser cette dynamique.

Summary

Dynamics of Forest Ecosystems of the Katangese Copper Belt in the Democratic Republic of the Congo. I. Causes, Spatial transformations and Extent

The socio-economic development resulting from the emergence of the mining sector in the Democratic Republic of the Congo causes significant changes in the natural ecosystems. The objective of this study was to evaluate the deforestation patterns in the Katangese Copper Belt (K.C.B.) caused by the proliferation of mining sites and urban areas using the Landsat images of 2002 and 2015. A 10 km x 10 km square grid was applied to calculate landscape metrics for forest pattern analysis. The results obtained within the K.C.B. show that the relative area of forests decreases from 49% to 42% between 2002 and 2015. Most squares are characterized by an increase in the number of forest patches and by a reduction of the forest area. Dissection was identified as the dominant spatial transformation process governing the forest cover dynamics. Other processes observed related to anthropogenic effects in landscapes were the suppression and the fragmentation. Aggregation, creation and enlargement dominate those squares situated in private concessions or in which forest conservation initiatives are developed. A link between the overall forest cover declining and the development the urban areas and the mining sites has been mapped. This study can serve as a conceptual framework for the application of policies oriented towards a more sustainable conservation of the Katangese forests, hence inverting the current trends.

¹Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité de Recherche Écologie, Restauration Écologique et Paysage, Lubumbashi, R.D. Congo.

²Université de Lubumbashi, Centre de Compétences en Planification et Gestion urbaine, Lubumbashi, R.D. Congo.

³Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Campus UNIKIN, Kinshasa, R.D. Congo.

⁴Université de Liège, Faculté d'Architecture, Laboratoire Ville-Territoire-Paysage, Liège, Belgique.

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

*Auteur correspondant: Email: sylvestrecabala@gmail.com

Reçu le 06.12.16 et accepté pour publication le 03.03.17

Introduction

La forêt figure parmi les grandes ressources naturelles dont la préservation est l'une des préoccupations du développement durable (13, 16). Le recours aux enjeux d'aménagement et de protection des écosystèmes restants seraient à ce jour un moyen susceptible de faire face à ce défi (16, 17). En effet, les écosystèmes boisés procurent aux êtres vivants de nombreux services écosystémiques. Cependant, les conditions socioéconomiques dans lesquelles vivent les populations de la République Démocratique du Congo (R.D. Congo) sont tributaires des activités perturbatrices de l'occupation du sol (3). A cet effet, au Sud-ouest de la R.D. Congo, dans l'Arc Cuprifère Katangais (A.C.K.), les ressources minières rentables constituent la principale exploitation à laquelle s'ajoutent d'autres mécanismes de survie (26). La libéralisation du secteur minier en juillet 2002 a attiré de nombreux investisseurs dont le résultat fut la prolifération des sites miniers (19) passant de deux à plus d'une centaine d'entreprises minières, accompagnées par de nouvelles infrastructures et une augmentation de la densité de la population (30, 31). Or, les activités minières produisent des effets directs, indirects et cumulatifs sur l'environnement. Elles concentrent une grande population sur une faible portion du territoire produisant ainsi une pression énorme suivie de nombreuses conséquences environnementales. Parmi ces conséquences, l'une des plus visibles est la déforestation (30) qui se matérialise par la fragmentation, la dégradation et la réduction de l'étendue des écosystèmes naturels (4) laissant la place aux types d'occupation du sol anthropisés. Etant donné que les forces socioéconomiques liées aux activités anthropiques engendrent des pressions sur les habitats naturels qui résultent ultimement en une transformation du territoire (13, 42, 47), le Sud du Katanga, en particulier l'A.C.K., a subi une transformation profonde depuis 2002. Ainsi, le paysage qui autrefois était presque entièrement couvert de forêts claires (35, 36), est actuellement dominé par des habitats anthropisés (24, 25). De ce fait, au sein de l'A.C.K., la déforestation observée durant cette période, est en lien avec la prolifération des activités minières et probablement responsable du déclin de nombreuses espèces animales et végétales (27). Ce phénomène de déforestation a été évoqué à travers tout le Katanga (25), dans la région de Lubumbashi (40), dans l'A.C.K. et dans le Copper Belt Zambien (42). Et, de plus en plus, elle accuse une progression allant de 0,2 à 1.5 % par an (17, 25, 40, 42).

Dans ce contexte, il importe d'analyser la dynamique des habitats forestiers à l'échelle du territoire afin d'expliquer leur répartition spatiale actuelle, ainsi que les processus de transformation spatiale qui en sont responsables (6, 7).

A cet effet, l'utilisation de l'imagerie satellitaire dans des analyses diachroniques s'impose comme l'approche appropriée pour quantifier la disponibilité et la distribution spatiale des habitats forestiers sur de vastes territoires (17, 38). La connaissance de la structure spatiale forestière permettra également une évaluation des conséquences écologiques de cette structure, qui correspond à l'hypothèse centrale de l'écologie du paysage (4, 5). Par conséquent, l'objectif de cette étude était de caractériser et interpréter la dynamique de la couverture forestière au sein de l'A.C.K à partir d'une analyse diachronique du paysage entre 2002 et 2015 sur base de données issues du capteur Landsat.

Matériel et méthode

L'A.C.K. est situé dans les provinces du Lualaba et du Haut-Katanga, au Sud de la République Démocratique du Congo (8, 26). Il s'étend de 10°12' à 13°3' S et de 25°4' à 28°51' E, et est constitué de plus d'une centaine d'affleurements cupro-colbaltifères formant une convexité progressant jusqu'en Zambie («Copper Belt») (8, 15, 42). Par la genèse du sol et le caractère phytogéographique spécifique, l'A.C.K. forme une division géologique bien individualisée. La zone d'étude couvre environ 48.358 km² (Figure 1). Caractérisé principalement par la forêt claire (miombo), la forêt dense sèche (muhulu), la forêt galerie (mushitu), les variantes de savanes et les prairies marécageuses, l'A.C.K. héberge sur ses collines une flore originale adaptée à une forte concentration en métaux lourds auxquels elle est parfois inféodée (21). Des termitières plus ou moins régulières, contrastent les diverses formations végétales (35, 36). Le climat est du type tropical sec avec deux saisons: une saison sèche plus longue et relativement froide suivie d'une saison pluvieuse chaude avec des températures parfois élevées (26). Les sols sur lesquels pousse le miombo sont d'origine éluviale et reposent sur des roches quartzites et schistes granitiques. Généralement, il évolue sur des sols de type géologique ancien et acides qui sont peu fertiles (35).

La couverture forestière de la décennie étudiée (2002 à 2015) a été extraite d'images satellitaires issues du capteur Landsat. Les différentes images utilisées dans cette étude ont été téléchargées du site internet (<http://glovis.usgs.gov.com>). Afin de garder une cohérence dans la réponse spectrale des différents couverts végétaux, les images ont toutes été acquises pendant le début de la période de saison sèche (avril-mai) en vue d'obtenir des différences spectrales plus grandes entre les éléments paysagers (12, 43), notamment le contraste entre les systèmes de végétation naturelle et ceux de type anthropique. L'A.C.K. a été couvert par six scènes Landsat, ensuite divisées en mailles de 10 km x 10 km.

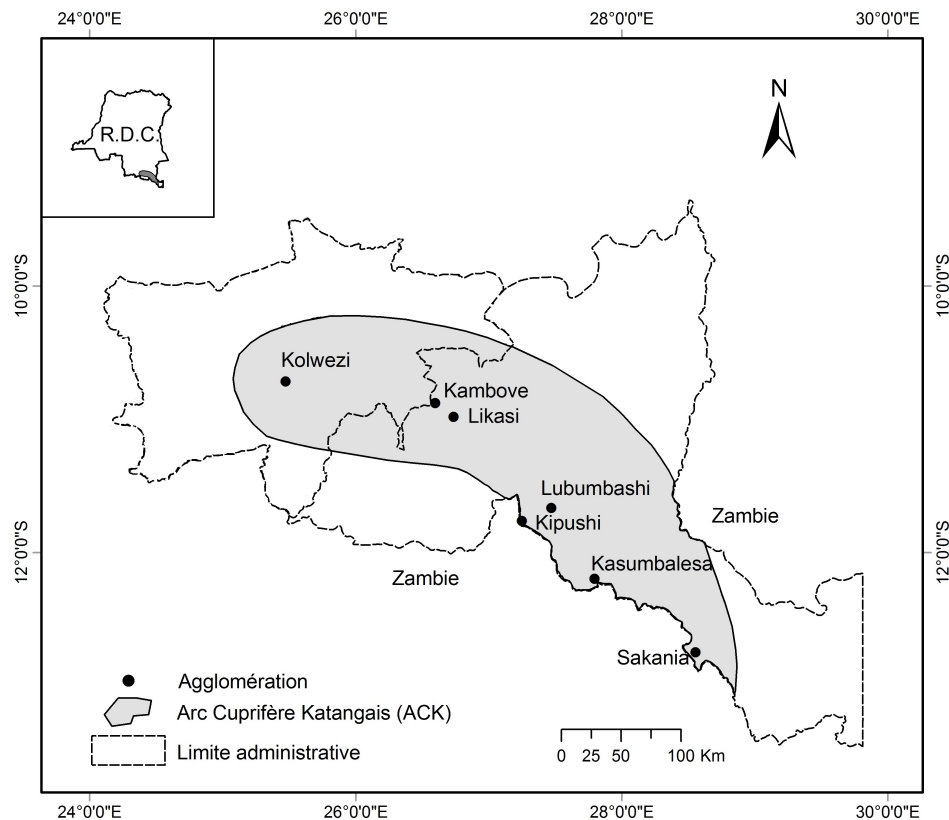


Figure 1: Délimitation approximative de l’Arc Cuprifère Katangais sur base des cartes géologiques et des missions de terrain. Il est présent dans les provinces du Lualaba et du Haut-Katanga et contient plusieurs grandes agglomérations, dont Lubumbashi, Likasi et Kolwezi. La zone se prolonge jusqu’en Zambie où elle est dénommée «Copper Belt».

De toutes ces mailles, celles couvrant l’A.C.K. ont été retenues. Les images Landsat-5 (TM) et Landsat-7 (ETM+) utilisées pour la création de la mosaïque 2002 ont été produites à partir des bandes et des filtres suivants (11, 33): bande 5, moyen infrarouge appliqué au filtre rouge; bande 4, proche infrarouge appliqué au filtre vert; bande 3, rouge appliqué au filtre bleu. Quant aux images Landsat-8 (OLI), elles ont été produites à partir des bandes et des filtres suivants pour la mosaïque 2015: bande 6, infrarouge à ondes courtes appliqué au filtre rouge; bande 5, proche infrarouge appliqué au filtre vert; bande 4, rouge appliqué au filtre bleu. Toutes ces données ont été traitées avec le logiciel ENVI 4.5. Les images Google Earth couvrant l’A.C.K. ont été utilisées afin d’identifier les différents types de couverts végétaux et leur réponse spectrale sur les images satellites Landsat de 2015. En outre, elles ont aussi servi dans le choix des sites témoins et pour la validation des classifications.

L’A.C.K. est caractérisé par un paysage assez hétérogène dont les transitions se font graduellement au travers des mosaïques d’occupation du sol (35, 36). Deux missions de terrain ont été effectuées dans le but de reconnaître et de définir les éléments paysagers de la zone d’étude et relever des points GPS représentatifs de chaque classe d’occupation du sol. Par ailleurs, une carte de l’occupation de sol (14) a été utilisée dans la reconnaissance et la définition des classes. Les points collectés pour les classes anthropiques ont nécessité une enquête préalable sur leur existence dans le temps (par rapport à 2002). En tout, 950 points GPS ont été acquis et conservés en UTM (Universal Transverse Mercator, système de projection par défaut WGS84).

Diverses techniques classiques de traitement des images satellitaires ont été utilisées pour aboutir à la classification supervisée. Pour interpréter l’occupation du sol des images satellitaires, les compositions colorées Rouge, Vert et Bleu des bandes 5-4-3 pour les images de 2002 et 6-5-4 pour les images 2015 ont été effectuées (28).

La classification non supervisée, qui précède à la classification supervisée, a permis d'avoir des surfaces homogènes où les pixels ont des propriétés spectrales similaires. L'image issue de la classification non supervisée a servi à la numérisation des sites témoins nécessaire à la classification supervisée. Avant d'extrapoler les échantillons de terrain à l'ensemble de l'image, il a été nécessaire de vérifier la discrimination des classes. Pour ce faire, un test de séparabilité des classes a été fait en utilisant la distance de Jeffries-Matusita (2, 10). Ensuite, l'algorithme du maximum de vraisemblance a été appliqué (4, 37, 41).

Pour chaque classification, dix classes d'occupation du sol précédemment définies ont pu être discriminées (eau, habitat-sol nu, prairie marécageuse, savane herbeuse, savane arbustive, savane arborée, savane boisée, forêt claire, forêt galerie et forêt dense sèche). Les trois classes d'habitats forestiers (forêt claire, forêt galerie et forêt dense sèche) ont été regroupées ainsi que les autres classes (eau, habitat-sol nu, prairie marécageuse, savane herbeuse, savane arbustive, savane arborée et savane boisée) pour produire une carte forêt/non-forêt. Enfin, la précision des classifications obtenues a été évaluée à travers la matrice de confusion. Deux indices de validation de classification ont été employés (18), à savoir la précision globale qui caractérise la proportion de pixels bien classés et l'indice de Kappa qui correspond au rapport entre les pixels correctement classés et l'ensemble des pixels considérés. Une étude peut être validée si l'indice de Kappa est compris entre 50% et 75% (18, 32, 44). L'étude de la dynamique spatiale du couvert forestier a été réalisée avec des données vectorielles. L'A.C.K. a été subdivisé en 488 mailles carrées de 10 km x 10 km dont 411 mailles entières et 77 mailles partielles couvrant plus de 50%. Afin de caractériser la structure spatiale forestière de toute la zone d'étude puis de chaque maille, le nombre de taches forestières et l'aire totale forestière ont été déterminés. L'augmentation du nombre de taches d'une classe est supposée due à la fragmentation de cette classe et renseigne donc sur l'anthropisation du paysage, qui est censée d'aller de pair avec la réduction de l'aire totale de la classe considérée (23, 39). En outre, la distribution cumulative des valeurs de pourcentages des forêts pour les différentes mailles a aussi été étudiée. Pour analyser la dynamique d'occupation du sol entre 2002 et 2015, la matrice de transition a été élaborée en superposant les deux cartes (7, 37, 46). L'arbre de décision (6, 37, 40) a permis de déterminer les processus de transformation spatiale dominant de la forêt au sein de l'A.C.K., ensuite dans chaque maille. Les transformations possibles que peuvent subir une classe au niveau des taches sont: l'agrégation, la

suppression, la création, la déformation, l'élargissement, la perforation, le déplacement, le rétrécissement, la fragmentation et la dissection. Pour séparer la fragmentation de la dissection, la valeur seuil prédéfinie de $t=0,5$ (37, 40, 41) a été comparée au $t_{observé}$ (a_0/a_1). Lorsque $t_{observé} > t$, c'est la fragmentation qui est identifiée.

Afin d'interpréter les tendances de déforestation observées, des cartes ont été produites sur base de la classification initiale (10 classes, donc avant le regroupement des classes) en considérant uniquement la classe «habitat-sol nu», qui est censée refléter l'anthropisation de la zone d'étude entre 2002 et 2015, en particulier l'urbanisation et les infrastructures associées. La correspondance de ces cartes avec la présence des grandes agglomérations et centres d'activités minières à impact spatial majeur a également été visualisée.

Résultats

Les valeurs de précision globale (97,8 et 97,0%) ainsi que les valeurs du coefficient Kappa variant entre 0,95 et 0,90 respectivement pour les images Landsat de 2015 et 2002 démontrent que les classifications réalisées sont recevables (18, 32, 44).

Visuellement, une régression des espaces forestiers entre 2002 et 2015 est remarquable (Figure 2). Cette régression est particulièrement prononcée notamment dans la partie Sud-Est sur la carte de 2015. La matrice de transition (Tableau 1) confirme cette observation; la classe forêt est passée de ~49% en 2002 à ~42% en 2015 soit une régression de ~7% en 13 ans. On y note alors la présence d'un véritable front de déforestation dans lequel la forêt est pourvoyeuse d'espaces et est convertie en d'autres types d'occupation de sol. La déforestation, qui correspond à une superficie proportionnelle cumulative de ~16%, n'est pas compensée par la reforestation, qui ne dépasse pas la superficie proportionnelle cumulative de ~8%.

Le tableau 2 présente les indices de structure spatiale calculés pour les images classifiées de 2002 et 2015. La dissection a été identifiée comme le processus de transformation spatiale régissant l'A.C.K. entre 2002 et 2015 sur toute la zone d'étude pour la classe de forêt contrairement aux zones «Non forêt» qui ont connu une agrégation de leurs éléments paysagers. Quant au nombre de taches, la densité de taches boisées a augmenté tandis qu'une tendance opposée est observée pour les zones «Non forêt».

L'analyse au niveau des mailles (uniquement effectuée pour la classe des forêts) a révélé la présence de 6 processus de transformation spatiale (Figure 3). Ainsi, la déforestation et la reforestation ont été observées de 2002 à 2015, comme déjà indiquée par la matrice de transition.

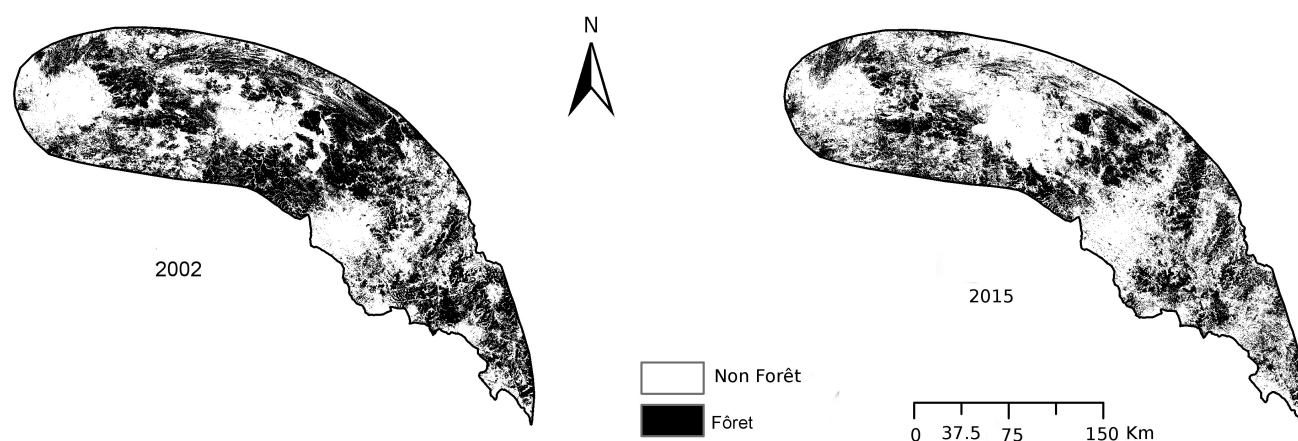


Figure 2: Cartographie de la couverture forestière de l'Arc Cuprifère Katangais sur base des mosaïques d'images Landsat 2002 et 2015 classifiées. Une régression des zones boisées est visuellement remarquable entre 2002 et 2015.

Tableau 1

Matrice de transition (2002-2015) sur base d'images Landsat pour l'Arc Cuprifère Katangais (superficies en % de la zone d'étude; superficie totale: 48.358 km²).

		2015		
		Forêt	Non Forêt	Total
2002	Forêt	33,96	15,51	49,47
	Non Forêt	7,99	42,54	50,53
	Total	41,95	58,05	100

Tableau 2

Analyse de la dynamique spatiotemporelle de l'Arc Cuprifère Katangais entre 2002 et 2015 sur base d'images Landsat.

Récapitulatif des indices de structure spatiale utilisés pour la détermination des processus de transformation spatiale caractérisant l'évolution de la structure spatiale de la forêt (nombre de taches (n); aire totale en km² (a)).

	Forêt	Non Forêt
<i>n</i> ₂₀₀₂	86298	104653
<i>a</i> ₂₀₀₂	46780,4	47787,72
<i>n</i> ₂₀₁₅	138163	102213
<i>a</i> ₂₀₁₅	39672,78	54895,34

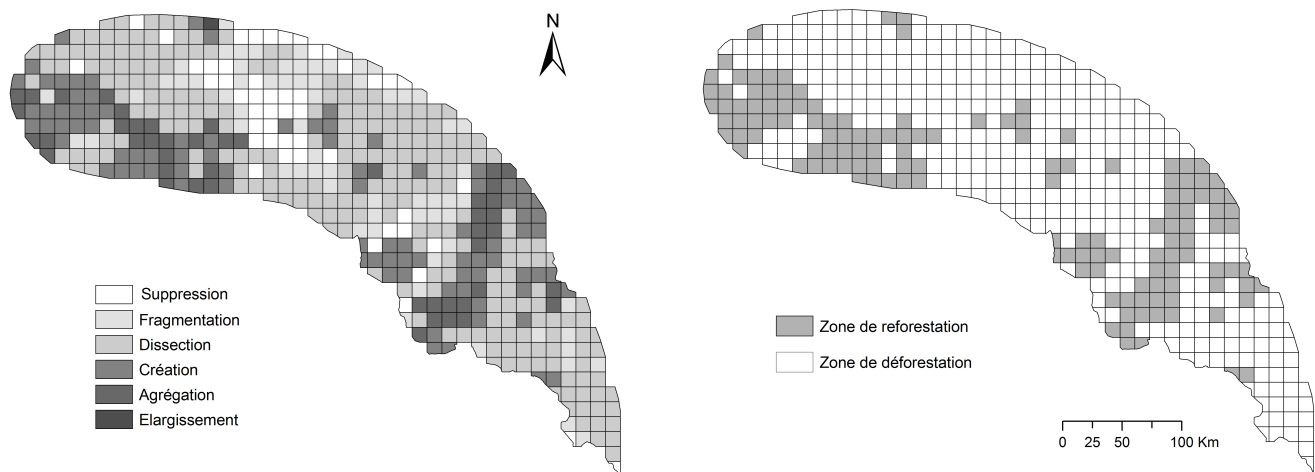


Figure 3: Analyse de la dynamique spatiotemporelle des zones forestières de l'Arc Cuprifère Katangais entre 2002 et 2015. Détermination des processus de transformation spatiale sur base d'images Landsat. Analyse effectuée sur 488 mailles de 10 km x 10 km. La carte supérieure montre les processus de transformation spatiale par maille pour la classe de forêt. La carte inférieure présente l'interprétation des processus de transformation spatiale observés. La dissection est le processus dominant dans l'Arc Cuprifère Katangais accompagnée de la fragmentation et la suppression caractérisant également la déforestation. La création, l'agrégation et l'élargissement sont des processus de reforestation.

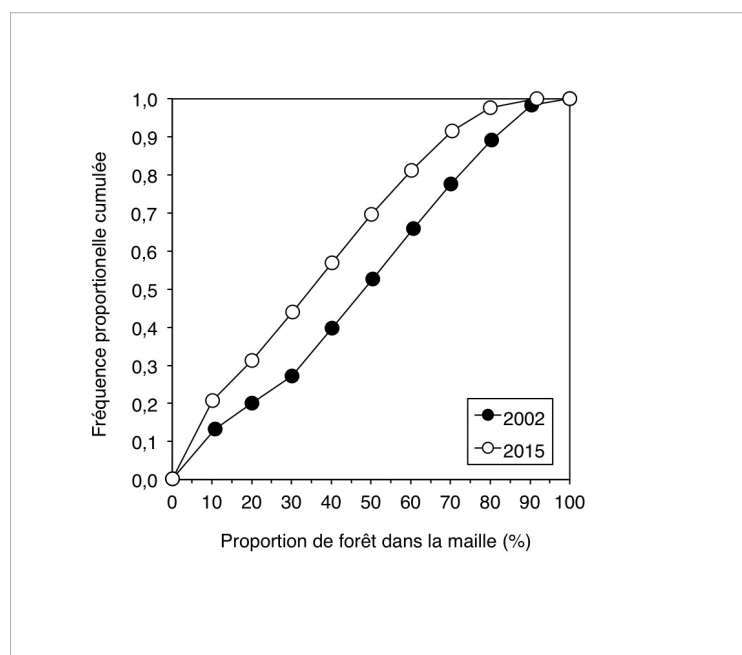


Figure 4: Analyse de la déforestation de l'Arc Cuprifère Katangais (2002-2015) effectuée sur base d'images Landsat. La zone d'étude a été divisée en mailles de 10 km x 10 km. Pour chaque année d'étude et pour l'ensemble des mailles, la distribution cumulative de la proportion de forêt par maille a été étudiée. La position supérieure de la courbe de 2015 par rapport à celle de 2002 indique une évolution vers des proportions de forêt plus faibles. Graphique conçu sur base de valeurs représentatives afin de mieux visualiser la tendance.

La déforestation a été observée sous forme de dissection et comme le processus dominant dans 233 des 488 mailles (~48%), suivi de la fragmentation (68 mailles ; ~14%) et la suppression (49 mailles; ~10%). Par contre, la reforestation a été révélée par la création qui a été le processus dominant sur 90 mailles (~18%), suivi de l'agrégation et de l'agrandissement, respectivement sur 47 mailles (~10%) et 1 maille (~0,2%). La figure 3 montre également les deux grandes tendances observées sur base des processus de transformation spatiale décrits ci-dessus: la déforestation qui se manifeste presque partout dans l'A.C.K., sauf dans trois zones distinctes où la reforestation domine.

Les tendances de déforestation/reforestation sont également illustrées par la distribution cumulative des proportions de forêt par maille (Figure 4). Les allures des courbes mettent en évidence un morcellement des forêts au cours de la période étudiée.

La proportion moyenne diminue de 46,5% à 35,6% entre 2002 et 2015; la proportion médiane connaît une tendance similaire, elle évolue de 48,4% vers 34,2% dans la période étudiée.

Discussion

La visualisation spatiale de l'A.C.K. a été facilitée par la sélection de six scènes Landsat, ayant une résolution spatiale et spectrale appropriée permettant une analyse des patrons paysagers. La disponibilité, le taux de saturation nuageuse (<10%), le caractère saisonnier (mai, en début de saison sèche) ont été les éléments clés dans la sélection des images (7, 11, 14, 37). La composition des mosaïques s'est effectuée avec les bandes spectrales du visible et du proche infrarouge. En effet, elles apportent chacune des renseignements différents et complémentaires sur la couverture du sol et sont fréquemment utilisées en télédétection (11, 12, 34).

Il convient de noter que dans cette étude, la résolution spatiale de l'image Landsat de 30 m x 30 m a été respectée, sans agrégation spatiale ultérieure.

Une application de cette dernière technique aurait pu éviter l'effet « poivre et sel » qui a caractérisé nos cartes d'occupation du sol mais qui également souligne le taux de fragmentation des écosystèmes forestiers.

Les valeurs de précision globale des images classifiées ainsi que les valeurs de coefficient Kappa attestent que les classifications réalisées sont fiables (18, 32, 44). L'examen des résultats des matrices de confusion confirme qu'au niveau des deux images, il n'y a pas eu globalement de fortes confusions entre les classes. Cela s'explique, d'une part, par la qualité des images et, d'autre part, par le choix des sites de validation et la fusion des classes thématiques (3, 46).

Le maillage de 10 km x 10 km utilisé est conforme à d'autres études en rapport avec la thématique. Il est crucial de trouver un compromis entre la réalité du terrain en termes hétérogénéité et la précision spatiale de l'analyse (1). Malgré le découpage potentiel arbitraire des taches par les limites des mailles, ses avantages sont nettement à mettre en évidence. Sa simplicité et sa praticabilité dans le traitement des données sont parmi les principaux arguments qui font du maillage, une méthode adaptée pour une telle étude (1, 48).

En ce qui concerne la visualisation de l'anthropisation, l'étude se limite à la classe « habitat-sol nu » qui représente une relation directe à l'urbanisation et ignore les activités agricoles, étant donné le manque de correspondance directe entre les classes d'occupation du sol obtenues après classification et l'agriculture. Plusieurs classes pourraient être associées aux activités de production agricole ou aux occupations du sol post-culturelles, malheureusement sans exclusivité.

L'illustration d'une zonation de déforestation et de reforestation au sein de l'A.C.K. s'explique par la présence de grandes agglomérations katangaises ainsi que d'infrastructures liées à l'industrie minière (mines à ciel ouvert, sites métallurgiques, réseaux routiers, etc.) (Figure 5), à savoir: (i) au nord-ouest de l'A.C.K., la ville de Kolwezi et la zone minière environnante; (ii) au centre, la ville de Likasi avec sa périphérie minière; et (iii) au sud, les villes de Lubumbashi et Kipushi accompagnées de sites d'extraction. La reforestation se manifeste surtout au sud de la ville de Kolwezi, le long de la frontière avec la Zambie, et dans deux zones distinctes, dont l'une se trouve à plusieurs kilomètres à l'est de Lubumbashi et l'autre aux environs de Kipushi. De 2002 à 2015, la couverture forestière a fortement diminué en passant de 49% en 2002 à 42% en 2015 soit 0,5%/an.

Ce taux de déforestation devient supérieur au taux annuel au niveau national (0,2%) (13, 16, 17) mais rapproche le taux (0,6-1,8%) de ceux qui ont travaillé dans toute l'ancienne province du Katanga (24, 25), dans l'Arc Cuprifère Katangais et le Copper belt zambien (42), et dans la région de Lubumbashi (41). Selon (45) dans sa quantification des forêts de la RDC le taux de déforestation dépendait de facteurs du milieu en interaction avec la société (7).

En effet, après la libéralisation du secteur minier en juillet 2002, l'A.C.K. a connu des flux migratoires occasionnés par le boom minier (24) et par conséquent les pressions anthropiques sur l'environnement se sont multipliées (13, 20). Plusieurs auteurs ont constaté que les activités minières et industrielles poussent les ruraux à abandonner leurs terres à la recherche d'activités plus rémunératrices (49).

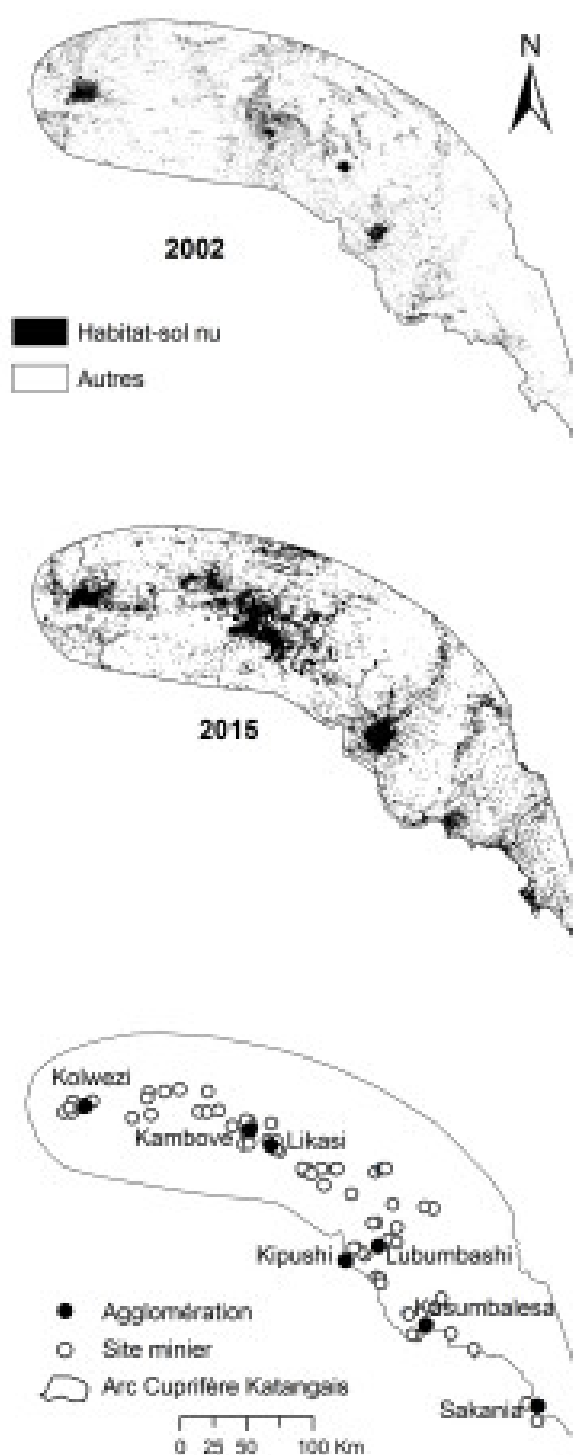


Figure 5: Cartographie de l'anthropisation et l'urbanisation de l'Arc Cuprifère Katangais entre 2002 (carte supérieure) et 2015 (carte centrale) sur base d'images Landsat. L'urbanisation et les infrastructures associées sont visualisées au moyen de la classe «habitat-sol nu». La carte inférieure montre la distribution des agglomérations principales et centres d'activités minières à impact spatial majeur de l'Arc Cuprifère Katangais.

De ce fait, elles forment un noyau à partir duquel la fragmentation s'amplifie suite aux activités anthropiques de fortune qui se créent avec la coupe de bois de feu et de bois d'œuvre, le dessouchage des terrains agricoles, etc. (9, 31, 47). Les indices calculés, ainsi que l'utilisation de l'arbre de décision (6) montrent que les paysages de l'A.C.K. subissent des mutations profondes. Entre 2002 et 2015, la dissection a été le processus de modification identifié pour la classe de forêt. Au niveau des mailles, les forêts de l'A.C.K. ont connu premièrement une déforestation qui s'est matérialisée par une dissection, une fragmentation ou une suppression (24, 25, 40, 42). En cas d'anthropisation du paysage, les taches associées aux activités anthropiques subissent des transformations différentes de celles associées aux formations naturelles (5). L'aire des taches de forêts a diminué suite aux diverses activités anthropiques qui s'imposent et imprègnent des modifications structurales. La prolifération des sites miniers au sein de l'A.C.K. aurait engendré ces modifications. D'ores et déjà les activités minières ont été évoquées comme agissant directement, indirectement et implicitement sur l'environnement (27, 30).

Les processus de dissection, de fragmentation et de suppression reflètent ici l'ouverture des routes pour l'évacuation et l'approvisionnement des sites miniers, la création des agglomérations autour et le long des routes rattachées, lesquelles s'accompagnent d'une forte pression sur l'environnement. Les échanges Chine-R.D. Congo se soldent au sein de l'A.C.K. par la présence de nombreuses collines dénudées de leurs couvertures végétales, des trous béants, des tas de scories, des agglomérations de fortune, etc. (19, 21, 27). En effet, ces accords consistent aux échanges des ressources minières contre la création et l'amélioration des infrastructures routières (19). Dans cette étude, une observation particulière a été révélée.

En l'absence d'activités humaines, certaines mailles enregistrent entre 2002 et 2015, des taches de forêts qui se comportent comme des taches des classes anthropisées. Elles se créent, s'élargissent et s'agrègent. Ces processus impliquent une augmentation de l'aire des forêts, ce qui est en contradiction avec d'autres observations ou hypothèses (5). Cette augmentation de superficie proviendrait de la densification ligneuse.

Cette situation pourrait s'expliquer principalement par l'effet de protection (22, 37).

En effet, dans les concessions privées, le contrôle du feu figure parmi les grandes activités : les forêts ne brûlent généralement pas et sont souvent protégées par des coupes feux (47). De même, les protections naturelles comme les cours d'eau ou la topographie peuvent freiner la fréquence des feux de brousse dévastatrices (35, 36). Ce constat confère aux forêts galeries, et même aux forêts fixées sur les termitières et collines sans ressources minérales exploitables d'être moins vulnérables aux diverses pressions anthropiques (29). Par ailleurs, un effort soutenu du (re)boisement n'est pas à exclure dans les concessions de certaines entreprises minières comme Tenke Fungurume, Kinsevere, Kinsamfu. L'augmentation de la superficie forestière a été constatée dans les concessions protégées au Niger dans le Parc National du W du Niger (PNWN) (22) en Côte d'Ivoire au Nzi-Bandama (29) et au Sénégal à Ferlo (46).

Conclusion

Les analyses montrent que dans la période 2002-2015, les forêts de l'A.C.K. ont principalement subi une « dissection ». Cependant, dans certaines zones, une progression de la forêt a été constatée. Les forêts de l'A.C.K. sont donc exposées à la pression anthropique et nécessite une application des mesures conservatoires et/ou régénératrices. La privatisation de certaines concessions forestières pourrait conduire à la (re)forestation en réduisant la coupe anarchique souvent occasionnée par les conditions socioéconomiques précaires dans lesquelles vivent les populations.

A travers cette étude, des informations nécessaires sont disponibles aux décideurs politiques et aux chercheurs pour une mise en place des politiques de gestion et de conservation durable appropriée susceptible d'inverser cette dynamique de déforestation. Elles pourront également être utilisées dans la prédiction des changements pouvant subvenir à moyen terme dans ce paysage dans le but d'orienter les actions de recherche et de conservation.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ARES-CCD (programme d'Appui Institutionnel avec l'Université de Lubumbashi) ainsi que le Doyen de la Faculté des Sciences Agronomiques.

Références bibliographiques

1. Abdellaoui A., Visan L. & Patru-Stupariu I., 2010, Etude de la viabilité du paysage par analyse de grille dans la région Sous Carpatique dans la Vallée de Prahova (Roumanie), *Revista Geomorfologie*, **12**, 81-90.
2. Aduah M.S., Warburton M.I. & Jewitt G., 2015, Analysis of land cover changes in the Bonsa, catchment, Ankobra Basin, Ghana, *Appl. Ecol. Environ. Res.*, **13**, 935-95.
3. Bamba I., Mama A., Neuba D.F.R., Koffi K.J., Traore D., Visser M., Sinsin B., Lejoly J. & Bogaert J., 2008, Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas Congo (République Démocratique du Congo), *Sci. Nat.*, **5**, 9-60.
4. Bogaert J., Barima Y.S.S., Iyongo W.M.L., Bamba I., Mama A., Toyi M. & Laforzezza R., 2011, *Forest fragmentation: causes, ecological impacts and implications for landscape management*. In: Li C., Laforzezza R. & Chen J., eds. *Landscape ecology ad forest management: challenges and solutions in a changing globe*. Higher Education Press, Beijing and Verlag Heidelberg, Berlin: Springer, 273-296.
5. Bogaert J., Barima Y.S.S., Ji J., Jiang H., Bamba I., Iyongo W.M.L., Mama A., Nyssen E., Dahdouh-Guebas F. & Koedam N., 2011, *A methodological framework to quantify anthropogenic effects on landscape pattern*. In: *Landscape ecology in Asian cultures* (eds S.-K. Hong, J. Wu, J.-E. Kim & N. Nakagoshi). Springer, Verlag, New York. 27p.
6. Bogaert J., Ceulemans R. & Salvador-Van Eysenrode D., 2004, Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation, *Environ. Manage.*, **33**, 62-73.
7. Bogaert J. & Mahamane A., 2005, Ecologie du paysage: cibler la configuration et l'échelle spatiale, *Ann. Sci. Agron. Bénin*, **7**, 1-15.
8. Bruneau J.-C. & Mansila Fu-Kiau., 1986, Kolwezi: L'espace habité et ses problèmes dans le premier centre minier du Zaïre. *Cah. Sci. Hum.*, **22**, 217-229.
9. Burel F. & Baudry J., 2003, *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Paris, France: Tec & Doc., 359p.
10. Christopher J.S. & Timothy A.W., 2002, Scale and texture in digital image classification. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, **68**, 51-63.
11. Collin G.H., Douglas R. R., Thomas C., Edwards Jr. & Allan F., 1997, Landscape Cover-Type Modeling Using a MultiScene Thematic Mapper Mosaic, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, **63**, 59-67.
12. Conghe S., Curtis E.W., Karen C.S., Mary Pax L. & Scott A.M., 2001, Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? *Remote Sens. Environ.*, **75**, 230-244.
13. Defourny J.-P., Delhage C. & Kibambe J.-P., 2011, *Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en République démocratique du Congo*. Rapport, FAO, Kinshasa, République Démocratique du Congo.
14. Defourny P., Vancutsem C., Pekel J.-F., Evrard C. & Malaisse F., 2006, *Carte de l'occupation du sol de la République Démocratique du Congo*. Presses Universitaires de Louvain, Bruxelles.
15. DeWaele S., Muchez Ph., El Desouky H., Haest M. & Heijlen W. 2008, *Multiphase origin of the base metal deposits in the Lufilian fold-and-thrust belt, Katanga* (Democratic Republic of Congo). http://edit.africamuseum.be/geco_website/, 02 Mai 2016.
16. DeWasseige C., De Marken P., Bayol N., Hiol Hiol F., Mayaux Ph., Desclée B., Nasi R., Billand A., Defourny P. & Eba Atyi R., 2012, *Les forêts du bassin du Congo: Etats des forêts 2010*. OSFAC, Office de publication de l'union européenne, Luxembourg, 276p.
17. FAO., 2007, *Situation des forêts en 2007*. Rome, 143p. <http://www.fao.org/docrep/009/a0773f/a0773f00.htm>, 15 Octobre 2014.
18. Fitzgerald R. W. & Lees B.G., 1994, Assessing the classification accuracy of multisource Remote Sensing data, *Remote Sens. Environ.*, **43**, 362-368.
19. Global Witness., 2011, La Chine et le Congo: deux amis dans le besoin. <http://www.globalwitness.org>, 17 Juillet 2014.
20. GROUPE HUIT., 2009, *Elaboration du plan urbain de référence de Lubumbashi*. Rapport final Groupe Huit, BEAU, Ministère des ITR, RD Congo, 62p
21. Ilunga wa Ilunga E., Grégory M., Julien P., Maxime S., Mylor N., Pierre M. & Michel-Pierre F., 2015, *Plant functional traits as a promising tool for the ecological restoration of degraded tropical metal -rich habitats and revegetation of metal-rich bare soils: a case study in copper vegetation of Katanga, DRC*, *Ecol. Eng.*, **82**, 214-221
22. Inoussa M. M., Mahamane A., Mbow C., Saadou M. & Yvonne B., 2011, Dynamique spatio-temporelle des forêts claires dans le Parc National du W du Niger (Afrique de l'Ouest), *Sécheresse*, **22**, 108-116.
23. Jaeger J.A.R., 2000, Landscape division, splitting index and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation, *Landscape Ecol.*, **15**, 115-130.
24. Kabulu D.J., 2011, *Impacts des activités minières sur les écosystèmes au Katanga (République Démocratique du Congo)*. Thèse de doctorat, Université libre de Bruxelles (Belgique), 250p.
25. Kabulu D.J., Bamba I., Munyemba K.F., Defourny P., Vancutsem C., Nyembwe N.S., Ngongo L.M. & Bogaert J., 2008, Analyse de la structure spatiale des forêts au Katanga, *Ann. Fac. Sci. Agron.*, **1**, 12-18.
26. Kalamba T., Khonde M., Ilunga N. & Mansinsa M., 1998, *Monographie de la Province du Katanga, PNUD/UNOPS. Programme national de relance du secteur agricole et rural (PNSAR)*, 137p.
27. Kirsten H. & Megevand C., 2013, *Dynamiques de la déforestation dans le bassin du Congo, Réconcilier la croissance économique et la protection de la forêt*. Document de travail n°4, Washington, DC, World Bank.
28. Koné M., Kouadio K., Yao L. Kouadio Y.L., Neuba D.F.R., Djah F. & Malan D.F., 2014, Dégradation de la forêt dense humide tropicale, cas de la région de l'Indénie-Djuablin à l'Est de la Côte d'Ivoire, *J. Animal & Plant Sci.*, **21**, 3324-3338, <http://www.m.elewa.org/JAPS>, 14 Octobre 2015.

29. Kouassi A.M., Koffi K.F., Ahoussi K.E., Sekouba O.S. & Bieme J., 2012, Impacts conjugués des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les modifications de la couverture végétale dans le bassin versant du Nzi-Bandama (Côte d'Ivoire). *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, **20**, 124-146, <http://www.revist.ci>, 15 Octobre 2015.
30. Kumar A. & Pandey A.C., 2013, Evaluating impact of coal mining activity on land use/land cover using temporal satellite images in south Karanpura coalfields and environs, Jharkhand State, India, *Int. J. Adv. Remote Sens. GIS*, **2**, 183-197.
31. Kumar U., Mukhodhyay C. & Ramachandra T.V., 2009, Spatial data mining and modeling for visualisation of rapid urbanization, *SCIT J.*, **9**, 1-9.
32. Landis J.R. & Koch G.G., 1977, The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics*, **33**, 159-174.
33. Leboeuf A., Samson M.P. & Paquet A., 2015, *Guide d'interprétation des mosaïques d'images Landsat. Direction des inventaires forestiers*, www.mffp.gouv.qc.ca/fr/forets/inventaire, 12 Octobre 2015.
34. Lecerf R., 2008, *Suivi des changements d'occupation et utilisation des sols d'origine anthropique et climatique par télédétection moyenne haute résolution (application à la Bretagne)*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 2, 326p.
35. Malaisse F., 1973, Contribution à l'étude de l'écosystème forêt Claire (Miombo). Note 8, le projet Miombo, *Ann. Univ. Abidjan Ecol.*, **6**, 227-250.
36. Malaisse F., 1997, *Se nourrir en forêt claire africaine, Approche écologique et nutritionnelle*. Gembloux, Belgique: les Presses Agronomiques de Gembloux, 384p.
37. Mama A., Sinsin B., De Cannière C. & Bogaert J., 2013, Anthropisation et dynamique des paysages en zones soudanienne au Nord du Bénin, *Tropicultura*, **31**, 78-88.
38. Mayaux P., Gond V., Massart M., Pain-Orcet M. & Achard F., 2003, Évolution du couvert forestier du bassin du Congo mesurée par télédétection spatiale, *Bois For. Trop.*, **277**, 45-52.
39. McGarigal K. & Cushman S. A., 2002, Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects, *Ecol. Appl.*, **12**, 335-345.
40. Munyemba K., 2010, *Quantification et modélisation de la dynamique paysagère dans la région de Lubumbashi: évaluation de l'impact écologique des dépositions issu de la pyrométallurgie*, Thèse de doctorat. Université de Lubumbashi (RD Congo), 280p.
41. 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**, 3-23.
42. Mwitwa J., German L., Muimba-Kankolongo A. & Puntodewo A., 2012, Governance and sustainability challenges in landscapes shaped by mining: mining forestry linkages and impacts in the Copper Belt of Zambia and the DR Congo, *For. Policy Econ.*, **25**, 19-30.
43. Oswald J., Lefebvre A., Arnault de Sartre X., Thalès M. & Gond V., 2010, Analyse des directions de changement des états de surface végétaux pour renseigner la dynamique du front pionnier de Maçaranduba (para, Brésil) entre 1997 et 2006, *Télédétection*, **9**, 97-111.
44. Pontius R.G.Jr., 2000, Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **66**, 1011-1016.
45. Potapov P.V., Svetlana I., Matthews C.H., Bernard A., Mark B., Alice A., Landing M., Christopher O.J., 2012, Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000-2010, with Landsat ETM+ data, *Remote Sens. Environ.*, **122**, 106-116.
46. Sarr M.A., 2009, Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat, *Cybergeog. Eur. J. Geogr. Environ. Nat., Paysage*, <http://cybergeog.revues.org/22707>, 12 Octobre 2015.
47. Schmitz A., Oumarou F.A. & Rouchiche S., 1996, *Contrôle et utilisation du feu en zones arides et subhumides africaines*. Rome, Cahiers FAO, Conservation 29, 211p.
48. Vigné P., Richard M., Mary J-F, Cahière S., Joly O. & Gourgand B., 2011, Traitement géomatique par carreaux pour l'observation des territoires. CERTU, Normandie-centre, CETE.
49. Wahidi F.L., Bellefontaine R., Quentin P. & Defourny P., 2014, Dynamique de changement de l'arganeraie entre sur-usage et mutation sociale: une opportunité d'équilibre socio-écologique, *J. Agric. Environ. Int. Dev.*, **2**, 108-114.

S. Cabala Kaleba, Congolais, Doctorant, Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomique, Unité de Recherche Écologie, Restauration Écologique et Paysage, Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

Y. Useni Sikuzani, Congolais, Doctorant, Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomique, Unité de Recherche Écologie, Restauration Écologique et Paysage, Centre de Compétences en Planification et Gestion urbaine, Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

K.R. Sambieni, Béninois, Doctorant, Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Campus UNIKIN, Kinshasa, République Démocratique du Congo. Université de Liège, Faculté d'Architecture, Laboratoire Ville-Territoire-Paysage, Liège, Belgique.

J. Bogaert, Belge, Professeur ordinaire, Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Campus UNIKIN, Kinshasa, République Démocratique du Congo. Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité de Biodiversité et Paysage, Gembloux, Belgique.

F. Munyemba Kankumbi, Congolais, Professeur, Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité de Recherche Écologie, Restauration Écologique et Paysage, Lubumbashi, République Démocratique du Congo & Centre de Compétences en Planification et Gestion urbaine, Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

Profitability and Technical Efficiency of Soybean Production in Northern Nigeria

O.O. Ugbabe^{*1}, T. Abdoulaye², A.Y. Kamara², J. Mbavai³ & O. Oyinbo¹

Keywords: Profitability- Efficiency- Soybean production- Nigeria

Summary

The International Institute of Tropical Agriculture and collaborating partners have been introducing and disseminating short season soybean varieties among farm households in the Sudan savannas of Northern Nigeria since 2008. Yet, there is no empirical information on the profitability and technical efficiency of soybean production. This study estimated the profitability and efficiency of production of the early maturing soybean. Nine hundred soybean farming households in thirty communities from three Local Government Areas (LGAs) in Kano State were sampled for the study. Partial budget technique and stochastic frontier production function were used to analyze the data elicited from the sampled farm households. Results from the study established the profitability of soybean production in all the three LGAs of Kano State. The highest profit of N178,613/ha and returns per naira invested of 2.5 respectively was earned by the soybean producing households of Dawakin-Tofa LGA. Net profit was N157,261 in Shanono with a returns of 1.75 per naira invested. In Bunkure, net benefit was N143,342 with returns of 1.66 per Naira invested. The mean technical efficiency was highest for the Dawakin-Tofa LGA soybean growing households (87%), followed by Bunkure LGA (68%), and Shanono LGA (59%). This result implies that given the current level of resources available to the soybean producing households, they can increase their soybean output in the short run by a margin 13%, 32% and 41% in Dawakin-Tofa, Bunkure and Shanono LGAs respectively through efficient utilization of their available resources. Farmer-specific efficiency factors, which comprise age, education, access to credit, extension contact and farming experience, were found to be the significant factors that account for the observed variation in efficiency among the farmers in the 3 LGAs. It was recommended that the soybean farmers through the assistance of extension agents should be encouraged to adhere strictly to the recommended

Résumé

La rentabilité et l'efficacité technique de la production du soja dans le nord du Nigeria

Depuis 2008, l'Institut International d'Agriculture Tropicale et ses partenaires ont introduit et diffusé des variétés hâtives de soja chez les agriculteurs des savanes soudanaises dans le nord du Nigeria. Aucune donnée empirique sur la rentabilité et l'efficacité technique de la production de soja n'est encore disponible d'où l'intérêt de cette étude qui a évalué ces paramètres pour les variétés de soja introduites dans la région. Les échantillons ont été collectés chez neuf cent agriculteurs appartenant à 30 communautés de trois districts de l'État de Kano. La technique du budget partiel et le modèle de frontière de production stochastique ont été utilisés pour analyser les données. Les résultats ont montré que la production de soja était rentable dans les trois districts de l'État de Kano. Les bénéfices et les retours par naira investi les plus élevés ont été obtenus dans la zone de Dawakin-Tofa LGA. Le bénéfice net le plus élevé de 178,613 N/ha et le retour par Naira investi le plus important de 2,5 ont été observés dans la zone de Dawakin-Tofa. Le bénéfice net a été de 157,261 N avec un retour de 1,75 par naira investi dans la zone de Shanono. Pour la zone de Bunkure, le bénéfice net était de 143,342 N avec un retour de 1,66 par Naira investi. La moyenne de l'efficacité technique était plus élevée chez les agriculteurs de la zone de Dawakin-Tofa LGA (87%), suivie par ceux de la zone de Bunkure LGA (68%), et enfin ceux de la zone de Shanono LGA (59%). Ces résultats montrent que les agriculteurs peuvent améliorer leur marge bénéficiaire, compte tenu du niveau actuel des ressources disponibles. La production peut augmenter à court terme avec une marge bénéficiaire de 13%, 32% et 41% respectivement dans les zones de Shanono, Bunkure et Dawakin-Tofa grâce à une amélioration de l'efficacité de l'utilisation de leurs ressources. Les

¹Ahmadu Bello University, Institute for Agricultural Research, Zaria, Nigeria.

²International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.

³Bayero University, Faculty of Education, Kano, Nigeria.

*Corresponding author: ougbabe@yahoo.com

soybean production practices towards ensuring efficient utilization of their available resources so that they can improve their technical efficiency and increase their profit level towards enhancing their household food security.

facteurs d'efficacité propres aux agriculteurs, qui comprennent l'âge, l'éducation, l'accès au crédit, les contacts de vulgarisation et l'expérience en agriculture, ont été considérés comme les plus importants pour expliquer la variation d'efficacité observée chez les agriculteurs des 3 districts. Il est conseillé que les producteurs de soja par l'intermédiaire des agents de vulgarisation soient encouragés à se conformer strictement aux pratiques recommandées de production du soja afin d'assurer une utilisation efficace de leurs ressources disponibles en améliorant leur efficacité technique et en accroissant leur niveau de profit pour assurer la sécurité alimentaire de leur foyer.

Introduction

The cultivation of soybean is increasing in the savannas of Nigeria because it's a major cash crop widely used in food and feed (10, 28). The crop provides opportunity to diversify the cereal cropping systems in the savannas of West Africa. Soybean production is increasing because of its numerous benefits. Soybeans contain about 40% of protein and are more protein-rich than any of the common animal feedstuffs found in Africa. Mixed with cereals, the resulting diet meets the standards of the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) (12). Soybean also contains about 20% oil, which is 85% unsaturated and cholesterol free. Soybean-fortified food products not only have more protein and minerals than their non-fortified counterparts, they are considerably cheaper than other sources of high-quality protein for rural communities such as fish, meat, milk, and protein-rich legumes. Farmers have adopted new cultivars developed at International Institute of Tropical Agriculture (IITA) (21) that store well and unlike cowpea, do not need chemical pest control. They also nodulate freely with native rhizobia strains and take care of their proportion of their nitrogen (N) requirement through biological nitrogen fixation once the plants are established (21). Soybean has become a major cash crop in the Guinea savannas in northern Nigeria. Significant differences in average income have been reported for adopters of soybean varieties with an income of N 7,768 (US\$61) per year as against N 6,834 (US\$54 per year) by non-adopters (20). On human capital, 49% adopters invested in children's education compared to 27.5% for non-adopters due to higher income of the adopters. Soybean production has increased dramatically more than seven fold between 1980 and 2008 according to data from FAO (29). The corresponding increased levels of consumption have improved nutrition particularly among the urban poor and middle income groups (28). The increase in soybean production was particularly higher in Nigeria. Nigeria currently produces about 600,000 Mt of

soybean per year. The two main products from soybean processing are oil and meal. The oil is sold through major markets by wholesalers who in turn sell to distributors and supermarkets. The meal is bought by feed millers direct from the processors and transported to the feed mills and used as protein ingredient in feed mixture and sold to livestock producers particularly the poultry sub-sector. There are good prospects for expanding production in the savanna areas of Nigeria, where it shows significant economic and soil fertility restoration benefits over other crops especially cereals. Traditionally, small-scale farmers grow soybean as a sole crop; intercropping is rarely practiced. Potential soybean grain yields are as high as 3615 kg ha⁻¹ in tropical Africa (11). The promiscuous soybean lines that are now available produce about 2.5 t of grain and 2.5 - 4 t of forage ha⁻¹ and there is every indication that further progress can be made. They fix between 44 and 103 kg N ha⁻¹ of their total N and have an estimated net N balance input from fixation following grain harvest ranging from -8 for the traditionally grown varieties to +43 kg N ha⁻¹ for some improved soybean varieties (27).

In Nigeria, soybean is traditionally grown in the Guinea savannas where rainfall amount and length of growing period are sufficient for the cultivation of the largely medium to late maturing varieties. Because of the cash value and potential for home consumption, farmers in the drier Sudan savannas around Kano, Katsina, Bauchi and Zamfara States also grow some soybean. They however, mostly grow the available late maturing varieties which has a high risk of failure if the rains stop earlier in the season because the Sudan savannas have short growing seasons. The production of soybean in the Nigerian Sudan Savannas can be enhanced through vertical (productivity) and horizontal (area) growth. However, considering the limiting land resource in northern Nigeria, emphasis is placed on increased productivity through use of improved production technologies which efficiently utilise the available productive resources.

Several soybean production technologies including improved varieties, crop management and protection techniques have been continuously generated by agricultural research system and disseminated to farmers for enhancing productivity and profitability. To promote cultivation of soybean in the Sudan Savannas, the Sudan Savanna taskforce of the Kano-Katsina-Maradi Pilot Learning Site (KKM-PLS) program introduced in the cereal-legume-livestock Innovation Platforms (IPs), early maturing and rust resistant soybean varieties that are suitable for cultivation in short-season environments. The project trained lead farmers drawn from several community-based organizations (CBOs) to grow soybean using improved production techniques. The varieties were sourced from the IITA and distributed to the CBOs through the Agricultural Development Programs in Kano and Katsina States. To drive production, the farmers were also linked to industrial processors and local buyers so that soybean can be sold at farm gate at acceptable prices. To promote local consumption, women from the selected communities were provided training in the processing of soybean into various local food products.

The benefits associated with the introduced soybean technologies to smallholder farmers have not been determined. The escalation of the costs inputs especially fertilizers, crop protection chemicals and land rent in northern Nigeria affect benefits of crop production enterprise. It is therefore, important to make serious economic consideration when evaluating production technologies before being recommended for use by the farmers, rather than just evaluating for technical potential. Farmers usually choose and use technologies that are within their technical and economic capacities. Resource-use efficiency measures are important indicators of the viability of any agricultural activity and hence the economic performance of any technology and producer. Efficiency levels can be used to select the most cost-effective input use options and to determine the magnitude of gains that could be obtained by improving efficiency of the existing production technologies (Yegon *et al.* (32)). This can provide farmers with criteria for adjusting the levels of inputs use for maximizing benefits. In a study on determinants of technical efficiency of medium-scale soybean farmers in Benue State, Nigeria, Otitoju and Arene (25) found that the average technical efficiency of the farmers was about 73% and factors such as sex, age and farming experience were significant in influencing their technical efficiency. In another study in Benue State, Nigeria, Aye and Mungatana (5) reported that hybrid seed was found to have positive and significant impact on technical efficiency. Other policy variables that had significant impact on technical efficiency include education, extension, credit and land. Yegon *et al.* (32) estimated the

technical efficiency levels and inefficiency factors of soybean producers in Western Kenya. They found that education level, occupation, age and gender affected technical inefficiency. Education level and occupation had negative effects while age and gender had positive effects on inefficiency. Amaza *et al.* (4) from their study in Borno State Nigeria found the mean farmers' technical efficiency index to be 0.68 and farmer-specific efficiency factors (sex, age and farming experience) accounted for the observed variation in efficiency among the farmers.

Since the introduction of improved soybean varieties by IITA through the Sudan Savannah task force between 2008 - 2010, there has been no empirical study to determine the profitability and technical efficiency of soybean production in the Sudan savannas. This constitutes a gap in research that formed the basis for this study. Hence, to fill the knowledge gap and gain better insight on the status of soybean in the Sudan savannas, this study was carried out to establish the profitability and technical efficiency of soybean production in northern Nigeria.

Methodology

The data for this study were obtained through a household survey that was conducted in January 2015. The main instrument for data collection was a structured questionnaire administered on households by trained enumerators under the supervision of IITA. The modules of the questionnaire included socioeconomic characteristics, quantity of inputs and outputs, costs of inputs and outputs. Also, quarterly soybean price data was obtained from National Agricultural Extension and Research Liaison Services (NAERLS). Three Local Government Areas (LGAs) in Kano State were covered for the purpose of data collection. These consist of Bunkure, Shanono, and Dawakin-Tofa LGAs. Ten villages were selected in each LGA and thirty farming households were randomly selected per village. The total sample size for the study was 900 soybean farming households. The Sudan Savanna taskforce of the KKM-PLS program established field demonstrations in selected communities to show-case the performance of the short-season varieties and the late maturing variety (TGX-1448) which is extensively cultivated in the Guinea savannas was used as control. Farmers were taught to grow soybean in rows at a recommended planting density of 266,666 plants ha⁻¹ between late June and early July. They were advised to use phosphorus fertilizer in the form of single superphosphate at the rate of 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ and the farmers followed all the field operations up to the harvesting, threshing and packaging.

The partial budget technique and the stochastic frontier production function were used to estimate the profitability and the technical efficiency of soybean production respectively. The partial budget technique

provides actual information on farm-input use and their costs, output and output prices, and farmers' gross margins. The gross margin indicates the returns to farmers' resources, which consist of land, labor, capital, and other production inputs. The procedure involved the estimation of the costs and returns from soybean production data based on 2014 crop production season. To estimate the gross margin, data on production cost and gross revenue from soybean outputs were collected from the sampled farmers. In estimating the production cost, family labor cost which was not paid for by the farmers, was estimated as its opportunity cost by using the market wage rate for labor in the study area. The gross margin from soybean production activities is the gross value of soybean outputs less all the variable costs incurred on soybean during the production year (2014).

One of the tools in economics used to determine the economic benefits of technologies is partial budget analysis. A budget is a farm management method that is intended to assist researchers, extension agents, and farmers in the decision-making process. It is a tool that aims at quantifying and assessing the effects of a proposed technology on crop production. Results from partial budget analysis assist agricultural scientists in identifying weaknesses (high cost and/or low income) of the technology being developed. Partial budget analysis aids scientists and extension agents in deciding which technology to recommend to farmers. Partial budget analysis shows the level of profitability and helps to decide whether to adopt a new technology or not. Budgeting forces management to think ahead, and aid sound decision-making. Partial budget analysis can apply to all crops and cropping systems (2). The data was analyzed using the partial budget technique.

Efficiency can be defined as the relative performance of the process used in transforming input into output (16). It can be defined as the attainment of production goals without waste. Agricultural productivity depends on how factors are efficiently used in the production process. Technical efficiency is defined as the ability to produce a given level of output with minimum quantity of inputs under a certain technology. It reflects the ability of a farm to obtain maximum output from a given level of inputs (14). According to (17) technical efficiency is just one component of overall economic efficiency. Profit maximization requires a firm to produce the maximum output given the level of inputs employed (technical efficiency). "The level of technical efficiency of a particular firm is characterized by the relationship between observed production and some ideal or potential production (15).

The measurement of firm specific technical efficiency is based upon deviations of observed output from the best production or efficient production frontier. If a firm's actual production point lies on the frontier, it is perfectly efficient. If it lies below the frontier then it

is technically inefficient, with the ratio of the actual to potential production defining the level of efficiency of the individual firm. There are several important reasons for measuring the farm level technical efficiency of agricultural production. Firstly, if farmers are not making efficient use of existing technologies, then efforts designed to improve efficiency would be more cost effective than introducing a new technology as a means of increasing output (30). Secondly, identification of sources of inefficiency is important to the institution of public and private policies designed to improve performance of agriculture (9).

Empirical models

Estimation of gross margin

The gross margin is estimated as given by equation I (24).

$$GM = \sum p_i q_i - \sum r_j x_j \quad (I)$$

Where:

GM= farm gross margin,

p_i = unit price of output i ,

q_i = quantity of output i ,

r_j = unit cost of variable input j ,

x_j = quantity of the variable input j .

Stochastic frontier production function

Although, there are different functional forms of stochastic frontier, the data was fitted to Cobb-Douglas and translog functional forms using frontier version 4.1 software and the most preferred

functional form was selected based on the result of generalized likelihood ratio test as used by Otitoju *et al.* (26).

The empirical model of the stochastic frontier Cobb-Douglas and translog functional forms in the analysis of technical efficiency of soybean production is specified explicitly in equations II and III respectively as given by Battese and Coelli (6).

$$\ln Y_i = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + V_i - U_i \quad (II)$$

$$\begin{aligned} \ln Y_i = & \ln \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + \frac{1}{2} \beta_{11} (\ln X_1)^2 + \frac{1}{2} \beta_{22} (\ln X_2)^2 + \frac{1}{2} \beta_{33} (\ln X_3)^2 + \frac{1}{2} \beta_{44} (\ln X_4)^2 + \\ & \beta_{12} [(\ln X_1) \times (\ln X_2)]^2 + \beta_{13} [(\ln X_1) \times (\ln X_3)]^2 + \\ & \beta_{14} [(\ln X_1) \times (\ln X_4)]^2 + \beta_{23} [(\ln X_2) \times (\ln X_3)]^2 + \\ & \beta_{24} [(\ln X_2) \times (\ln X_4)]^2 + \beta_{34} [(\ln X_3) \times (\ln X_4)]^2 + V_i - U_i \quad (III) \end{aligned}$$

Where:

Y_i = Output of soybean in kilograms,

X_1 = Farm size in hectare,

X_2 = Quantity of seed in kilograms,

X_3 = Quantity of fertilizer in kilograms,

X_4 = Labour in man-days,

V_i = Random variability in production that cannot be influenced by the farmers,

U_i = Deviation from maximum potential output attributable to technical inefficiency,

β = vector of production function parameters estimated.

$\ln$ = natural logarithm

The *a priori* expectations of the relationship between farm size, seed, fertilizer and labour with the output of soybean is that their estimated coefficients should be positive.

The inefficiency model is stated in equation III (6).

$$U_i = \alpha_0 + \alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2 + \alpha_3 Z_3 + \alpha_4 Z_4 + \dots + \alpha_8 Z_8 \quad (3)$$

Where:

U_i = technical inefficiency effect of the *i*th soybean farmer,

Z_1 = Age of the farmers (years)

Z_2 = Marital status (Dummy: 1 married, 0 otherwise)

Z_3 = Level of formal education (years of formal schooling)

Z_4 = Household size (number of the members of a given household)

Z_5 = Farming experience (years of experience)

Z_6 = Extension contact (frequency of extension contacts)

Z_7 = Membership of association (years of participation in farmer associations)

Z_8 = Access to credit (amount of credit obtained in naira)

α = parameters estimated.

On the assumption that V_i and U_i are independent and normally distributed, the parameters namely β , α , σ^2 and γ were estimated by the method of Maximum Likelihood Estimates (MLE). A significant value of sigma squared (σ^2) indicates a good fit and the correctness of the specified distributional assumption of the composite error terms in the estimated models. Also, a significant value of gamma (γ) for the estimated models indicates the shortfall below the frontier output of the soybean farmers that was due to the inefficiencies of the farmers. The *a priori* expectations of the variables of the inefficiency effect model (Z_1 - Z_8) are that their estimated coefficients should be negative.

The generalized likelihood ratio test statistic was calculated in equation IV.

$$\lambda = -2\ln[L(H_0) - L(H^1)] \quad (IV)$$

$L(H_0)$ is the value of the likelihood function for the frontier model in which parameter restrictions specified by null hypothesis are imposed and $L(H^1)$ is the value of likelihood function of the frontier model. If H_0 is true then λ has approximately a *chi-square* distribution with degrees of freedom equal to the difference between the parameter estimated under H_0 and H^1 respectively.

Results and discussion

The result presented in table 1 show the basic statistics of inputs and output of soybean production and the socioeconomic characteristics of the soybean farmers. The average output of soybean was 2216.45 kg, seed was 7.55 kg, farm size was 1.24 ha, fertilizer was 210.55kg and labour was 52.25 man-days. The output of soybean and fertilizer input were higher in comparison with the findings of Otitoju *et al.* (26) but the farm size was lower which indicates that the soybean farmers were averagely small scale producers. The mean age of 48 years indicates that the farmers are still economically active in production of soybean. The mean of the other socioeconomic characteristics indicates that they have low formal education, low access to extension, low access to credit with relatively high household size and also, high farming experience. These characteristics could influence the technical efficiency of the soybean farmers.

Average costs and returns (profitability) of soybean production per hectare

The result in table 2 reveals that fertilizer and labour costs accounted for over 80% of the total variable cost in the three LGAs. The highest soybean yield of 2,110 kg/ha was recorded by the soybean producing households of Shanono LGA, followed by soybean producers of Bunkure LGA (2,012.70 kg/ha) and soybean producers of Dawakin-Tofa (1,984.40 kg/ha). Other factors such as crop management practices may play a part in the soybean yield attained by the LGAs.

Soybean production in the three LGAs was profitable. This result is in line with the findings of Olorunsanya *et al.* (23) who reported that soybean production in Kwara State, Nigeria was profitable. Also, a study conducted by Wilson *et al.* (31) in Chereponi District and Saboba District of northern Ghana revealed that soybean production was profitable in Saboba but not in Chereponi District. Although, soybean production was profitable in the three LGAs, the highest profit (gross margin) and returns per naira invested of N178, 613.22 and 2.5 respectively was earned by the soybean producing households of Dawakin-Tofa LGA. The major factor that accounted for differences in the level of profitability from soybean production in the three LGAs hinges on the ease of access to inputs and output markets. Farmers in Dawakin-Tofa LGA in purchase their inputs (seeds, fertilizers and agro-chemicals) at relatively lower costs in a major regional market known as Dawanau. Also, the sales price of soybean was relatively more attractive in Dawakin-Tofa LGA.

The unit price per kilogram of soybean was highest (N126) in Dawakin-Tofa LGA compared to N117 and N114 unit prices for Shanono and Bunkure LGAs respectively amongst the three LGAs.

Table 1
Summary statistics of variables used in analysis variables.

	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
Soybean output (kg)	410.24	17453.10	2216.45	1365.21
Seed (kg)	2.3	26.50	7.55	2.36
Land (ha)	0.21	11.25	1.24	5.19
Fertilizer (kg)	0	625.00	210.55	147.20
Labour (man-days)	18.62	145.70	52.25	17.90
Age (years)	23	72	48	12.50
Education (years)	0	29	6	2.11
Household size (household number)	1	33	9	6.38
Farming experience (years)	2	49	16	4.29
Extension (number of contacts)	0	27	4	5.84
Association (years)	0	22	7	4.91
Access to credit (naira)	0	560750.00	25620.65	13022.46

Table 2
Average costs and returns (profitability) of soybean production per hectare.

Item (costs)	Bunkure Amount (N)	Shanono Amount (N)	Daw akin Tofa Amount (N)
Cost of seeds	6, 544.20 (7.6)	5, 156.50 (5.8)	3, 560.45 (5.0)
Cost of labour	38, 567.83 (44.8)	44, 540.01 (49.6)	39, 159.22 (54.8)
Cost of fertilizer	36, 893.55 (42.8)	35, 651.42 (39.8)	25, 300.50 (35.4)
Cost of agrochemicals	4, 100.28 (4.8)	4, 267.40 (4.8)	3, 401.01 (4.8)
Total variable cost (TVC)	86, 105.86	89, 615.33	71, 421.18
Returns			
Yield (kg/ha)	2, 012.70	2, 110.05	1, 984.40
Unit price	114	117	126
Gross income (GI)	229, 447.80	246, 875.85	250, 034.40
GM = GI - TVC	143, 341.94	157, 260.52	178, 613.22
Returns per naira invested (GM/TVC)	1.66	1.75	2.5

NB: Values in parenthesis are percentages of TVC
Official exchange rate at the time of the study: 1US\$ = N 198

Table 3
Test of difference of means (ANOVA) of the gross margin of Soybean between the LGAs.

	Sum of squares	Df	Mean square	F value	Sig.
Between Groups	2.46E+10	2	1.56E+10	10.33*	.000
Within groups	1.74E+11	597	1.92E+09		
Total	2.84E+11	599			

NB: *p<0.01

The ANOVA result for testing the mean difference of gross margin of soybean between the three LGAs as shown in Table 3 indicate that there is significant variation in the profitability of soybean between the three LGAs. This implies that although soybean production is profitable in the three LGAs, there is a significant difference in the profitability between the LGAs and Dawakin-Tofa LGA had the highest profitability while Bunkure LGA had the lowest profitability. The results of the profitability test presented in Table 4 shows that in each of the LGAs, profitability of soybean production was significant. Hence, soybean production in the study area holds a bright future in income generation for farming households, poverty reduction and enhanced food security. This result compares favourably with Biam and Tsue (7) whose result showed that profitability of soybean in Benue, Niger and Plateau States was statistically significant and not due to chance.

Gross margin of soybean production per hectare over different times of the year

A further analysis was undertaken to examine the profitability of soybean across different times of the year because of the seasonal price variation of agricultural products. The result presented in Table 5 revealed that soybean in all the LGAs was more profitable in the third quarter (July to September) of the year, because the unit price of soybean (N153/kilogram) was highest during this period. This is because the period is the peak of the off-season, and demand for soybean is usually higher than the

supply during this period. The soybean supply is low as new soybean crops are yet to be harvested. This result implies that soybean farmers who can store their produce until the peak of the off-season stand a better chance of getting more favourable price and generating higher income to improve the well-being of their households. The lowest profitability of soybean was in the fourth quarter (October to December) of the year. This is harvesting period, and farmers who have limited storage capacity often sell immediately after harvest when prices are low (N120/kilogram) due to excess supply in the market.

Most farmers sell their soybean during the harvest season inspite of the lower unit price to meet their household demand for necessities such as food, clothing, shelter, healthcare, education *et cetera*.

Soybean growing households' income from other major crops in the study area

The income earned from soybean production in 2014 was higher than the income earned from established legumes like cowpea and groundnut in all the three LGAs as presented in Table 3. This implies that soybean is a good alternative crop to farming households in the dry savannah of Nigeria because of the huge cash income that the farmers generate from its cropping and the low production cost associated with it.

Table 4

T-test of the profitability of Soybean in each LGA.

LGAs	Total revenue	Total variable cost	Gross margin	Profitability test (t-value)	Sig.
Bunkure	229, 447.80	86, 105.86	143, 341.94	8.82*	.000
Shanono	246, 875.85	89, 615.33	157, 260.52	7.55*	.000
Daw akin-Tofa	250, 034.40	71, 421.18	178, 613.22	12.49*	.000

NB: *p<0.01

Table 5

Gross margin of soybean production per hectare over different times of the year.

Average unit price Amount (N)	Bunkure Amount (N)	Shanono Amount (N)	Daw akin Tofa Amount (N)
First quarter (137)	189, 64.04	199, 461.52	200, 441.62
Second quarter (149)	213, 786.44	224, 782.12	224, 254.42
Third quarter (153)	221, 37.24	233, 222.32	232, 192.02
Fourth quarter (120)	155, 418.14	163, 590.67	166, 706.82

NB: * Average unit price of soybean in the study area over the four quarters of 2015

Source of price data (16)

Official exchange rate at the time of the study: 1US\$ = N 198

Table 6

Crop income sources of soybean growing households from other major crops.

Crop income sources	Bunkure Mean(N)	Shanono Mean(N)	Daw akin-Tofa Mean(N)
Income from sale of Soybean	143341.94	157260.52	178613.22
Income from sale of Cow pea	38329.71	42528.78	36624.14
Income from sale of Groundnut	44506.90	50805.84	27302.70
Income from sale of Maize	49114.05	86934.37	59242.42

Table 7
Results of generalized log likelihood-ratio tests of null hypotheses.

LGAs	Null hypothesis	LLF ₀	LLF ₁	LR statistic	Critical value (5%)	Decision
Bunkure	$H_0: \beta_i = 0$	-503.16	-494.22	17.88	18.31	Accept H_0
Shanono	$H_0: \beta_i = 0$	-642.27	-638.99	6.56	18.31	Accept H_0
Dawakin-Tofa	$H_0: \beta_i = 0$	-294.55	-287.44	14.22	18.31	Accept H_0

NB: $H_0: \beta_{ij} = 0$ means the ten second-order parameters are set to 0

Technical efficiency of soybean production in the study area

The results of the generalized likelihood ratio test of null hypotheses ($H_0: \beta_{ij}=0$) is presented in Table 7. The calculated likelihood ratio statistic for the estimated models in the LGAs exceeded the chi square value at 5% which indicates that the null hypotheses is accepted and this implies that Cobb-Douglas frontier model produced an adequate representation of the data. Therefore, it is the most preferred model and the discussion of findings will be based on the results of the estimated Cobb-Douglas functional form. This result is not consistent with the findings of Otitoju *et al.* (26) who reported that the translog functional form was preferred over the Cobb-Douglas functional form using data on soybean production in Benue state, Nigeria. This difference in functional form between the two studies could be because the data for the two studies were generated from different farmers, different agroecological zones and different point in time.

The MLE estimates of the parameters of the stochastic frontier Cobb-Douglas production function as presented in Table 8 shows that the estimated sigma squared for soybean farmers in Bunkure (5.09), Shanono (5.39) and Dawakin-Tofa (3.59) were significantly different from zero at 1% level respectively. This indicates a good fit and the correctness of the specified distributional assumption of the composite error terms in the estimated models for the soybean farmers of Bunkure, Shanono and Dawakin-Tofa LGAs respectively. The value of gamma for soybean farmers in Bunkure (0.21), Shanono (0.11) and Dawakin-Tofa (0.69) were all significant at 1% suggesting that 21%, 11% and 68% of the shortfall below the frontier output of the soybean farmers of Bunkure, Shanono and Dawakin-Tofa LGAs respectively was due to the inefficiencies of the farmers.

The estimated coefficients of seed and fertilizer in all the 3 LGAs were in line with a priori expectation as they are positively related with the output of the soybean farmers and this implies that an increase in the use of these inputs will have the tendency of increasing output of soybean production.

This result agrees with that of Okoruwa and Ogundele (22) who reported a positive relationship

between seed and output of rice farmers in a study on technical efficiency differentials of rice production technologies in Nigeria. Also, Ogundari *et al.* (19) reported a positive relationship between fertilizer and output levels of farmers.

The estimated coefficients of seeds were significant at 1% and 5% probability levels in Bunkure and Dawakin-Tofa LGAs respectively but not significant in Shanono. The estimated coefficients of fertilizer were not significant in all the LGAs and this could be due to underutilization of this resource, suggesting that the farmers were unable to apply the recommended fertilizer rates for soybean.

Farm size was negatively related with soybean output in all the LGAs and this could be due to overutilization of farm arising from having excess plant population per unit area which is above the recommended plant density for soybean. The implication is that you cannot increase soybean yields in this LGA by increasing farm size without adhering to the recommended plant density for soybean production. However, farm size was only significant in Shanono and Dawakin-Tofa at 5% and 10% probability levels respectively. The estimated coefficient of labour in Bunkure LGA negatively related to output of soybean and was significant at 1% probability suggesting that an increase in the use of labour will have the tendency of reducing output.

This implies that to maintain the cost of production at the limit of their lean resources when additional hired labour is to be consumed, the resource-poor soybean farmers must cut down the level of their production. This finding is in line with Asogwa *et al.* (4) that found that labour had a negative influence on the output of rural farmers in a study on technical and allocative efficiency analysis of Nigerian rural farmers. In Shanono and Dawakin-Tofa LGAs, the estimated coefficients of labour were positively related to output of labour as expected but were not significant. The result of the determinants of inefficiency from the estimated inefficiency model is reported in Table 8. A negative sign on a parameter means that the variable reduces technical inefficiency (therefore increases technical efficiency), while a positive sign increases technical inefficiency. The results showed that the estimated coefficients of age of farmers, marital status, and education have negative signs

Table 8
Technical efficiency of soybean producing households based on Cobb-douglas function.

Variables	Parameters	Bunkure LGA		Shanono LGA		Dawakin-Tofa LGA	
		Coeff.	T value	Coeff.	T value	Coeff.	T value
Constant	β_0	6.52	6.82***	5.52	5.63***	4.30	4.20***
Farm size (X_1)	β_1	-0.33	-1.36	-1.96	-2.57**	-0.54	-1.70*
Seed (X_2)	β_2	0.78	3.91***	0.64	0.66	0.73	2.14**
Fertilizer (X_3)	β_3	0.08	0.63	2.02	6.62***	0.10	0.68
Labour (X_4)	β_4	-8.25	-4.50***	0.10	0.13	0.31	1.25
Inefficiency model							
Constant	α_0	0.01	0.01	-3.79	-3.82***	0.01	66.58***
Age of farmer (Z_1)	α_1	-0.02	-0.69	0.02	0.35	0.25	1.35
Marital status (Z_2)	α_2	-1.89	-4.15***	-0.01	-0.01	0.01	0.01
Education (Z_3)	α_3	-0.01	-0.07	-0.02	-0.19	-0.05	-0.15
Household size (Z_4)	α_4	0.09	1.73*	-0.64	-8.75***	0.05	0.42
Farming experience (Z_5)	α_5	0.02	0.76	-0.07	-2.28**	-0.24	-3.19***
Extension contact (Z_6)	α_6	0.10	0.61	0.06	0.63	-0.73	-1.70*
Association (Z_7)	α_7	1.18	2.50**	-0.01	-0.01	-0.06	-0.07
Access to credit (Z_8)	α_8	0.00	1.44	-0.00	-7.75***	0.00	1.20
Variance parameters							
Sigma squared	σ^2	5.09	8.01***	5.35	5.59***	3.79	3.91***
Gamma	Γ	0.21	13.22***	0.11	5.59***	0.68	8.51***
Log likelihood function		-503.16		-642.27		-294.55	
Mean Technical Efficiency	TE	0.68		0.59		0.87	

NB: ***p<0.01; **p<0.05; *p<0.10.

among the soybean producing households in Bunkure LGA implying that they have the tendency of reducing their technical inefficiency (or increase technical efficiency) of soybean production. However, it was only marital status that was significant at 1% probability level. In Shanono LGA, the estimated coefficients of marital status, education, household size, farming experience, membership of association and access to credit were all negative indicating that they all reduce inefficiency in soybean production. However, only household size, farming experience and access to credit were significant at 1%, 5% and 1% probability levels respectively.

An increase in household size could inject more farm labor thereby reducing the cost of hired labour incurred and stimulate more soybean production. This finding agrees with that of Ahmadu and Erhabor (1) who reported that family size was negative and significantly related to the technical inefficiency of rice farmers in Taraba State, Nigeria. An increase in farming experience of the soybean farmers decreases their technical inefficiency as a result of the management skills they acquired over time. This finding compares favourably with that of Asogwa et al. (4) who reported that farming experience was negative and significantly influenced the output of farmers. Increase in the farmers access to credit have the tendency of reducing their technical inefficiency as credit affords them the opportunity of ensuring timely purchase of inputs for soybean production and

access improved technologies for soybean production in the LGA. This finding agrees with Ogundari et al. (19) that found access to credit was negative and significantly influenced the technical inefficiency of rainfed rice farmers in Ondo State, Nigeria. In Dawakin-Tofa LGA, the estimated coefficients of education, farming experience, extension contacts and membership of association were all negative suggesting that they reduced inefficiency in soybean production. Only extension contact and farming experience were significant at 10% and 1% probability levels respectively.

Technical efficiency scores of the soybean growing households in the study area

The results in Table 10 showed that the mean technical efficiency was highest for Dawakin-Tofa LGA soybean growing households (87%), followed by Bunkure LGA soybean growing households (68%), and Shanono LGA soybean growing households (59%). In comparison with a similar study conducted in northern Ghana by Etwire *et al.* (13), the mean technical efficiency estimate of the soybean farmers in Dawakin-Tofa, Bunkure and Shanono were higher than the mean technical efficiency of 53% obtained in northern Ghana. Soybean growers in Dawakin-Tofa were more technically efficient than the soybean growers in the other two LGAs as they managed their production inputs (seed, fertilizer, labour and farm

Table 9
Technical efficiency of soybean producing households based on translog function.

Variables	Parameters	Bunkure LGA		Shanono LGA		Daw akin-Tofa LGA	
		Coeff.	T value	Coeff.	T value	Coeff.	T value
Constant	β_0	3.11	2.94***	2.75	1.93*	6.58	3.01***
Farm size (X_1)	β_1	0.92	2.36***	-0.55	-1.33	-1.21	-1.68*
Seed (X_2)	β_2	1.22	2.02**	0.85	1.59	1.35	1.60
Fertilizer (X_3)	β_3	-1.13	-1.42	0.65	2.21**	-0.32	-1.70*
Labour (X_4)	β_4	-0.50	-0.91	1.33	3.01***	1.41	0.95
$\frac{1}{2}(\text{Farm size})^2$	β_{11}	0.64	0.88	0.59	2.67***	0.78	0.92
$\frac{1}{2}(\text{Seed})^2$	β_{22}	-0.51	0.78	0.37	0.81	0.62	1.95
$\frac{1}{2}(\text{Fertilizer})^2$	β_{33}	1.28	2.84***	-0.21	-1.54	0.77	1.02
$\frac{1}{2}(\text{Labour})^2$	β_{44}	-1.06	-0.71	1.31	0.88	-1.33	-1.60
$[(\text{Farm size}) \times (\text{Seed})]^2$	β_{12}	0.56	1.32	0.91	5.41***	-0.08	-1.12
$[(\text{Farm size}) \times (\text{Fertilizer})]^2$	β_{13}	1.59	0.11	0.09	1.55	1.02	3.89***
$[(\text{Farm size}) \times (\text{Labour})]^2$	β_{14}	-0.84	-1.99**	0.31	2.56***	0.46	0.87
$[(\text{Seed}) \times (\text{Fertilizer})]^2$	β_{23}	0.05	1.61	-0.45	-0.71	-0.05	-1.33
$[(\text{Seed}) \times (\text{Labour})]^2$	β_{24}	1.44	0.58	1.35	0.23	-0.53	-1.95*
$[(\text{Fertilizer}) \times (\text{Labour})]^2$	β_{34}	-0.78	-4.32***	0.06	1.19	0.85	1.38
Inefficiency model							
Constant	α_0	2.11	5.22***	1.25	2.64***	4.21	3.01***
Age of farmer (Z_1)	α_1	0.33	2.88***	-0.19	-1.59	0.66	1.94*
Marital status (Z_2)	α_2	0.05	1.09	-0.17	-1.68*	-1.28	2.61***
Education (Z_3)	α_3	-0.07	-2.95***	-1.10	-1.53	0.51	1.23
Household size (Z_4)	α_4	-0.33	1.56	-1.29	-0.67	0.25	0.88
Farming experience (Z_5)	α_5	-1.44	-1.80*	-0.15	-1.50	-0.91	-5.03***
Extension contact (Z_6)	α_6	-0.89	-1.07	-0.73	-1.37	1.01	0.84
Association (Z_7)	α_7	0.93	1.38	-1.22	-4.16***	-1.25	-1.33
Access to credit (Z_8)	α_8	0.09	1.50	-0.02	-1.68*	-0.34	-1.02
Variance parameters							
Sigma squared	σ^2	1.21	3.22***	2.08	1.93*	1.71	2.41***
Gamma	Γ	0.48	4.51***	0.09	2.01**	0.22	4.19***
Log likelihood function		-494.22		-638.99		-287.44	
Mean Technical Efficiency	TE	0.68		0.87		0.59	

NB: ***p<0.01; **p<0.05; *p<0.10.

Table 10
Technical efficiency scores for soybean producing households.

Estimate	Bunkure (%)	Shanono (%)	Daw akin-Tofa (%)
Maximum	98	92	97
Minimum	10	36	10
Mean	68	59	87

size) better than the soybean farmers in Bunkure and Shanono LGAs. However, all the soybean producing households were yet to attain 100% frontier output as 13%, 32% and 41% of potential soybean yields were lost respectively in Dawakin-Tofa, Bunkure and Shanono LGAs due to inefficiency in soybean production. This result implies that given the current level of resources available to the soybean producing households, they can enhance their soybean output in the short run by a margin of 13%, 32% and 41% in Dawakin-Tofa, Bunkure and Shanono LGAs respectively through efficient utilization of their available resources.

This requires that the soybean farmers will ensure that they utilize the recommended soybean production practices they are exposed to via extension activities. As noted by Bifarin *et al.* (8), public investment geared to improve the provision of managerial support and dissemination of information to smallholder farmers via extension programs, or other forms of non-formal education, are likely to lead to higher levels of efficiency. The minimum and maximum technical efficiencies estimates for the soybean growing households were 10-98%, 36-92% and 10-97% in Bunkure, Shanono, and Dawakin Tofa LGAs respectively. This means the most technically efficient farmer was amongst the Bunkure LGA soybean growing households (98% technical efficiency score), while the least efficient soybean producing households were in Bunkure and Dawakin-Tofa LGAs (10% technical efficiency scores).

Conclusion

This study has established that soybean production is profitable in the dry savannah of northern Nigeria despite the high cost of fertilizer and labour inputs and also, the profitability of soybean varied across the three LGAs of the study area. Considering the high cost of fertilizer and labour inputs in soybean production, any intervention that will reduce fertilizer and labour costs may increase the profitability of soybean in the study area.

Findings from the technical efficiency estimation indicated that all the soybean producing households were yet to attain frontier output (100%), as 13%, 32% and 41% of potential soybean yields were lost respectively in Dawakin-Tofa, Bunkure and Shanono LGAs due to inefficiency in soybean production. The policy implication of the study is that technical efficiency in soybean production could be increased by 13, 32 and 41% respectively in Dawakin-Tofa, Bunkure and Shanono LGAs through improved use of available resources, given the current state of technology. This can be achieved through improved farmer-specific efficiency factors, which include access to credit for farmers in Shanono LGA, education for farmers in Bunkure LGA and extension contact, access to credit for farmers in Dawakin Tofa LGA.

Based on the findings of the study, it is recommended that the soybean farmers through extension agents should be encouraged to adhere strictly to the recommended soybean production practices towards ensuring efficient utilization of their available resources so that they can improve their technical efficiency, profit generation and the welfare of their households.

Acknowledgements

This paper is based on research that was conducted as part of promoting soybean for income and food security in the dry savannah of northern Nigeria, Kano State. The authors acknowledged the Alliance for Green Revolution in Africa (AGRA) for funding the project, and International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Nigeria for providing the improved early maturing soybean varieties for dissemination to farmers.

Literature

1. Ahmadu J. & Erhabor P.O., 2012, Determinants of Technical Efficiency of Rice Farmers in Taraba State, Nigeria, *Niger, J. Agric. Food Env.*, **8**, 3, 78-84.
2. Alimi T. & Manyong V.M., 2000, "Partial Budget Analysis for On-Farm Research". Research Guide No. 65. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.
3. Amaza P.S., Bila Y. & Iheanacho A.C., 2006, Identification of Factors that Influence Technical Efficiency of Food Crop Production in West: Empirical Evidence from Borno State, Nigeria, *J. Agric. Rural Dev. Trop. Subtrop.*, **7**, 2, 139-147.
4. Asogwa B.C., Umeh J.C. & Penda S.T., 2011, Analysis of Economic Efficiency of Nigerian Small Scale Farmers: A Parametric Frontier Approach, *J. Econ.*, **2**, 2, 89-98.
5. Aye G.C. & Mungatana E.D., 2000, Technical Efficiency of Traditional and Hybrid Maize Farmers in Nigeria: Comparison of Alternative Approaches, *Afr. J. Agric. Res.*, **5**, 21, 2909-2917.
6. Battese G.E. & Coelli T.J., 1992, Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel data: with Application to Paddy Farmers in India, *J. Prod. Anal.*, **3**, 1-2, 153-169.

7. Biam C.K. & Tsue, P.T., 2013, Profitability of Soybean Production by Small Holder Farmers in Nigeria: A Guide for Sustainable Food Security, *Eur. J. Bus. Manage.*, **5**, 30, 89-96.
8. Bifarin J.O., Alimi T., Baruwa O.I., & Ajewole O.C., 2010, *Determinant of Technical, Allocative and Economic Efficiencies in the Plantain (Musa spp.) Production Industry, Ondo State, Nigeria*. In: *Proceeding of International Conference on Banana & Plantain in Africa*, 199-210.
9. Bozoglu M., & Ceyhan V., 2007, Measuring Technical Efficiency and Exploring the Inefficiency Determinants of Vegetable Farms in Samsun Province, Turkey, *J. Agric. Syst.*, **94**, 3, 649-556.
10. Brader L., 1998, *IITA's Benchmark Approach to Natural Resource Management in West and Central Africa*. Paper Presented during International Centres' Week, Washington DC, 31 USA. 26-30th October, 1998.
11. Dashiell K.E., Bello L.L., & Root W.R., 1987, *Breeding Soybeans for the Tropics, Pages 3-16 in Soybean for the Tropics. Research, Production and Utilisation*, Edited by S. R. Singh, K.O. Rachie, and K. E. Dashiell. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK.
12. Edema M.O., Sanni O., & Sanni A.I., 2005, Evaluation of Maize-Soybean Flour Blends for Sour Maize Bread Production in Nigeria, *Afr. j. Biotechnol.*, **4**, 911-918.
13. Etwire P.M., Martey E. & Dogbe W., 2013, Technical Efficiency of Soybean Farms and Its Determinants in Saboba and Chereponi Districts of Northern Ghana: A Stochastic Frontier Approach, *Sust. Agric. Res.*, **4**, 2, 106 – 116.
14. Farrel J.M., 1957, The Measurement of Productive Efficiency, *J. R. Stat.*, **120**, 3, 253-290.
15. Greene W.H., 1993, *Frontier Production Function*. EC-93-20. Stern School of Business, New York University.
16. Lissitsa A., & Odening M., 2005, Efficiency and Total Factor Productivity in Ukrainian Agriculture in Transition, *Agricultural Economics, J. Int. Assoc. Agric. Econ.*, **32**, 3, 40-56.
17. Kumbhaker S.C., & Lovell C.A.K., 2000, *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge, Cambridge University Press. 18.
18. National Agricultural Extension and Research Liaison Services (NAERLS), 2015, *Average Prices of Selected Agricultural Commodities in Nigeria*.
19. Ogundari K., Ojo S.O., & Ajibefun I.A., 2006, Economics of Scale and Cost Efficiency in Small Scale Maize Production, Empirical Evidence from Nigeria, *J. Social Sci.*, **13**, 2, 131-136.
20. Ojiako I.A., 2006, *Economic Evaluation of Adoption of Improved Soybean Production and Utilization Technologies in Kaduna and Kano States, Nigeria*. PhD Thesis, Department of Agricultural Economics, University of Ibadan, Nigeria.
21. Okogun J.A., Sanginga N., Abaidoo R., Dashiell K.E., & Diels J., 2005, On-Farm Evaluation of Biological Nitrogen Fixation Potential and Grain Yield of Lablab and Two Soybean Varieties in the northern Guinea Savanna of Nigeria, *Nutr. Cycl. Agrosyst.*, **73**, 267-275.
22. Okoruwa V.O., & Ogundele O.O., 2006, *Technical Efficiency Differentials in Rice Production Technologies in Nigeria*, www.csae.ox.ac.uk/conference/2006-EO-RPI/papers/csae/okoruwa.pdf, 8th August, 2014.
23. Olorunsanya E.O., Babatunde R.O., Orebiyi J.S., & Omotosho J.O., 2009, Economic Analysis of Soybean Production in Kwara State, north central Nigeria, *Global Approaches to Extension Practice (GAEP)*, **5**, 2, 45 – 53.
24. Olukosi J.O. & Erhabor P.A., 1998, *Introduction to Farm Management Economics; Principles and Applications*, Agitab publishers Ltd, Zaria-Nigeria: 71-85.
25. Otitoju M.A. & Arene C.J., 2010, Constraints and Determinants of Technical Efficiency in Medium-Scale Soybean Production in Benue State, Nigeria, *J. Agric. Res.*, **5** 17, 2276-2280.
26. Otitoju M.A., Adebo, G.M. & Arene C.J., 2014, Identification and Stochastic Analysis of Factors Influencing Technical Inefficiency of Nigerian Smallholder Soybean Farmers, *Tropicultura*, **32**, 4, 197-204.
27. Sanginga N., Okogun J., Vanlauwe B. & Dashiel K., 2002, The Contribution of Nitrogen by Promiscuous Soybean to Maize-Based Cropping in the Moist Savanna of Nigeria, *Plant Soil*, **242**, 223-231.
28. Sanginga P.C., Adesina A.A., Manyong V.M., Otite O., & Dashiell K.E., 2002, *Social Impact of Soybean in Nigeria's southern Guinea Savanna*, IITA, Ibadan, Nigeria: 1-32.
29. Shannon D. A. & Mwamba K.M., 1994, Adoption of Soybean in Sub-Saharan Africa: A Comparative Analysis of Production and Utilization in Zaire and Nigeria, *Agric. Syst.*, **46**, 369-384.
30. Shapiro K.H., 1983, Efficiency Differentials in Peasant Agriculture and their Implications for Development Policies, *J. Dev. Stud.*, **19**, 2, 77 – 190.
31. Wilson D., Etwire P.M., Martey E., Etwire J.C., Baba I.I.Y., & Siise A., 2013, Economics of Soybean Production, Evidence from Saboba and Chereponi Districts of Northern Region of Ghana, *J. Agric. Sci.*, **5**, 12, 28 – 46.
32. Yegon P.K., Kibet L.K. & Lagat J.K., 2015, Determinants of Technical Efficiency in Smallholder Soybean Production in Bomet District, Kenya, *J. Dev. Agric. Econ.*, **7**, 5, 190-194.

O.O. Ugbabe, Nigerian, PhD, Ahmadu Bello University, Institute for Agricultural Research, Zaria, Nigeria.

T. Abdoulaye, Nigerian, PhD, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.

A.Y. Kamara, Sierra Leonean, PhD, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.

O. Oyinbo, Nigerian, M.Sc, Institute for Agricultural Research, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.

J. Mbavai, Sierra Leonean, M.ED, Bayero University, Faculty of Education, Department of Community Development, Kano, Nigeria.

NOTES TECHNIQUES TECHNICAL NOTES

TECHNISCHE NOTEN NOTAS TÉCNICAS

Le rayon de déforestation autour de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo): synthèse

Y. Useni Sikuzani^{1,2*}, F. Malaisse³, S. Cabala Kaleba¹, F. Munyemba Kankumbi^{1,2} & J. Bogaert³

Keywords: *Miombo*- Anthropization- Deforestation radius- Charcoal- Remote sensing- Lubumbashi- D.R. Congo

Résumé

La forêt claire de type miombo, le "Miombo woodland" des auteurs anglo-saxons, est un type de végétation largement distribué en Afrique zambézienne où il fournit des produits forestiers ligneux et non ligneux à des millions d'habitants. A Lubumbashi, les causes de la régression de sa couverture, soutenues par la croissance démographique rapide, sont principalement: (i) le développement agricole, (ii) la production de charbon de bois, (iii) l'expansion de la ville et (iv) les activités minières. Nous présentons une méta-analyse des études ayant circonscrit le rayon de déforestation autour de Lubumbashi. Ce rayon, utilisé à la fois pour exprimer la superficie (zone circulaire), l'intensité et l'ampleur (distance à la ville) de la déforestation, a été déterminé à travers la production de charbon de bois in situ et la télédétection. Bien qu'illustrant l'empreinte écologique de la ville, les estimations de la surface déboisée qui en découlent ne semblent pas cohérentes en raison des variabilités des protocoles méthodologiques au sein et entre les approches utilisées. Pendant que les études axées sur la production de charbon de bois suggèrent une suppression complète du Miombo autour de la ville, celles basées sur la télédétection mentionnent la persistance de taches de Miombo relativement proches de la ville et confondent parfois les différents niveaux de dégradation du miombo. Ces observations empêchent le développement d'une politique appropriée de conservation et d'exploitation durable de l'écosystème en question.

Summary

The Deforestation Radius Around Lubumbashi City (Upper Katanga, DR Congo): Synthesis

The Miombo woodland is a type of vegetation widely distributed in Zambezi Africa where it provides timber and non-timber forest products to millions of inhabitants. In Lubumbashi, the causes of its degradation, supported by rapid population growth, are mainly: (i) agricultural development, (ii) charcoal production, (iii) urban expansion, and (iv) mining activities. We present a meta-analysis of the studies that have defined the deforestation radius around Lubumbashi. This radius, used both to express the area (circular area), intensity and the magnitude (distance to the city) of deforestation, was determined through in situ charcoal production and remote sensing. Although the city's ecological footprint is illustrated, estimates of the resulting deforested area do not appear to be consistent because of the variability of methodological protocols within and between approaches. While studies focusing on charcoal production suggest complete Miombo woodland suppression around the city, those based on remote sensing mention the persistence of Miombo patches relatively close to the city and sometimes confuse the different levels of miombo degradation. These observations prevent the development of an appropriate policy for the conservation and sustainable use of the concerned ecosystem.

¹Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité d'Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage, Lubumbashi, R.D. Congo.

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

³Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique

*Auteur correspondant: Email: yannickuseni@gmail.com

Reçu le 20.03.17 et accepté pour publication le 02.05.17

Le *miombo*: définition et déboisement

La forêt claire de type *miombo* est une dénomination qui nécessite quelques précisions. Le terme "*miombo*" est au départ le nom vernaculaire d'une des essences dominantes de ce type de végétation. Il a été repris et généralisé tant par les auteurs de langue française, qu'anglaise (*miombo woodlands*) et allemande (*miombo Wälder*).

Ce type de végétation, dominant dans la région zambézienne, est caractérisé par la prépondérance d'espèces appartenant aux genres *Brachystegia*, *Julbernardia* et *Isoberlinia* des Caesalpionioideae (9, 28, 49). Le *miombo* a été identifié parmi les écosystèmes les plus prioritaires pour la conservation (35) en raison de son niveau élevé d'endémisme (9, 28) et a également été considéré comme un important réservoir de carbone (41). Plus de 100 millions de personnes dépendent de cette forêt pour leurs besoins quotidiens en produits forestiers (non ligneux (28, 29, 30, 33, 38, 41).

Malgré cela, les activités agricoles et l'augmentation persistante de la demande urbaine en bois-énergie sont à l'origine d'une pression accrue sur le *miombo* (6, 11, 28, 13, 38, 39). Sileshi *et al.* (42) ont noté des conversions de terre de l'ordre de 2 à 22% par an en raison des variations dans le niveau de développement agricole et de la demande en charbons de bois. Bien que le *miombo* puisse démontrer une capacité remarquable de régénération après diverses perturbations anthropiques (44), l'explosion démographique future amplifiera la pression sur ses bois (11) dont la régénération nécessite jusqu'à 40 ans en l'absence du feu (28). Couvrant quelques 2,4 millions de km², le *miombo* s'étend sur une partie de l'Angola, de la République Démocratique du Congo (RD Congo), du Malawi, du Mozambique, de la Tanzanie, de la Zambie et du Zimbabwe (13).

En RD Congo, il couvre près de 23% de la surface forestière totale et reste le type de forêt le plus dominant (>50%) dans l'ex-province du Katanga (19, 39) où l'expansion des activités de subsistance (agriculture, récolte du bois de chauffage et production de charbon de bois), soutenue par une croissance démographique rapide et l'urbanisation accélérée (39), constitue la principale cause de sa régression (27, 34, 36, 39). Une autre cause de la diminution de la couverture du *miombo* est l'exploitation minière à proximité des grandes villes, notamment à Lubumbashi (34, 38, 39, 47).

Il convient de rappeler que Lubumbashi est une ville née *ex nihilo* au sein d'un massif de *miombo* (21). C'est en 1909 qu'un quadrilatère de 20 km² a été dessiné dans le *miombo* près d'une rivière où une usine a été construite (21). La déforestation a commencé dès la création de la ville en 1910 et s'est poursuivie en s'amplifiant notamment en raison de l'exode rural qui a provoqué une consommation accrue du charbon de bois pour les besoins

domestiques et de petites entreprises (21, 28, 34) d'une population qui est passée de près de 6000 habitants en 1911 (14) à plus de 2 millions en 2015 (46). Bruneau et Pain (8) et Malaisse et Binzangi (25) estimaient pour leur part qu'en 1985, le rayon de l'auréole de déforestation avançait d'en moyenne 1,4 km par an.

Les perturbations engendrées par cette déforestation seraient responsables du raccourcissement de la durée des pluies (2, 40), d'une malnutrition persistante dans le milieu rural (28, 32) et de la perte de biodiversité (5, 48). L'ampleur inquiétante de ces conséquences a conduit plusieurs chercheurs à quantifier la déforestation autour de Lubumbashi. Cet article, qui constitue une méta-analyse de ce processus, a pour but de vérifier la cohérence entre ces études, en termes méthodologique et conceptuel.

Aperçu synthétique sur la quantification de la déforestation du *miombo* à Lubumbashi

Une réflexion est menée autour du concept du rayon de déforestation en considérant sa conception (la surface déboisée, l'intensité et l'ampleur matérialisée par la distance à la ville) et son estimation quantitative. Le rayon de déforestation autour de Lubumbashi a été estimé sur la base (i) d'observations *in situ*, souvent liées à l'étude de la production de charbon de bois et (ii) de la télédétection. Les deux approches utilisées peinent à donner une vision cohérente du rayon de déforestation autour de la ville. Les observations effectuées dans les villages des producteurs de charbon de bois expriment le rayon de déforestation à travers la distance qui les sépare de la ville, ce qui reflète plutôt l'ampleur de la déforestation. Les estimations de distances, qui n'augmentent pas nécessairement avec le temps comme attendu par ailleurs, varient selon les auteurs, les années d'observation et les distances des villages considérés par rapport à la ville (Tableau 1). En plus, souvent elles ne considèrent pas les taches de *miombo* peu accessibles situées entre les villages à proximité de Lubumbashi. A partir de cette approche, des projections de la suppression locale complète du *miombo* ont été réalisées (2, 28).

Force est de constater que les difficultés d'accès et la privatisation de certaines concessions font que des taches de *miombo* subsistent sur des courtes distances à ville et le seront jusqu'à l'horizon 2050 (48). Déjà, Dikumbwa (15) a signalé l'existence d'une dizaine d'hectares de forêt dense sèche sempervirente dans le voisinage de Lubumbashi malgré la forte pression anthropique que subit cet écosystème.

Tableau 1

Aperçu évolutif du rayon de déforestation autour de la ville de Lubumbashi sur la base d'études scientifiques axées sur la production du charbon de bois. Les traits réfèrent à l'absence de données.

Année	Méthodes d'étude	Distances de la déforestation à la ville (km)	Estimation de l'année de suppression complète du couvert forestier autour de la ville	Sources
1978	Observations	35	--	(21)
1980	Observations	20-50	--	(24)
1982	Enquêtes	25-60	--	(23)
1983	Enquêtes	30	--	(22)
1983	Observations	70	2030	(31)
1985	Enquêtes	70	2050	(27)
1987	Observations	70	--	(26)
1990	Enquêtes	42	2050	(25)
1990	Observations	50	--	(8)
1994	Observations	35	--	(7)
1997	Observations	35	--	(28)
1999	Observations	100	2010	(2)
2010	Enquêtes	35	--	(45)
2015	Observations	100	--	(36)

Trefon *et al.* (45) soulignent que la déforestation a été amplifiée car calculée exclusivement sur la base de la croissance démographique et des quantités de charbon de bois produites, sans tenir compte des adaptations quotidiennes aux situations de rareté du bois. C'est par exemple la coupe de certains arbres fruitiers, abondants dans la plupart de parcelles, pour la cuisson artisanale des pains et des briques. Aussi, le bassin d'approvisionnement en charbon de bois de la ville de Lubumbashi s'est étendu jusqu'à un rayon de 300 km autour de la ville (36). Cela pourrait expliquer l'existence de taches de *miombo* sur des courtes distances à la ville (<25 km) en 2009 (37) quoiqu'Assani (2) ait prédit leur disparition complète sur un rayon de 100 km pour l'année 2010. L'approche basée sur la production de charbon de bois *in situ* ne semble pas refléter correctement l'importance de la déforestation autour de Lubumbashi en raison de différences dans les protocoles méthodologiques utilisés d'une part et de l'autre du fait des variations dans les distances qui séparent les villages étudiés à la ville. En somme, les observations semblent surestimer le rayon de déforestation suite aux enquêtes dans les villages des producteurs de charbon de bois.

L'approche qui s'appuie sur l'imagerie satellitaire, parfois des photographies aériennes anciennes, est censée pouvoir estimer plus correctement la superficie déboisée, étant donné qu'il s'agit d'une démarche plus objective et systématique.

La déforestation telle que mise en évidence à travers cette approche dépend toutefois de l'étendue couverte par l'étude et du processus de détection des changements de l'occupation du sol (Tableau 2), y compris la définition des classes d'occupation du sol cartographiées.

D'un côté, certaines études (38, 43) considèrent des limites au-delà du bassin d'approvisionnement en charbon de bois de la ville (36), la partie zambienne par exemple. De l'autre, une intensité de déforestation de près 600 % a été estimée en une décennie par Soyer et Wilmet (43) contre 86% en un demi-siècle par Munyemba et Bogaert (37) compte tenu de l'imprécision de référence spatiale des sites et de la différence des dynamiques évaluées (savanisation et déboisement). En outre, la surface déboisée est moins importante lorsque la scène de types d'images utilisées couvre une étendue réduite. Une interprétation correcte des différents niveaux de dégradation du *miombo*, une harmonisation des matériels utilisés et des protocoles méthodologiques semblent une étape cruciale dans la caractérisation de la déforestation par télédétection.

Les deux approches utilisées attestent l'existence d'une zone déboisée autour de la ville de Lubumbashi, mais ne sont pas univoques à propos de son appréciation. Les études *in situ* ignorent les taches de *miombo* proches de la ville, et semblent donc surévaluer l'ampleur de la déforestation. Par contre, les études basées sur la télédétection surestiment parfois ce rayon, mais aussi la résistance des taches de *miombo*, en ignorant leur taux de dégradation sur des courtes distances à la ville.

Tableau 2

Aperçu évolutif du rayon de déforestation autour de la ville de Lubumbashi sur la base d'études scientifiques axées sur la télédétection et/ou les outils d'analyse de l'écologie du paysage (*).

Années	Types de données	Surface totale étudiée (km ²)	Surface déboisée (km ²)	Intensité de la déforestation (km ² /an)	Sources
1973-1981	Image Landsat	--	1630	-203,75	(43)
1973-1988	Image Landsat	--	1800	-120,00	(10)
1986-2000	Image SPOT	2364	36	-2,75	(16)
1989-2001	Image Landsat	--	1059	-88,25	(20)
1972-2002	Image Landsat	125600	21025,4	-700,85	(38)
1956-2009	Image Landsat et ancienne carte	1445	1052	-19,85	(37)*

Les traits réfèrent à l'absence de données.

Il en résulte que ces deux approches ne sont pas cohérentes ou compatibles dans l'étude de l'importance de la déforestation à Lubumbashi en raison de la variabilité des protocoles méthodologiques au sein de chaque approche, mais aussi entre les approches.

Il existerait des taches de *miombo* peu accessibles ou protégées, qui subsistent aux diverses pressions anthropiques, rendant ainsi discontinu le patron de déforestation autour de Lubumbashi (1, 18, 37, 45, 48). Ce patron est similaire à celui observé à Kisangani où la zone déboisée s'étend jusqu'à 40 km, alors que des taches de forêt dense subsistent à une dizaine de kilomètres de la ville (4, 7). En effet, quoique l'homme soit capable de modifier un écosystème originel afin de le rendre plus productif pour ses besoins, il semble préserver tout de même les forêts nécessaires pour lui fournir de services écosystémiques dans des zones déboisées (3).

Par ailleurs, certaines taches de *miombo* qui subsistent à de courtes distances à la ville de Lubumbashi, et identifiées par télédétection, correspondent plutôt aux savanes secondaires (25) que Kabulu *et al.* (19) ont identifié comme des complexes de forêts claires et savanes boisées.

Cela semble suggérer qu'il s'agit d'un problème lié aux méthodes utilisées (acquisition et traitement des données) dans notre zone d'étude. L'influence de l'interprétation de l'occupation du sol sur l'estimation des conséquences écologiques de sa dynamique structurale a déjà été démontrée en région tropicale (12).

Étant donné que la déforestation est principalement gouvernée par la croissance démographique, la préservation des rares fragments de *miombo* qui subsisteraient sur des courtes distances à la ville sera menacée, certainement lorsque l'accessibilité à certains sites aura été améliorée (48) et au fur et à mesure de la poursuite de l'occupation anarchique du sol (17). Par conséquent, une harmonisation des approches utilisées en termes méthodologique et conceptuel s'impose. Elle pourrait former le point départ d'une relecture rétrospective critique des estimations historiques de la déforestation et de la dégradation du *miombo*, afin d'interpréter correctement les dynamiques spatio-temporelles de cet écosystème unique et crucial pour la population katangaise.

Références bibliographiques

- André M., Vranken I., Boisson S., Mahy G., Rüdissier J., Visser M., Lejeune P. & Bogaert J., sous presse, *Quantification of anthropogenic effects in the landscape of Lubumbashi*. In: J. Bogaert, G. Colinet & G. Mahy (eds). *Anthropisation des paysages Katangais*. Gembloux: Presses Universitaires de Gembloux.
<http://hdl.handle.net/2268/186226>
- Assani A.A., 1999, Variabilité temporelle et persistance des épisodes secs en saison des pluies à Lubumbashi (Congo-Kinshasa), *Sécheresse*, **10**, 1, 45-53.
- Bamba I., Visser M. & Bogaert J., 2011, An alternative view of deforestation in central Africa based on a Boserupian framework, *Tropicultura*, **29**, 4, 250-254.
- Bamba I., Yedmel M.S. & Bogaert J., 2010, Effets des routes et des villes sur la forêt dense dans la province orientale de la République Démocratique du Congo, *Eur. J. Sci. Res.*, **43**, 3, 417-429.
- Barima Y.S.S., Kabulu D.J-P., Alongo S., Ndayishimiye J., Bomolo O., Kumba S., Iyongo L., Bamba I., Mama A., Toyi M., Kasongo E., Masharabu T., Visser M. & Bogaert J., 2011, *Deforestation in central and West Africa: landscape dynamics, anthropogenic effects and ecological consequences*. In: Daniels JA (ed). *Advances in environmental research*, volume 7. Nova Science Publishers, Hauppauge, pp 95- 120.
- Bogaert J., Bamba I., Kabulu J.P., Koffi K. J., De Cannière C., Visser M. & Sibomana S., 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*. Verlag, New York: Springer, pp 67-87.
- Binzangi K., Tshibangu K., Degreef J. & Malaisse F., 1994, Le déboisement en Afrique Tropicale. *Défis-Sud*, **14**, 36-37.
- Bruneau J.C. & Pain M., 1990, *Atlas de Lubumbashi*. Centre d'Etude Géographique sur l'Afrique Noire, Université Paris X, Nanterre, France.
- Campbell B.M., Angelsen A., Cunningham A., Katerere Y., Siteo A. & Wunder S., 2007, *Miombo woodlands—opportunities and barriers to sustainable forest management*. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Castiaux N., Massart M. & Wilmet J., 1991, *Environmental study of tropical african urban areas by multitemporal satellite imageries (Lubumbashi, Zaïre, Central Africa)*. *Proceed. of XXIVth Int. Symp. on Remote Sensing of Environment*, Rio de Janeiro, Brazil, 10 p.
- Chidumayo E.N. & Gumbo D.J., 2013, The environmental impacts of charcoal production in tropical ecosystems of the world: a synthesis, *Energy for Sust. Dev.*, **17**, 2, 86-94.
- Colson F., Bogaert J., Carneiro Filho A., Nelson B., Pinagé E.R. & Ceulemans R., 2009, The influence of forest definition on landscape fragmentation assessment in Rondônia, Brazil, *Ecol. indicators*, **9**, 6, 1163-1168.
- Deweese P.A., Campbell B.M., Katerere Y., Siteo A., Cunningham A.B., Angelsen A. & Wunder S., 2010, Managing the Miombo woodlands of southern Africa: policies, incentives and options for the rural poor. *J. Nat. Res. Policy Res.*, **2**, 1, 57-73.
- Dibwe d-M.D., 2009, *Lubumbashi, ville industrielle attractive et repulsive (1910-2008)*. II Congreso Internacional de Desarrollo Humano, La Ciudad Sostenible : Los restos de la Pobreza Urbana, Madrid.
- Dikumbwa N., 1990, Ecoclimatic factors and biogeochemical cycles in dense dry evergreen forest in Muhulu, southern Shaba, *Geo-Eco-Trop*, **14**, 1-4, 159-171.
- Frauman E., 2004, *L'agriculture périurbaine*. In P. Petit (Ed). Byakula, *Approche socio-anthropologique de l'alimentation à Lubumbashi*, Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, pp 55-63.
- GROUPE HUIT, 2009, *Elaboration du plan urbain de référence de Lubumbashi*. Rapport final Groupe Huit, BEAU, Ministère des ITR, RD Congo.
- Hick A., Maud H., Tshibungu N.A. & Mahy G., sous presse, *La place de l'arbre dans les systèmes agricoles par les populations locales*. In: J. Bogaert, G. Colinet & G. Mahy (eds). *Anthropisation au Katanga*. Gembloux: Presses Universitaires de Gembloux.
<http://hdl.handle.net/2268/197327>
- Kabulu D.J., Bamba I., Munyemba K.F., Defourny P., Vancutsem C., Nyembwe N.S., Ngongo L.M., Bogaert J., 2008, *Analyse de la structure spatiale des forêts au Katanga*. Ann. Fac. Sc. Agr. UNILU, **1**, 2, 12-18.
- Kikombo I.N., 2006, Assessing the impact of turnoils and wars on the environment in the city of Lubumbashi using remote sensing data, *The Great Lake Res. J.*, **2**, 74-90.
- Leblanc M. & Malaisse F., 1978, *Lubumbashi, un écosystème urbain tropical*. Centre International de Sémiologie Université Nationale du Zaïre.
- Lootens-De Muynck M.T. & Mbuyi B.D., 1983, Sambwa : un pôle d'attraction rural dans l'arrière-pays de Lubumbashi (Zaïre), *Geo-Eco-Trop*, **7**, 4, 155-163

23. Lootens-De Muynck M.T., Mbuyi B.D. & Binzangi K., 1982, Typologie et aspects socio-économiques de quelques villages de bûcherons et charbonniers des environs de Lubumbashi, *Geo-Eco-Trop.*, **6**, 1, 45-63.
24. Lootens-de Muynck M.T., Bruneau J-C., Lootens M. & Malaisse F., 1980, Lubumbashi en 1980 et ses relations avec son environnement régional, *Geo-Eco-Trop*, **4**, 1-4, 3-29.
25. Malaisse F. & Binzangi K., 1990, *Consommation de bois de feu (bois de carbonisation et bois de chauffe) et déforestation au Shaba (Zaire)*. Session d'échanges sur les écosystèmes tropicaux humides, 13-17 Novembre Brazzaville.
26. Malaisse F. & Kapinga I., 1987, The influence of deforestation on the hydric balance of soils in the Lubumbashi environment, *B. Soc. Roy. Bot. Belg.*, **119**, 2, 161-178.
27. Malaisse F. & Binzangi K., 1985, Wood as a source of fuel in upper Shaba (Zaire)? *Commonwealth For. Rev.*, **64**, 3, 227-239.
28. Malaisse F., 1997, *Se nourrir en forêt claire africaine: Approche écologique et nutritionnelle*. Gembloux, Belgique les presses agronomiques de Gembloux.
29. Malaisse F., 1979, *L'homme dans la forêt Claire Zambézienne*. In: Jewsiewicki B. (Ed). Diversification et appauvrissement des anciens systèmes africains de production alimentaire, *Afr. Econ. Hist.*, **7**, 38-64.
30. Malaisse F., 1978, The *miombo* ecosystem. In: *Tropical forest ecosystems, a state of Knowledge*. Report prepared by UNESCO/UNEP/FAO. Paris: Unesco/ Natural Resources research, 16, 589-606.
31. Malaisse F., Batubenga K., Binzangi K., Ipanga T. & Kakisingi M., 1983, Essai cartographique de l'environnement et de sa dynamique en milieu tropical humide : les moyens plateaux du Shaba méridional du Zaïre. *Geo-Eco-Trop.*, **7**, 49-65.
32. Malaisse F., Binzangi K. & Kapinga I., 1980, L'approvisionnement en produits ligneux de Lubumbashi (Zaïre), *Geo-Eco-Trop*, **4**, 139-163.
33. Malaisse F., Alexandre J., Freson R., Goffinet G. & Malaisse-Mousset M., 1972, *The miombo ecosystem: a preliminary study*. In: Golley P. & Golley F. (Eds). *Tropical ecology with an emphasis on organic production*. Athens (Georgia, USA): University of Georgia, 33-405.
34. Megevand C., Sanders K. & Doetinchem N., 2013, *Dynamiques de déforestation dans le bassin du Congo: réconcilier la croissance économique et la protection de la forêt*. Washington DC, World Bank.
35. Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., Brooks T.M., Pilgrim J.D., Konstant W.R., Da Fonseca G.A. & Kormos C., 2003, Wilderness and biodiversity conservation. *Proc. Nat. Academy Sci.*, **100**, 18, 10309-10313.
36. Münkner C-A., Bouquet M., Muakana R., 2015, *Elaboration du schéma directeur d'approvisionnement durable en bois-énergie pour la ville de Lubumbashi (Katanga)*. Programme Biodiversité et Forêts (PBF) Projet Filière Bois / Chaînes de valeur ajoutée, GIZ, MEDD, DFS, GFA.
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. & Puntondewo 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. Policy & Econ.*, **25**, 19-30.
39. Potapov P.V., Turubanova S.A., Hansen M.C., Adusei B., Broich M., Altstatt A., Mane L. & Justice C.O., 2012, *Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM+ data*, *Remote Sens. Environ.*, **122**, 106-116.
40. Sanga-Ngoie K. & Fukuyama K., 1996, Interannual and long-term of climate variability over the Zaïre basin during the last 30 years, *J. Geophysic. Res.*, **101**, 21351-21360.
41. Shirima D.D., Totland Ø., Munishi P.K., & Moe S.R., 2015, Relationships between tree species richness, evenness and aboveground carbon storage in montane forests and *miombo* woodlands of Tanzania, *Basic & Appl. Ecol.*, **16**, 3, 239-249.
42. Sileshi G., Akinnifesi F.K., Ajayi O.C., Chakeredza S., Kaonga M. & Matakala P.W., 2007, Contributions of agroforestry to ecosystem services in the Miombo eco-region of eastern and southern Africa, *Afr. J. Environ. Sci. Technol.*, **1**, 4, 68-80.
43. Soyer J. & Wilmet J., 1986, *Environmental changes around african tropical towns* (Lubumbashi, Zaïre, Bamako, Mali) from Landsat MSS data. Proceed. of the XXth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Nairobi, december 1986, pp 507-520.
44. Syampungani S., Geldenhuys C.J. & Chirwa P.W., 2016, Regeneration dynamics of miombo woodland in response to different anthropogenic disturbances: forest characterisation for sustainable management, *Agrofor. Syst.*, **90**, 4, 563-576.

45. Trefon T., Hendriks T., Kabuyaya N. & Ngoy B., 2010, *L'économie politique de la filière du charbon de bois à Kinshasa et à Lubumbashi: Appui stratégique à la politique de reconstruction \$post-conflit en R.D.C.* Working paper of the Institute of Development Policy and Management, University of Antwerp.
46. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2016, *The World's Cities in 2016 – Data Booklet* (ST/ESA/ SER.A/392).
47. Vranken I., Amisi Y.M., Munyemba Kankumbi F., Bamba I., Veroustraete F., Visser M. & Bogaert J., 2013, The Spatial Footprint of the Non-ferrous Mining Industry in Lubumbashi, *Tropicultura*, **31**, 1, 22-29.
48. Vranken I., Kabulu Djibu J.P., Munyemba Kankumbi F., Mama A., Iyongo Waya Mongo L., Bamba I., Laghmouch M. & Bogaert J., 2011, *Ecological impact of habitat loss on African landscapes and diversity*. In: Daniels JA (ed) *Advances in environmental research*, volume 14. Nova Science Publishers, Hauppauge, pp 365-388.
49. White F., 1983, *The Vegetation of Africa*. Natural Resources Research N° 20 UNESCO, Paris, p. 356.

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

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

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

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

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

Characteristics of Guinea Fowl Breeding in West Africa: A Review

P.V. Houndonougbo^{1*}, J. Bindelle², C.A.A.M. Chrysostome¹, H. Hammami³ & N. Gengler³

Keywords: Local Guinea fowl- Variety- Characteristics- Genetics- Breeding- Benin

Summary

Guinea fowl production in sub-Saharan Africa (SSA) is generally practiced under family and traditional rearing systems mainly for consumption and income generation, but this species plays also a major socio-cultural role in specific ceremonies. Birds are kept in free range or in confinement with outdoor access and fed on grain cereals, vegetables, edible termites and kitchen residues found in nature or occasionally supplied by the farmers. Several Guinea fowl varieties are observed and all are characterized by slow growth, high mortality of young animals and a relatively wild instinct. Although this avian species is resistant to some poultry diseases (Newcastle disease, Marek disease, Gumboro disease, ...), local guinea fowl are very sensitive to other poorly controlled diseases that require further study. These varieties differ greatly by their feather color, their morphological characteristics and growth performance, but further thorough and sustained research is needed to quantify these differences. Several researches established the nutritional requirements of local Guinea fowl but in terms of breeding, little works were done compared to chicken. Some recessive and dominant genes as well as genotypic differences were highlighted between varieties.

Résumé

Elevage de la pintade en Afrique de l'Ouest: une synthèse bibliographique

L'élevage de la pintade locale en Afrique subsaharienne se pratique généralement selon un système d'élevage familial. Dans ce système, les animaux sont en divagation stricte ou en semi-liberté et se nourrissent de grains de céréales, de végétaux, de termites non toxiques et de restes de cuisine trouvés dans la nature ou occasionnellement servis par les éleveurs. Plusieurs groupes à nuances spéciales appelés variétés sont rencontrés et sont caractérisés par une faible croissance, une forte mortalité des jeunes et un instinct sauvage. Semblables par leur forme, ces variétés diffèrent fortement par la couleur de leur plumage. En ce qui concerne les caractéristiques morphologiques et les performances de croissance, des différences ont été signalées par certains auteurs, mais méritent des recherches approfondies et soutenues pour mettre en évidence les dissemblances entre les variétés élevées. Des efforts de recherche ont été consentis dans le domaine de l'alimentation et ont permis d'avoir une idée sur les besoins nutritionnels de la pintade locale. Sur le plan de l'amélioration génétique, peu de travaux ont été effectués comparativement au poulet. Mais d'ores et déjà, des gènes récessifs et dominants de même que des différences génotypiques ont été soulignées entre les variétés. Sur le plan pathologique, bien que résistante à certaines maladies aviaires, les pintades locales restent sensibles à d'autres maladies très peu maîtrisées qui nécessitent des études plus approfondies.

¹University of Abomey-Calavi, Faculty of Agriculture, Benin.

²University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Animal Science Unit, Gembloux, Belgium

³University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Agriculture, Bio-engineering and chemistry Department, Animal Science Unit, Numerical Genetics, Genomics and modeling, Gembloux, Belgium.

*Corresponding author: Email: venusaspascal2001@yahoo.fr

Introduction

In the tropics and specifically in West Africa, small poultry farming holds an important share in the agricultural economy which contributes up to 37% of the gross domestic product (GDP) and over 85% of export earnings of developing countries (19). Livestock production contributes up to 6% of national GDPs (42). In Benin, livestock estimates for 2014 for poultry reached 23,221,000 birds (13), while local breeds in species of poultry including chickens, ducks, Guinea fowls, turkeys, and pigeons, averaged 11.2 million birds and produced 10,560 tons of meat in 2004 (18). The importance of Guinea fowls (*Numida meleagris*) in national flocks varies according to the country. For example, with 6.5 million birds, it ranks 2nd after chicken in Burkina Faso (42), while in Benin, Guinea fowl is the 3rd most represented domestic bird species, after chicken and duck. Local guinea fowl populations in Benin represent 11% of the national poultry population, or 3.5 millions of birds, of which 79% are found in the north of Benin (9). Similar numbers are found in Burkina Faso with 6,117,826 heads in 2004 (38). The Ghana bird population in 2010 was about 36,271,000 heads including 7.1% of guinea fowl or approximately 2,575,000 heads (20). In Niger, according to Moussa Amadou et al. (33), the domestic poultry population in 2007 was 120,190,000 with in first rank the chicken (55%) followed by guinea fowl (26%). In the African tropics, Guinea fowls provide not only high quality dietary protein but these birds play also an important social and cultural role (14, 42). Guinea fowl is used to welcome important guests, as respectable social gifts, funerals, festivals, sacrifices and payment of dowries (10, 16). The motivations for the practice of small poultry farming are double: income generation through the sale of live poultry and sometimes eggs, and household consumption (31, 28). Guinea fowl meat is considered as a delicacy with demand being higher than supply and high price that make it a useful tool for poverty reduction (3). Dahouda (14) reported live guinea fowl and eggs prices of 1630 FCFA and 45 FCFA, respectively, when chicken is sold in Benin between the price of 800 and 1450 FCFA, and adult male between 1000 and 2000 FCFA while the chicken eggs are sold between 30 and 35 FCFA in 2002 (11). In Ghana, incomes derived by the guinea fowl breeders consists of 71% of the sale of live animals and 39% from eggs with an average profit of 8% (24).

However, despite similar carcass dressing percentage, it is suspected that Guinea fowl has a higher production cost associated with a longer rearing period and a high feed conversion ratio estimated to 2.74 in comparison to 1.96 for chicken in intensive production systems (35).

With 12 to 14 weeks, Guinea fowls take twice the time to reach a commercial live weight compared to the 7 to 8 weeks required for chicken.

Moreover, despite a strong market demand, rearing Guinea fowls in tropical Africa is undermined by several constraints such as feed quality and quantity and shelter that affect the health of the animals and the productivity of the whole system (42). Currently there is also only very limited work done on the genetic improvement of Guinea fowls under local conditions (38, 40, 7, 42). As stated before, in industrial systems, a production cycle for meat lasts between 82 and 94d (25). But in Benin and Burkina Faso, it may take 5 to 6 months (14, 42). In addition, most small poultry farmers raise birds from local breeds which performance potential are unknown. This manuscript reviews the characteristics of the traditional breeding system of local guinea fowls in West Africa focusing on the assets and constraints of this activity and the particularities of the varieties that are reared.

Origin and environmental requirements of Guinea fowls

Guinea fowls are part of the Galliformes order, lower order of the Alectoropodes, family of the *Phasianidae*, and subfamily of the *Numididae* including 4 genera (*Numida*, *Agelastes*, *Acryllium* and *Gutta*). Different species of *Numida* are found where *Numida meleagris* is the common ascendant strain of the domestic fowl that includes several varieties and improved strains (12, 29). Originating from hot and dry environments in tropical West Africa (7), the domestic Guinea fowl has generated different varieties that spread throughout the world with human migrations (12). First traces date back to the Antiquity with references in the Greek mythology stating that Guinea fowls were born from the transformation of the King Meleager's sisters in birds by the goddess Artemis. Guinea fowls were mainly used in ancient Rome and Greece as birds for sacrifice. Later, they left the altars for Greek and Roman tables and began to be raised in farmyards. Their trace was lost in Europe during the Dark Ages, reappearing in the late Middle Ages (1300 – 1500) (12, 29). Later, as for poultry in general, intensive rearing and breeding techniques were developed and the Guinea fowl industry is nowadays well-developed in some countries such as France or the US. Although, Guinea fowls originate from the tropics, the comfort zone of adult birds ranges from 10 to 25 °C (50) and feed intake strongly decreases between 20 and 30% when temperature reaches 32 °C. As for chicks during the first 30 days of life, the thermoneutrality zone is higher (31 to 33 °C) and thermoregulation is inefficient, inducing high death toll of young guinea fowls if T is too low (29).

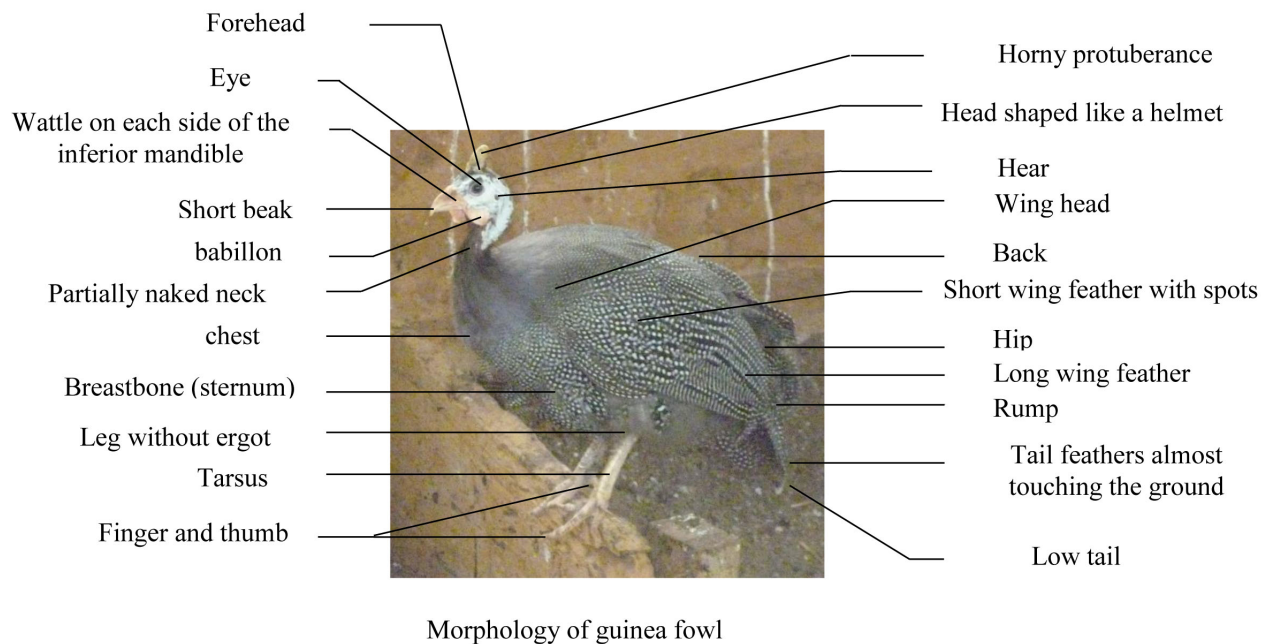


Figure 1: Morphology of a guinea fowl.

Table 1
Morphological differences between guinea fowl varieties.

The morphological part	Morphological characteristics between varieties
Body length	Varying from 43 to 75 cm according to the variety (21, 45).
Sternum length	9.03 cm for Common, 8.85 cm for Ash and 8.93 cm for Black at 28 weeks (17)
Tarsus length, drumstick length, body length, wings length and the chest circumferences	Similar between varieties (17)
Main characters (15)	
White Guinea fowl or albino guinea fowl: which is rare and the feathers are completely white without beads (chicks and adults) and their skin is not pigmented	
Chamois guinea fowl: Feathers are yellowish-slightly ochre and is sometimes wrongly referred to as White guinea fowl	
Lilac guinea fowl: with bright blue gray feather and dark chest and neck	
Isabella guinea fowl: Feathers are beige with	
Purple guinea fowl: Feather are uniformly dark	
Bonaparte guinea fowl: Considered as a crossed breed between Gray, Lilac, Purple, and White varieties. It presents white-albino feathers on the chest and secondary flight feathers on the wings, but never at the top nor on the tail. They also give birth to very heterogeneous groups, concerning the plumage	

Surprisingly, there is also a strong sensitivity to day-length in the development of reproductive organs and the fattening of females resulting in a well-marked laying season (40), possibly resulting in a synchrony between resources availability and egg production. The best performances are reported to be found in the rainy season; when it was observed in West Africa that feed intake was highest (28). Furthermore, the birds lay in cycles of up to 40 weeks which coincide with the rainy season and last until several weeks after the onset of the dry season (3, 28). Finally, Bougon *et al.* (8) reported that under continuous lighting conditions, fat deposition was reduced by 12 and 23% for males and females, respectively.

Morphology and genotype of Guinea fowls

The birds of the subfamily *Numidae*, including guinea fowl (Figure 1), have the form of vultures and were well described by various authors (4, 5, 7, 12, 21, 21). Unlike most avian species, sexual dimorphism in Guinea fowls is characterized by heavier females than males (29). The weight development of both sexes is the same until 12 weeks of age, but beyond, females display higher weight gains with a difference of about 20% as a consequence of sexual maturity resulting in higher fat deposition and development of the genitalia (6). Cloaca examination is the surest assessment concerning sexing at 8 weeks of age (2). The cry is also an element of sexing used by farmers; according to them it is composed of double syllables and monosyllable for females and males, respectively (9).

Numida meleagris var. *galeata* commonly called the pearl gray helmeted Guinea fowl is the most widespread variety in Africa (Table 1). The cephalic protuberance is brown-colored; the cheeks take on lilac, dark brown eyes, bright red wattles, and pink beak at basis with ash-like color at the other end. The legs are slate gray; the feathers are blue-gray with many bead-shaped white spots (21, 45). The neck and the upper breast are black-blue uniform. Newly hatched pearl gray helmeted Guinea fowl chicks are red-brown with five black longitudinal stripes on the head. Their back is striped and dotted with black spots and stripes and the belly is yellowish. Their legs and beak are red (21, 45). The first feather of chicks after hatching is brown edged with red and yellow brown color (29). From the fifth to the tenth week, tiny white spots appear in a gray-brown feather. From the tenth week, the guinea fowl take their adult morphology (29). Despite morphological common features, some differences not only in plumage color but also in body part sizes allows to differentiate 5 additional varieties which presence varies with the location between and within countries such as Benin, Niger or Nigeria (4, 9, 45). Table 1 shows some morphological differences between some varieties.

According to Dams (15), the different colors of guinea fowl are characterized by different genes (Table 1). The lilac color is represented by an autosomal recessive gene 'l', a dilution of gray with a background blue azure color, chicks having light ash-colored stripes with dark ash. Chamois guinea fowls have an autosomal recessive gene 'c' and a pigmented skin with yellow stripes slightly reddish. The gray color is observed in individuals carrying at least one dominant allele, the Lilac 'L', the chamois 'c' or isabelle 'Is'; thus, the pearl gray guinea fowl are generally heterozygous and frequently obtained from crossing between the 'violet' and 'lilac' ones. Finally, the Dun color, is present on a sex-related gene with 'is is' for the male and 'is-' for females. Conversely to mammals, male birds have two identical sex chromosomes while female birds have two different sex chromosomes (15). Likewise, it is difficult to obtain double recessive males from Isabella individuals regarding a gene linked to the sex. However, auto sexing crossings are possible. Possible genetic formulas of different colors according to Dams (15) are described in Table 2. Notwithstanding plumage differences, genetic variations seem to affect birds performances as different varieties differ also in terms of productive traits (17) and resistance under traditional farming conditions (42): e.g. number of eggs laid per season, egg, quality such as shell thickness and viability of young guinea fowls. Ayorinde *et al.* (4) showed significant difference between consumption and feed conversion between white, gray, black and ash varieties; while the growth performance did not vary significantly.

The challenge in Guinea fowl reproductive improvement in traditional farming systems of West Africa lies in the enhancement of the laying performance, including egg weight, conformation of the shell, eggs hatchability rates, in females and the ability to harvest the semen volume and fertility in males. The complexity of guinea fowl improvement is related to the fact that laying and weight performances on one hand and levels of abdominal fat and meat yield on the other are antagonist criteria (5) while both are important for increased productivity in dual purpose traditional systems. The genetic variability of local guinea fowl already illustrated by the differences in variety has also been highlighted by microsatellites studies (27). Singh *et al.* (46) showed by a multivariate test of cluster that there is a low (weak) genetic distance between the guinea fowl of variety lavender and the varieties of hens and quails (0.211-0.215) but a genetic great distance with the duck and the turkey (goose) (0.343-0.350). This genetic variability opens a huge opportunity to improve local varieties of guinea fowl in sub-Saharan Africa.

Table 2
Genetic formulas of different colors (15).

Guinea fow l w ith pearls	Guinea fow l w ithout pearls
Pure Gray: PP LL CC Is (Is Is for male)	Purple: pp LL CC Is (Is Is for male)
Lilac: Pp ll CC is (Is Is for male)	Azure: pp ll CC is- (Is Is for male)
Isabelle: PP LL CC is- (is is for male)	Rachel: pp LL CC is- (is is for male)
Buff: PP LL cc Is- (Is Is for male)	Fulva: pp LL cc Is- (Is Is for male)

According to our knowledge only France is operating an organized guinea fowl genetic improvement system (43). This system is based on the breeding and improvement of closed complementary female and male lines and their crossing to obtain final production (30). The current system is based on traditional phenotypic and genealogical information. Genomic selection is not expected to be used until five or ten years because, the genome of the guinea fowl has not yet been sequenced and genomic selection remains costly (30). For the same author, profitability of guinea fowl genomic selection is much less obvious than in cattle where the generation interval is longer.

Traditional rearing system in West Africa

The traditional free-range rearing system for Guinea fowls in West Africa is well documented (40, 7). It is integrated in the family poultry rearing system where birds scavenge in groups of at least twelve birds together with birds of different age and species such as chicken, Muscovy ducks or turkeys (38). In Benin, family rearing of guinea fowls is mostly met in the north of the country. Housing for poultry includes traditional circular mud huts (the "Tatas Somba"), henhouse or barns built with mud walls or straw (9). The door of the barn is always oriented westwards opposite of prevailing winds (9). The roof is usually made of stubble found around the villages. Stubble acts as a good insulator against direct sunlight, but is also a nest for various parasites (47).

Feeding

Smallholders feeding systems are based on grain, herbaceous plants and insects scavenged in the field and in the areas around the villages. The birds fed themselves around concessions, by gleaning here and there and received occasionally from the traditional breeder some grain supplement. Although qualitative assessments have been performed, the quantity of raw matter ingested in the wild during scavenging has not been correctly measured yet.

According to Dahouda (14) and Boko (7), the diet of the scavenging bird is generally made of energy (kitchen waste, bran, corn, millet, sorghum, soybeans and rice), vitamins (green fodder, sprouted grains and fruits), minerals (salt, pounded shells) and protein-rich (termites, legumes, and soybean draff) ingredients. The composition of the supplements distributed by the farmers varies with the availability of the feed ingredients and the age of the birds: young chicks with down feathers are often supplemented ad libitum with crushed cereals and termites; feathered chicks and adults receive only cereal grains as complement (corn, millet and sorghum) in the morning and/or the evening (10). Besides its nutritive function, the feeding of birds encourages them to return to the chicken house in the evening (14, 7).

Animal performances in traditional systems of West-Africa

Growth

Ayorinde *et al.* (4) observed three phases of growth for birds reared in West-Africa: from 0 to 6 weeks corresponding to a rapid growth and 7 to 16 weeks corresponding to a slower growth with an inflection point found around 16 weeks. Local guinea fowls are known for having lower growth rates than improved breeds such as strain Galor (17). Moreover, the growth performance in avian species depends on the farming system (49, 48) and the energy and protein levels in the diet. In traditional breeding system in Benin, guinea fowl weight at 12 weeks of age 417 g and 334 g for males and females, respectively while at six months, the average live weight was 1121±100 g (14). In improved rearing, i.e. where animals were bred in chicken houses, received complete diet, were separated by sex and received veterinary care, the mean weights at the same age were 1151±108 g for males versus 1085 ± 74 g for females (14). These values are similar to those reported by Sanfo *et al.* (41) in a similar system. In Algeria, Halbouche *et al.* (22), reported 1.008 kg live weight for 90 days old guinea fowls fed a well-balanced 2800 kcal ME/kg and 22% CP diet.

This performance of local guinea fowl is far lower than those displayed by improved birds in Europe who reach 1.8 kg bodyweight under 3000 kcal/kg diet (29) and raises the question of the assessment of the feed requirements for local varieties of Guinea fowls. Those performances are much higher than the ones obtained by Dahouda (14) in local guinea fowls reared in confinement in Benin which varies from 687 g to 695 g at 12 weeks of age with the respective levels of energy for starting, growing and finishing of 2902, 2914 and 2910 kcal ME /kg, and 23.3, 20.3, 16.3% for protein. Under similar rearing conditions, the average weight of grey (510 g) differs from that of the Black (478 g) and Ash (467 g) at 12 weeks. This difference is low at 28 weeks with 980.1 g for grey guinea fowl, 970.4 g for ash and 950.8 g for black (17).

Reproduction performance

Reproductive performances are strongly affected by the strain, the climate and the quality of the feed. Sexual maturity in females can theoretically be reached at 24 weeks (38), but in traditional systems it takes between 32, 36 and 37 weeks in Nigeria (4), Benin (14) and Algeria (22) respectively. Guinea fowl are seasonal breeders (31). Economically, the short laying season coinciding with the rainy season is a limiting factor to the activity (9). Nonetheless, Moreki and Seobo (32) reported that Guinea fowl hens start laying in spring with increasing daylight and are able to lay during 9 months in a row. The egg-laying period can be extended and early fertility improved by using artificial lighting. In Ghana, Konlan *et al.* (28) argued that female Guinea fowl with pearls (Common breed) are capable of laying fertile eggs throughout the year with a daily laying rate of 40% (28) when given adequate supplementary feeds and if provided water *ad libitum*. In the same study, hatchability was 69% and 66% in October and November, respectively (28). This result is similar to the 68% hatchability reported by Karbo *et al.* (26) and the 70% observed by Avornyo *et al.* (3) but lower than the hatchability of 88% reported by Saina *et al.* (36). However Konlan *et al.* (28) found that the hatchability sharply decreased to 18% in December at the peak of the Harmattan hot and dry season. Therefore, besides the seasonal impact of feed availability on female laying performances, the environmental changes associated with the hot dry season seem to be detrimental either to eggs hatchability because of problems during brooding or males semen quality and sexual activity. Indeed, sperm quantity and quality depend on the weight of the testicles which are affected by environmental factors such as lighting, temperature and feeding (29). Males' activity and fertility might be especially problematic in Guinea fowls since the monogamous character requires a higher sex ratio to get a good fertility as compared to other poultry species.

The number of eggs laid each year per female in Nigeria reached 97 (4) and higher than values of 72 and 68 reported under Benin controlled environment by Chrysostome (9) and Dahouda (14). In Burkina Faso, Sanfo *et al.* (38) indicated 103.8 ± 9.6 eggs/female/year in accordance with the findings of (22) who pointed out 107 eggs/female/year. The duration of the laying season is 7 month (14). For Sanfo *et al.* (42), the duration of laying season in improved system is to 5 month for the first year and 7.5 months for the second laying year.

Eggs of Guinea fowl are smaller but more resistant to breakage than those of hens (24, 23). They are on average 47 mm long and 36.5 mm large for the largest diameter and they weight between 25 and 50 g (42). For example, Ikani and Dafwang (24) in Nigeria showed that eggs of Guinea fowl weight between 35 and 40 g against 45 to 55 g for chicken. External and internal characteristics of guinea fowl eggs varies also from a local variety to another (23). According to Narushin and Romanov (34), both thick egg shells and firm interiors, which are accepted as being higher than average, lead to an increase in egg weight, which results in the more successful hatching of embryos from heavier eggs. For example, investigations in the central region of Burkina Faso showed that eggs weight ranged between 25 to 50 g (39) and their fertility rate averaged 84.4% but varied with the egg weight. The embryonic death varied between 11.2% and 17.3%. Hatching rate was reported to be positively correlated ($r = 0.85$, $p < 0.05$) to the egg weight (39). The one-day chicks weighed 25.2 ± 1.9 g on average and their weight was positively correlated ($r = 0.96$, $p < 0.05$) to egg weight (39). Furthermore, Sanfo *et al.* (38) showed that eggs from guinea fowl reflect the basic tendency for low hatchability to be a feature of eggs with shapes that are not within the normal range. In addition, these authors showed that more rounded eggs were less successful in hatching than those with sharp ends. Similar observations have been reported for quail eggs by Sezer (44). Therefore, the external and internal quality of eggs could be used as criteria to improve egg weight and fertility and used as selection criteria between varieties (1). Incubation condition may also influence hatchability. In Northern Benin, eggs are brooded by hens, guinea fowl or duck (7). In traditional free range breeding system of West Africa, the incubation period of guinea fowl eggs lasts between 26 and 28 days (9, 38, 14) and hatching rates are usually higher than and 80%: 79.9% in Benin (14), and between 81 and 93 in Nigeria (4). In Burkina Faso, the production cycle of local Guinea fowl females was estimated to 3.2 ± 1 year with a productivity of 5.3 ± 1.2 adult guinea fowls per female each year (38).

Causes of mortality

In the Borgou department of Benin, a survey carried out on Guinea fowl breeding system showed that 28% of the mortalities were due to various illnesses, 19% to straying in the bush, 17% to various accidents, 7% to drowning in run-off water during heavy rain, 5% to predators, 5% to food poisoning and 18% to other causes (14). In Niger the causes of high mortality observed according to Moussa *et al.* (33) were undiagnosed diseases (72%), poor housing (13%), predation (8%) and lack of feed (6%). According to Sanfo *et al.* (39), causes of chicks mortality can be related to the weight of the incubated eggs where mortality is higher among guinea fowl obtained from eggs of 25 g to 35 g (46%) than eggs of 45 g to 50 g (6%). The major pathology in free range system is due to parasitic infestation such as ascariasis, capillariasis and syngamose. These parasites are responsible of major retardation in growth of birds reared in free range, weight loss and diarrhea, although Guinea fowls are the birds performing the best under poor hygienic conditions (7). The traditional free range and multi-species systems induces high infestation rate (7, 10).

Comparatively to Niger, the prevalence trichomoniasis infection is low in Benin (10), whereas the coccidia prevalence is very high, reaching about 71% in Benin (10). Five categories of ectoparasites with a dominance of *Argas* sp were identified by Salifou *et al.* (37) in Benin. However, the impact of ectoparasites on the mortality of Guinea fowls has not been clearly established. Guinea fowls are not immune to outbreaks of pasteurellosis, *Salmonella pullorum* and Newcastle virus although it is said by the farmers to be more resistant than chickens to viral diseases (10). According to Singh *et al.* (45) young subjects under two months are the most vulnerable in Burkina Faso, Sanfo *et al.* (38) indicated that the highest mortality rates ranging from 33.1 to 68.9% according to the villages is observed between the hatching to the fourth week of age. Similarly, Boko (7) indicates that global chick mortality varies between 65 and 68% in Benin.

Conclusion

Family poultry breeding occupies a significant place in the activities of rural households and peri-urban Africa and Guinea fowl plays an important part, along with other species such as chickens, Muscovy ducks, and turkeys. In terms of preference of producers and consumers, guinea fowl ranks first because of its dual abilities: producing meat and laying eggs. Despite the fact that Guinea fowl is more interesting compared to the other avian species, it often remain less available for the consumer because of its low productivity in the current traditional breeding system in sub-Saharan Africa. The low annual production of eggs, low-weight performance and high mortality especially of the young, determine the low productivity of guinea fowl. The lack of suitable follow-up in its breeding system is characterized by the lack of control of the habitat, diet and disease especially in chicks younger than two months old. Several experiments to improve farming conditions have shown that egg production can be increased, as well as weight and mortality can be decreased without achieving the performance of exotic strains. Similarly, the significant difference in growth performances among the local guinea fowl population has to be studied, also to enable any genetic improvement programs. Finally, contrary to chicken, typically local guinea fowl of Benin has not yet benefited from any health follow-up or prophylactic standard leading to the improvement of their survival and their productivity. Hence, to develop and increase productivity, family poultry in general and Guinea fowl in particular could be dynamized through conservation and improvement programs of local birds populations whose zootechnical characteristics and genetics are presently overlooked. Specifically, we should:

- identify and characterize the performance local varieties in their natural environment ;
- evaluate the influence of the diet on the expression of the production potential of those varieties, with a specific focus on growth, body composition, reproduction and physical and chemical qualities of the products (eggs and meat).

Such a set of information would serve as reliable basis to initiate conservation programs and sustainable genetic improvement through selection or cross-breeding based on the use of local genetic resources and/or commercial strains.

Literature

1. Alkan S., Karsli T., Galiç A. & Karaba K., 2013, Determination of phenotypic correlations between internal and external quality traits of guinea fowl eggs, *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.*, **19**, 5, 861-867.
2. Anonyme, 1991. Microlivestock : little-know small animals with à promising economic future. Washington D.C., National Academy Press, 115-123.
3. Avornyo F.K., Karbo N., Munkaila L., Mbii P., Abukari A. & Allegye C., 2007. Towards Reducing Guinea Fowl Mortality in Northern Ghana: Research and Development Experiences. *Savanna Farmer, Acdep.*, **8**, 2, 3 - 5.
4. Ayorinde K.L., Oluoyemi J.A. & Ayni J.S.O., 1988. Growth Performance of Four Indigenous Helmeted Guinea Fowl varieties (*Numida meleagris* *Galeata* Pallas) in Nigeria, *Bull. Anim. Hlth. Afr.*, **36**, 356-360.
5. Blanchet M., 2011, *L'activité pintade gérée à 100 % par Grimaud Frères sélection*. Filières avicoles, septembre 2011. <http://www.grimaudfreres.com/actualites/4-revue-de-presse.html> (09/09/2014).
6. Blum J.C., 1984, *L'alimentation des animaux monogastriques porcs, lapins, volailles*. INRA, Paris, 1-282.
7. Boko C.K., 2012. *Salmonella enterica dans les mortalités de pintadeaux au Bénin : Etude de terrain, comparaison des souches, et activité antibactérienne des extraits de plantes locales*. Thèse de doctorat en Santé et Productions Animales. Université de Liège (ULg).
8. Bougon M., Le Menec M. & Launay M., 1994, *Variations des performances des pintadeaux avec la teneur des aliments en énergie et en protéines*. CNEVA laboratoire Central de Recherches Avicole et Porcine, 22440, Ploufragat, 1-23.
9. Chrysostme C., 1995, *Méthodologie de développement de la pintade au Bénin*. Thèse de doctorat. Sciences Agronomiques, Institut National Agronomique. Paris-Grignon, 190 p et Annexes.
10. Chrysostme C., Allard P., Demey F., Bell J.G. & Werthner J.P., 1997, *Enquêtes sérologiques et parasitaires sur la pintade en élevage villageois au Bénin. Deuxièmes journées de la recherche avicole*. Tours, 8-10 avril, 73-76.
11. Chrysostme C., 2003, *Présentation du PADAV: Aspects commercialisation, rentabilité, financement à la base. Rapport du deuxième atelier régional de projet d'aviculture villageoise en Afrique de l'Ouest du 24- 27/09/ 2002 au Burkina Faso*. Network for smollholder poultry development.
12. Chantale F., 2003, *La pintade: Guide d'élevage*. Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, 2875 Boulevard Laurier, 9^è étage, Saint-Foy, Québec. G1V 2M2, 1-94.
13. Countrstat/Bénin, 2013. *Base de données statistiques, consulté à l'adresse*, <http://countrystat.org/ben> ou <http://www.fao.org/economic/ess/countrystat/en/> (le 26/08/2014).
14. Dahouda M., 2009, *Contribution à l'étude de l'alimentation de la pintade locale au Bénin, et perspectives d'améliorations à l'aide de ressources non conventionnelles*. Thèse de doctorat en Santé et productions animales à L'Université de Liège. Année académique 2008-2009.
15. Dams R., 1996, *Les couleurs de la pintade: Systèmes génétiques*. St Laurent d'Agny, Avril.
16. Dei H.K. & Karbo N., 2004, *Improving Small holder Guinea Fowl Production in Ghana*. A Training Manual. Cyber Systems, Tamale, Ghana, 20pp.
17. Fajemilehin S.O K., 2010. Morph structural characteristics of three varieties of grey-breasted helmeted guinea fowl in Nigeria, *Int. J. Morphol.*, **28**, 2, 557-562.
18. Fandy M., 2005, *La situation actuelle de l'aviculture villageoise au Bénin. Communication donnée à l'atelier national pour la promotion de la filière avicole au Bénin*. MAEP, FAO. 8p. <http://www.fao.org/livestock/agap/lpa/fampol/infpd84f.htm>. (27/08/2014)
19. Fanou U., 2006, *Première évaluation de la structure et de l'importance du secteur avicole commercial et familial en Afrique de l'Ouest: Cas du Bénin. Revue du secteur avicole*. FAO, 44p. Avril 2006, Réédité Juin 2008. <http://www.fao.org/docs/eims/upload/213725/ai357f00.pdf>. (27/08/2014)
20. FAO, 2014, *Poultry sector Ghana. FAO Animal Production and Health. Livestock Country Reviews*, n° 6, Rome, Italy. 82p <http://www.fao.org/docrep/019/i3663e/i3663e.pdf> (31/08/2016)
21. Groot A. & Koppes N., 2010. *La Sélection génomique apporte plus de progrès génétique*. Newsletter internationale de l'Institut de Sélection Animale, 1-4. isa.newsletter@hendrix-genetics.com
22. Halbouche M., Didi M., Bourezak N. & Lamari S., 2010, Performance de Ponte, de Reproduction et de Croissance de la Pintade Locale *Numida meleagris* en Algérie, *Eur. J. Sci. Res.*, **47**, 3, 320-333.
23. Houndonougbo P.V., Chrysostme A.A.C, Houndonougbo F.M., Hedi A., Bindelle J. & Gengler N., 2014. Evaluation de la qualité externe et interne des oeufs de cinq variétés de pintades locales élevées au Bénin. *Rev. CAMES*, **2**, 2, 42-47.
24. Ikani E.I. & Dafwang I.I., 2004, *The production of guinea fowl in Nigeria*. Extension Bulletin, 207(8): 32p <http://www.naerls.gov.ng/extmat/bulletins/Guineafowl.pdf> (01/09/2016)
25. JORF, 2006, Arrêté du 30 Avril 2007 du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Français. ROR : AGRPO753 310 A.
26. Karbo N., Avornyo F.K. & Atiiga S., 2002, Preliminary studies on the pattern and causes of guinea fowl (*Numida meleagris*) keet losses in Garu and Bawku of the Bawku East District, *Savanna Farmer*, **3**, 15-17.
27. Kayang B.B., Youssao I., Inoue E., Naazie A., Abe H., Ito S. & Inoue M.M., 2009. Genetic diversity of helmeted guinea fowl (*Numida meleagris*) based on microsatellite analysis. *Japan Poult. Sci. Association*, **47**, 120-124.

28. Konlan S.P., Avorny F.K., Karbo N. & Sulleyman A., 2011, Increasing Guinea Fowl Eggs Availability and Hatchability in the Dry Season, *J. World Poult. Res.*, **1**, 1, 1-3.
29. Le Coz-Douin J., 1992, *L'élevage de la pintade*. Collection élevage. Paris (France). 252 p.
30. Magali, 2016, *Génétique Grimaud Frères Sélection et Galor-Amice Soquet - Sélectionneur de pintades, un métier d'équilibriste*. [http://aviculture.reussir.fr/actualites/genetique-grimaud-freres-selection-et-galor-amice-soquet-selectionneur-de-pintades-un-metier-d-equilibriste:Y1A279HN.html\(19/06/2016\)](http://aviculture.reussir.fr/actualites/genetique-grimaud-freres-selection-et-galor-amice-soquet-selectionneur-de-pintades-un-metier-d-equilibriste:Y1A279HN.html(19/06/2016)).
31. Moreki J.C., 2010, *Guinea Fowl Production. Poultry and Rabbits Section*, Botswana, 1-11. <http://www.gov.bw/Global/MOA/Guinea%20Fowl%20Production.pdf>.
32. Moreki J.C. & Seabo D., 2012, Guinea Fowl Production in Botswana, *J. World Poultry Res.*, **2**, 1, 01-04.
33. Moussa Amadou B., Idi A. & Benabdeljelil K., 2011, Characterization of traditional poultry farming in Niger, *World Poultry Sci. J.*, **67**, 517-530.
34. Narushin V.G. & Romanov M.N., 2002, Egg physical characteristics and hatchability. *World Poultry Sci. J.*, **58**, 297-303.
35. Plouzeau & Sauveur, 1992, *Technical and economical aspects of guinea fowl production in the world*. Station de Recherche Avicole, INRA (France), pp319 –324.
36. Saina H., Kusina N.T., Kusina J.F., Bhebe E. & Lebel S., 2005, Guinea fowl production by indigenous farmers in Zimbabwe, *Livest. Res. Rural Dev.*, **17**, 9.
37. Salifou S., Doko S.Y., Salifou A.N. & Pangui L.J., 2004, Acariens et insectes parasites de la pintade domestique (*Numida meleagris galeata*) dans les régions de l'Alibori et du Borgou (Nord-est du Bénin), *RASPA*, **2**, 1, 43-46.
38. Sanfo R., Boly H., Sawadogo L. & Ogle B., 2007a, Caractéristiques de l'élevage villageois de la pintade locale (*Numida meleagris*) au centre du Burkina Faso, *Tropicultura*, **25**,1, 31-36.
39. Sanfo R., Boly H., Sawadogo L. & Ogle B., 2007b, Poids de l'oeuf de la pintade locale (*Numida meleagris*) dans la région centrale du Burkina Faso: rapports avec les variables de l'incubation artificielle et la production des pintadeaux, *Tropicultura*, **25**, 3, 184-188.
40. Sanfo R., Boly H., Sawadogo L. & Brian O., 2008, Performances pondérales de la pintade locale (*Numida meleagris*) en système d'alimentation améliorée dans la zone centrale du Burkina Faso, *Élev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **61**, 2, 135-140.
41. Sanfo R., Boly H., Sawadogo L. & Brian O., 2009. *Performances de production de la pintade locale (Numida meleagris) en système de conduite améliorée dans le plateau centre du Burkina Faso*. Revue Africaine de Santé et de Productions Animales, EISMV de Dakar, **7**, S, 115-121.
42. Sanfo R., Boly H., Sawadogo L. & Brian O., 2012. Performances de ponte et caractéristiques des oeufs de pintade locale (*Numida meleagris*) en système de conduite améliorée dans la région centre du Burkina Faso, *Rev. Elevage Méd. Vét. Pays Trop.*, **65**, 1-2, 25-29.
43. Seigneurin F., Grasseau I., Chapuis H. & Blesbois E., 2013, *An efficient method of guinea fowl sperm cryopreservation*. Poultry Science Association Inc., **92**, 2988-2996. [http://ps.oxfordjournals.org/content/92/11/2988.full.pdf\(19/06/2016\)](http://ps.oxfordjournals.org/content/92/11/2988.full.pdf(19/06/2016))
44. Sezer M., 2007. Heritability of exterior egg quality traits in Japanese quail, *J. Appl. Biol. Sci.*, **1**, 2, 37-40.
45. Singh B., Barwal R.S. & Singh B., 2010a, Performance of guinea fowl in Tarai and Bhabar area of Uttarakhand, *Poultry Sci.*, **45**, 1, 263 -145.
46. Singh S.K., Mehra S., Shukla S.K., Kumar V., Tiwari A., Mehra M., Goylan G., Mathew J. & Shama D., 2010b, Nucleotide sequence variation in MHC class I region in guinea fowl, *Int. J. Poultry Sc.*, **9**, 3 236-239.
47. Smith A.J., 1992, *Elevage de la volaille*. Éditions Maisonneuve et Larose Paris, **2**, 19, 1-347.
48. Tougan U.P., Dahouda M., Salifou C.F.A., Ahounou G.S., Kpodekon M.T., Mensah G.A., Thewis A. & Youssao I.A. K., 2013. Conversion of chicken muscle to meat and factors affecting chicken meat quality: a review, *Int. J. Agron. & Agric. Res.*, **3**, 8,1-20.
49. Van der Horst F. & Clavé H., 2007, *Adaptation des Régimes Alimentaires pour une Croissance Optimale de la pintade sous label rouge*. 7ième Journée de la Recherche Avicole, Tours, 28 et 29 mars, 174-177.
50. Yo T.P.M., Guerin H. & Dauvilliers P., 1994. Alimentation séparée chez les poulets de chair en climat chaud, *Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **47**, 3, 319-327.

P. V. Houndonougbo, Beninese, PhD Student, University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Animal Science Unit, Gembloux, Belgium.

J. Bindelle, Belgian, PhD, Professor, University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Animal Science Unit, Gembloux, Belgium.

C.A.A.M. Chrysotome, Beninese, PhD, Lecturer-Researcher, Associate Professor CAMES, University of Abomey-Calavi, Benin.

H. Hammami, Beninese, Researcher, University of Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, Agriculture, Bio-engineering and chemistry Department, Animal Science Unit, Numerical Genetics, Genomics and modeling, Gembloux, Belgium.

N. Gengler, PhD, Belgian, Professor and Honorary Senior Research Associate (FNRS) University of Liege-Gembloux Agro-Bio Tech, Agriculture, Bio-engineering and chemistry Department, Animal Science Unit, Numerical Genetics, Genomics and modeling, Gembloux, Belgium.

Annonces Announcements

Académie Royale
des
Sciences d'Outre-Mer



Royal Academy for
Overseas Sciences



ROYAL ACADEMY

FOR

OVERSEAS SCIENCES

Aankondigingen Anuncios

Questions du concours 2019

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

2^e 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^e 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^{er} 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>

Questions for the 2019 Competition

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

2nd 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).

3rd 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>

Questions du concours 2019

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

2^e 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^e 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^{er} 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^{de} 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^{de} 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.

2nd 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).

3rd 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^{de} 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^{de} 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

DISASTERS AND RESILIENCE IN THE 21st CENTURY

BRUSSELS, Monday 11 December 2017



VENUE; Palace of the Academies; Rue Ducale 1 / Hertogstraat 1; 1000 Brussels



AIMS OF THE WORKSHOP

Natural disasters have affected our planet since the earlier phases of its formation. Seismic activity and volcanism are linked to the Earth's internal dynamics and have caused serious disasters in the planet and mankind history, sometimes bringing an abrupt end to the existence of the affected communities (e.g. Santorini or Pompeii in the antiquity). However, natural risks have taken a new dimension in the early 21st C because of their occurrence within a fast-evolving and heavily populated planet. Earthquakes, volcanic eruptions and tsunamis are long-known natural risks but their effects increase when combined to those of climate changes and demographic pressure (as in 2004 in the Indian Ocean or 2011 in Eastern Japan).

A wide range of risks and disasters also emerges from combined action of natural factors and of poverty, poor governance, or uneven distribution of resources. Garbage landslides, long lasting pollution in mining areas, open air recycling sites or dumps, deforestation and losses in biodiversity are all risks arising from poor environmental governance. Migration has long been a normal reaction to an unacceptable level of risk (conflict, climate change, resource shortage) and it still takes place today, sometimes exposing migrants to high risks (such as droughts, diseases) in the course of their exile.

Risk management is at high stake in the 21st C and questions the functioning of our modern societies. Bottom-up solutions flourish everywhere and demonstrate the high resilience of local communities, but they also point to the lack of top-down long-term risk management and environmental governance. Many – if not all – risks, including climate changes, could indeed be mitigated through appropriate management policies. The costs and benefits of the alternative “action – no action” seems to be evaluated in different ways by local communities and state authorities.

The Royal Academy for Overseas Sciences Theme Day 2017 welcomes to-the-point, provocative, talks on adaptation and resilience facing risk, either through bottom-up actions or public policies. Different viewpoints, from natural, technical, medical and human sciences researchers, are most welcome. We therefore invite original (oral or poster) contributions on themes such as the characterization, inventory, causes, effects of disasters, but also on their management, on mitigation policies and/or resilience.

Participants are invited to submit their abstract for an oral or a poster presentation related to one of the above-mentioned themes (www.kaowarsom.be).

TIMING

Submission of proposals

Before 30 September 2017

(preferably in English — max. one A4 page - 12 point font + short biographical note)

www.kaowarsom.be/en/submission_abstracts_disasters_resilience

Notification

Early November 2017

Registration

Before 25 November 2017

Secretariat of the Workshop

Royal Academy for Overseas Sciences
Av. Louise 231/ Louizalaan 231 B-1050 BRUSSELS
E-mail : contact@kaowarsom.be

Presentation

Tropicultura is een multidisciplinair tijdschrift die oorspronkelijke artikels, onderzoeksnota's, overzichten, samenvattingen van boeken en van thesissen, alsook advertenties en besprekingen van films en audiovisuele hulpmiddelen publiceert die betrekking hebben tot alle domeinen verbonden aan overzeese plattelandsontwikkeling en duurzaam milieubeleid.

Wetenschappelijk Patronaat

Tropicultura wordt uitgegeven door de v.z.w. AGRI-OVERSEAS en geniet van het wetenschappelijke patronaat van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen (KAOW: www.kaowarsom.be).

Tropicultura vult de rol in die het Landbouwtijdschrift voor Belgisch-Congo en Ruanda-Urundi vóór 1963 speelde. Het eerste volume van Tropicultura werd in 1983 op papier gepubliceerd (ISSN 0771-3312). Sinds 2013 wordt het tijdschrift elektronisch uitgegeven (eISSN 2295-8010).

Financiële steun

Het tijdschrift is uitgegeven met de financiële steun van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (be.brussels.be) en van de "Ecole Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion intégrées Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIFT: www.eraift-rdc.org).

Tropicultura en de CAMES

Publicaties in Tropicultura zijn erkend door de "Conseil africain et malgache pour l'enseignement supérieur" (CAMES: www.lecames.org) voor de promotie en de bevordering van docenten-onderzoekers.

Leden van de vzw Agri-Overseas

De v.z.w. Agri-Overseas is samengesteld uit individuele leden en uit de volgende Belgische instellingen: de vier faculteiten landbouwwetenschappen (Gembloux - GxABT/ULg, Gent - UGent, Leuven - KULeuven en Louvain-La-Neuve - UCL), de twee faculteiten diergeneeskunde (Gent - UGent en Liège - ULg), de eenheden dierengezondheid van het Departement biomedische wetenschappen van het Instituut voor Tropische Geneeskunde te Antwerpen - ITG, de Interfacultaire Afdeling Landbouw van de "Université libre de Bruxelles" - ULB, de "Facultés universitaires de Notre Dame de la Paix" (Namur - UNamur), het "Département des Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université de Liège" (Arlon - DSGE ULg) en de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen (KAOW - ARSOM).

Wetenschappelijke gebieden

Tropicultura publiceert artikels gebonden aan plattelandsontwikkeling en duurzaam milieubeheer in warme landen: planten- en dierenproducties, diergeneeskundige wetenschappen, bosbouw, bodemkunde, plattelandsbouwkunde, milieuwetenschappen, visvangst en visteelt, bio-industrie, voedingsmiddelenindustrie, sociologie en economie.

Regelmatigheid

Tropicultura wordt driemaandelijks uitgegeven, namelijk in maart, juni, september en december.

Publicatie in Open Access

Alle artikels van Tropicultura sinds de oprichting in 1983 zijn in open access uitgegeven. De volledige tekst en de samenvattingen zijn gratis. Artikels worden verspreid onder de licentie Creative Commons (CC BY-NC 4.0 - <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fr>).

Indexering in de belangrijkste databases

Tropicultura is geïndexeerd in de belangrijkste databases AGRICOLA, AGRIS, CABI, SESAM en DOAJ. Aanvraag tot indexering van Tropicultura in SCOPUS is ingediend.

Impactfactor

De stappen zijn ondernomen voor het verkrijgen van impactfactor.

Verspreiding van Tropicultura

Tropicultura werd van 1983 tot 2012 op papier gedrukt. De oplage bedroeg 2,650 exemplaren en het tijdschrift werd in 110 verschillende landen verspreid.

Alle artikels vanaf het eerste deel, zijn integraal toegankelijk op de website (<http://www.tropicultura.org/content/>) en op DOAJ (<https://doaj.org/toc/0771-3312>).

In 2014, werden door Google Analytics 8.648 bezoekers uit 141 landen en regio's geteld. In 2014 werd Tropicultura 2.173 keren gedownload vanuit 101 landen.

Tropicultura is ook toegankelijk op web sites van EBSCO en Bielefeld (http://www.base-search.net/Search/Results?lookfor=dcoll%3Aftdoaj*+tropicultura.org&refid=dclink) en via google scholar (<https://scholar.google.be/scholar?q=Tropicultura>).

Personalia

Redactiecomité

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

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

Leden : 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 (ITG), Prof. Dr. Ir. P. Van Damme (UGent), Prof. Dr. S. Geerts (KAOW ARSOM), Dr. G. Akoda (EISMV), Dr. Ir. A. Dieng (ENSA), Prof. Dr. Ir. P. Mobambo (UNIKIN), Dr. C. Ly (ILRI) et Prof. Dr. J. Vercruysse (UGent).
Assistenten van de hoofdredacteur: Dr. Ir. Germain Harelimana, Mevr Caroline Louvet.

Raad van Bestuur van de vzw Agri-Overseas

De raad van bestuur is samengesteld uit: Prof. Dr. J. Bogaert (voorzitter), Prof. Dr. Ir. G. Mergeai (gedelegeerd bestuurder), Prof. Dr. B. Losson (schatbewaarder), Dr Eric Thys (secretaris), Prof. Dr. J. Vercruysse (lid), Prof. Dr. S. Geerts (lid).
Zijn permanent uitgenodigd: de Vast Secretaris van KAOW en de directeur van ERAIFT.

Uitgever

Agri-Overseas
Avenue Louise, 231
B-1050 Brussel (België)
telefoon: 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>

Richtlijnen voor auteurs

Talen

Tropicultura publiceert artikels in het Engels, Spaans, Frans en Nederlands. Samenvattingen zijn in het Engels en het Frans opgesteld, maar eveneens in het Spaans of het Nederlands als de manuscript in deze taal ingediend wordt.

Inhoud van het manuscript

Voorrang wordt gegeven aan artikels die een origineel onderwerp uitmaken en een zo breed mogelijk reikwijdte hebben, met andere woorden waarvan de inhoud vooral betrekking heeft tot methodologische aspecten die in een zo breed mogelijke waaier milieus of regio's van de wereld over te brengen zijn.

Een bijzonder accent wordt eveneens gelegd op de betrouwbaarheid van de gepubliceerde informatie, meer bepaald, wanneer het over experimentele resultaten gaat, op het aantal herhalingen in tijd en ruimte van de proeven die aan de basis liggen van de bekomen gegevens. De manuscripten moeten origineel zijn en mogen niet gelijktijdig elders voorgelegd worden voor publicatie.

Insturen van het manuscript

De manuscripten worden in drie papieren exemplaren naar de hoofdredacteur verzonden of bij voorkeur rechtstreeks onder elektronische vorm als attachment naar het e-mail adres van het secretariaat.

In de mate van het mogelijke zal de auteur, na aanvaarding van het artikel, een laatste, herlezen en verbeterde versie insturen in elektronisch formaat. De software Word is aanbevolen maar een ASCII of RTF formaat van het artikel wordt aanvaard.

Style

Slecht een kant van het blad wordt gedrukt met dubbele lijnspace (27 lijnen van 60 tekens per DIN A4 formaat blad) met een marge van minimum 2,5 cm aan elke kant van het blad. Het lettertype is Times New Roman 11 (27 lijnen van 60 karakters per blad). De manuscripten houden maximum 20 tekstbladen in (voorblad niet inbegrepen).

Het voorblad houdt de titel in, de verkorte titel (maximaal 55 drukletters), de complete namen en voornamen van de auteurs, het diploma, de functie, de nationaliteit, het beroepsadres van alle auteurs en desgevallend de dankbetuiging. De naam van de contactauteur zal met een * gemerkt zijn en zijn adres aangevuld met zijn telefoonnummer.

De volgende pagina's houden volgende elementen in:

- (i) de samenvattingen (max. 200 woorden) in de taal van het manuscript en in het Engels, voorafgegaan door de vertaling van de titel en gevolgd door maximum 6 sleutelwoorden in beide talen;
- (ii) de hoofdinhoud van de tekst;
- (iii) de literatuurlijst;
- (iv) de tabellen genummerd met Arabische cijfers;
- (v) de figuren die op de achterzijde ondubbelzinnig genummerd moeten zijn als ze niet elektronisch gestuurd zijn;
- (vi) de legendes van de tabellen en de figuren.

Alle bladzijden van de bijdrage worden doorlopend genummerd.

De tekst wordt ingedeeld in hoofdstukken (in het algemeen: Inleiding, Materiaal en methodes, Resultaten, Discussie, Conclusies). De indeling van de tekst zal niet verder gaan dan twee niveaus (maximum een niveau onder de titels van de hoofdstukken). De titels van hoofdstukken en de ondertitels dienen beknopt te zijn en zullen nooit onderlijnd worden.

De referenties worden in de tekst door nummers tussen haakjes vermeld. In geval van citatie van verschillende referenties zullen de nummers in groeiende volgorde vermeld worden.

De figuren zullen op professionele wijze getekend zijn. Foto's dienen contrastrijk te zijn, niet gemonteerd en op glanzend papier. De foto's in jpg formaat dienen van goede kwaliteit te zijn met een minimum van 300 pixels per inch (dpi).

De Excel bestanden met de gegevens van de tabellen en de figuren moeten ook toegevoegd worden op het moment van indienen van het manuscript.

De literatuurlijst wordt alfabetisch gerangschikt op basis van de namen van de auteurs en chronologisch voor dezelfde auteur. De referenties zullen doorlopend genummerd worden beginnend met het cijfer 1.

Artikels uit tijdschriften worden in de literatuurlijst als volgt gerefereerd: namen van auteur(s) gevolgd door de initialen van de voornamen, het jaar van publicatie, de volledige titel van het artikel in de oorspronkelijke taal, de naam van het tijdschrift, het nummer van het volume (onderlijnd), de nummers van eerste en laatste bladzijde door een streepje verbonden.

Voorbeeld: Poste G., 1972, Mechanisms of virus induced cell fusion. Int. Rev. Cytol. 33, 157-222.

Bij boeken dienen plaats en naam van uitgever vermeld te worden. Bij referenties naar hoofdstukken in boeken: (in volgorde) de auteurs van het hoofdstuk, jaartal, titel van het hoofdstuk, het woordje 'In:', de editorsnamen gevolgd door '(editors)'. Titel van het boek (cursief), volume of uitgave (indien meerdere), naam en locatie van de uitgeverij, begin- en eindpagina's van het hoofdstuk. Bij boeken zijn volgende elementen van belang: de namen van auteurs gevolgd door de initialen van de voornamen, het jaar van publicatie, de volledige titel van het boek, de naam en locatie van de uitgeverij, begin- en eindpagina's van het geciteerde hoofdstuk, het totaal aantal bladzijden van het boek.

Verslagen van conferenties dienen op dezelfde wijze vermeld te worden, mits toevoeging als het mogelijk is van de plaats, de datum de conferentie en de namen van de wetenschappelijke editors.

Voorbeeld: Korbach M.M. & Ziger R.S., 1972, Heterozygotes detection in Tay-Sachs disease a prototype community screening program for the prevention of recessive genetic disorders pp 613-632, in: B.W. Volks & S.M. Aronson (Editors), Sphingolipids and allied disorders, Plenum, New-York, 205 p.

Kopijrecht

Met het oog zich te verzekeren van de originaliteit van het manuscript en van de toelating tot publicatie gegeven door de overheidsinstanties van de auteurs, wordt aan de hoofdauteur gevraagd een verklaring op eer te ondertekenen en terugsturen.

Publicatierechten

Bij het indienen van het artikel, geven de verschillende auteurs aan Tropicultura de niet exclusieve toelating om in open access te publiceren. De auteur behoudt zijn auteursrecht.

Deelname aan de onkosten van publicatie

De deelname van de auteurs in de publicatiekosten van het artikel bedraagt 200, 300 of 500 euro volgens de door de auteur gekozen modaliteit. Voordat het artikel wordt verwerkt, moet de contactauteur een attest ondertekenen en terugsturen.

Plagiaat detector

Alle manuscripten worden op plagiaat getest vooraleer aan de referees verzonden te worden.

Leescommissie

De leescommissie van Tropicultura bestaat uit vrijwillige referees uit de internationale wetenschappelijke gemeenschap, gespecialiseerd in alle domeinen met betrekking tot overzeese plattelandsontwikkeling en duurzaam milieubeheer.

Bij het indienen van het artikel, stellen de auteurs drie internationaal gerenommeerde referees voor.

De referees blijven anoniem voor de auteurs. De auteurs zelf blijven eveneens anoniem voor de referees.

Het redactiecomité behoudt zich het recht artikels die niet aan de instructies beantwoorden te weigeren.

Het aanvaardingspercentage van artikels ingediend bij Tropicultura bedraagt 32% tussen 2010 en 2015. accepted.

Hulp bij het opstellen

Het redactie secretariaat kan de auteurs adviseren voor de verbetering van hun manuscript. Het redactiesecretariaat biedt de mogelijkheid aan de referees die het wensen om hen in contact te stellen met de auteurs van het artikel dat zij evalueren.

Texte français dans le n°1

English text in Nr.2

Texto Español en el N°4

TROPICULTURA

2017 Vol. 35 N°3

Four issues a year (July-August-September)

EDITORIAL

What Seeds for the Future? (*Text in English and French*)

G. Mergeai

147

ORIGINAL ARTICLES

Effects of Defatting Combined or not to Heating of *Jatropha curcas* Kernel Meal on Feed Intake and Growth Performance in Broiler Chickens and Chicks in Senegal

T.D.T. Nesseim, A. Dieng, G. Mergeai & J.-L. Hornick

149

The Forest Spatial Dynamic in the Bururi Forest Nature Reserve, Burundi (*Text in French*)

F. Havyarimana, T. Masharabu, J.K. Kouao, I. Bamba, D. Nduwarugira, M.-J. Bigendako,

P. Hakizimana, A. Mama, F. Bangirinama, G. Banyankimbona, J. Bogaert & C. De canniere

158

Incidence and Severity of the African Cassava Mosaic in Fields and Home Gardens in Kinshasa (Democratic Republic of the Congo) (*Text in French*)

F. Bulubulu Otono & S.N.D. Mutambel' Hity

173

Contract Farming Preferences of Smallholder Rice Producers in Benin: A Stated Choice Model Using Mixed Logit Erodibility

A. Arouna, P.Y. Adegbola, R.C. Zossou, R. Babatunde & A. Diagne

180

Dynamics of Forest Ecosystems of the Katangese Copper Belt in the Democratic Republic of the Congo. I. Causes, Spatial transformations and Extent (*Text in French*)

S. Cabala Kaleba, Y. Useni Sikuzani, K.R. Sambieni, J. Bogaert & F. Munyemba Kankumbi

192

Profitability and Technical Efficiency of Soybean Production in Northern Nigeria

O.O. Ugbabe, T. Abdoulaye, A. Y. Kamara, J. Mbavai & O. Oyinbo

203

TECHNICAL NOTES

The Deforestation Radius around Lubumbashi City (Upper Katanga, DR Congo): Synthesis (*Text in French*)

Y. Useni Sikuzani, F. Malaisse, S. Cabala Kaleba, F. Munyemba Kankumbi & J. Bogaert

215

Characteristics of Guinea Fowl Breeding in West Africa: A Review

P.V. Houndonougbo, J. Bindelle, C.A.A. Mahoussi, H. Hedi & N. Gengler

222

ANNOUCEMENTS

RAOS: Yearly Competitions

231

RAOS: Disasters and Resilience in the 21st Century: Multidisciplinary Workshop

234

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