

TROPICULTURA

2016 Vol. 34 N°1

Trimestriel (janvier-février-mars)

Driemaandelijks (januari-februari-maart)

Trimestral (enero-febrero-marzo)

Quarterly (January-February-March)



Elevage de porcs - Ibi village - Plateau des Batéké - Rép. Dém. du Congo

Crédit: Guy Mergeai

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/EDITORIAAL/EDITORIAL

Will Future Developments in the World of Agriculture Lead to the Disappearance of Family Farms?

Le futur de l'agriculture passe-t-il par la disparition des exploitations familiales ?

Hangt de toekomst van de landbouw af van het verdwijnen van familiebedrijven?

¿ El futuro de la agricultura pasa por el desaparecimiento de las explotaciones familiares?

G. Mergeai

1

ARTICLES ORIGINAUX/OORSPRONKELIJKE ARTIKELS/ARTICULOS ORIGINALES

Evaluation de la teneur en protéines et en chlorophylle dans les feuilles de cinq variétés locales de manioc infectées par la mosaïque en République Centrafricaine

Evaluatie van de proteïne- en chlorofylgehalte van vijf lokale variëteiten van maniok geïnfecteerd door het mozaïek virus in Centraal Afrikaanse Republiek

Evaluación del contenido en proteína y en clorofila en hojas de cinco variedades locales de la mandioca infectadas por el mosaico en la República Centroafricana

I. Zinga, R.D. Longue, E.K. Komba, C. Beaumont & S. Semballa

3

Rôle et place de la chèvre dans les ménages du Sahel burkinabé

Papel y la posición de la cabra en las hogares del Sahel Burkinabé

Rol en plaats van de geit in het leven van de huishoudens van de Burkinese Sahel

B.I. Gnanda, A. Wereme N'Diaye, H. O. Sanon, J. Somda & J.A. Nianogo

10

Understanding Market Participation Choices and Decisions of Maize and Cowpea Farmers in Northern Nigeria

Compréhension des choix et des décisions de participation au marché des producteurs de maïs et de niébé du nord du Nigeria

Het begrijpen van keuzes en beslissingen in de deelname aan het vermarkten van producenten van maïs en zwartogenboon in het noorden van Nigeria

Comprensión de las elecciones y decisiones de los productores de maíz y frijol del norte de Nigeria a participar al mercado

D.B. Mignouna, T. Abdoulaye, A.A. Akinola, A.Y. Kamara & M. Oluoch

26

Croyances locales et stratégies d'adaptation aux variations climatiques à Korhogo (Côte d'Ivoire)

Lokale overtuigingen en aanpassingsstrategieën aan klimaatverandering in Korhogo (Ivoorkust)

Creencias locales y estrategias de adaptación a las variaciones climáticas en Korhogo (Costa de Marfil)

A.N.N. Boko, G. Cisse, B. Kone & S.F. Dedy

40

Effet de l'application d'engrais minéral complet NPK et de biochar sur les performances de la culture pure du manioc et de l'association manioc - maïs dans les conditions du plateau des Batéké en République Démocratique du Congo (RDC)

Effect van de toepassing van complete minerale meststof NPK en biochar op de prestaties van de reincultuur van maniok en van maniok- maïs combinatie in de omstandigheden van het Batéké-Plateau/ Democratische Republiek van Congo (DRC)

Efecto de la aplicación de abono mineral completo NPK y de biochar sobre el desempeño del cultivo puro de la mandioca y de la asociación « mandioca – maíz » en las condiciones de la meseta de los Batéké / República Democrática del Congo (RDC)

B. Lele, J. Lejoly & C. Kachaka

47

Culture d'une légumineuse et d'une céréale dans le système <i>zaï</i> avec différents amendements organo-minéraux -productivité et impact sur les propriétés biologiques d'un sol ferrugineux dégradé dénudé en Région nord soudanienne au Burkina Faso. Cultuur van een peulvrucht en een graangewas in het <i>Zaï</i> systeem met verschillende organo-minerale grondverteringen productiviteit en impact op de biologische eigenschappen van een ijzerhoudende gedegradeerde en onbegroeide bodem in de noord-Soedanese regio van Burkina Faso Cultivo de una leguminosa y de un cereal en el sistema <i>zaï</i> con diferentes enmiendas organo-minerales-productividad e impacto sobre las propiedades biológicas de un suelo ferruginoso degradado desnudado en Región norte sudanese de Burkina Faso D. Some, E. Hien, K. Assigbetse, J.J. Drevon & D. Masse	56
Sélection des variétés de soja pour la résistance à la pustule bactérienne au Bénin Selección de las variedades de soja para la resistencia a la pústula bacteriana en Benin Selectie van sojabonen variëteiten voor resistentie tegen bacteriële pestel in Benin V.A. Zinsou, F. Afloukou, E. Sekloka, F. Dannon, N. Zoumarou-Wallis, L.A.C. Afouda & L. Dossou	69
Intégration spatiale des marchés ruraux et urbains de la banane à cuire dans le Sud-Est de la Province du Sud du Rwanda Ruimtelijke integratie van de landelijke en stedelijke markten van kookbare banaan in het zuidoosten van de zuidelijke provincie van Rwanda Integración espacial de los mercados rurales y urbanos de Banano de cocción en el Sudeste de la Provincia del Sur de Rwanda F. Niyitanga	80
Caractéristiques des sols sous savane et sous forêt naturelle sur le plateau des Batéké en République Démocratique du Congo Bodemeigenschappen in savanne en natuurlijke bos percelen op het Bateke plateau in de Democratische Republiek Congo Características de los suelos en parcelas de sabana y de bosque natural en el meseta de los Batéké en la República Democrática del Congo B.M. Nsombo, R.S. Lumbuenamo, J. Lejoly, J.K. Aloni & P.M-M. Mafuka	87
Dynamique des populations du puceron <i>Aphis gossypii</i> Glover (Homoptera: Aphididae) sur le cotonnier en conditions de fertilisation minérale et rhizobacteriologique Populatiedynamiek van de bladluis <i>Aphis gossypol</i> Glover (Homoptera: Aphididés) op de katoenplant onder omstandigheden van minerale en rhizobacteriologische bemesting Dinámica de las poblaciones del pulgón <i>Aphis gossypii</i> Glover (Homoptera: Aphididae) sobre el algodón en condiciones de fertilización mineral y rhizobacteriologica G.D. Fayalo, A. Aouco & T.B.C. Alavo	98
ANNONCES/ AANKONDIGINGEN/ ANUNCIOS	
ARSOM: Yearly Competitions	105
R. Bosma: University Curricula and Research on Water Management and Agriculture for Climate Change Responses	108

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
--

Will Future Developments in the World of Agriculture Lead to the Disappearance of Family Farms?

In this editorial, we would like to highlight the World Forum on Access to Land, which will be held in Valencia (Spain) from 31 March - 2 April 2016. This event is especially important, as it aims to guarantee the long-term survival of family farms in the tropical regions. It will address major problems linked to unequal access to land and natural resources.

The human race is currently facing a critical situation, which is marked by the persistence of hunger and major population growth in the poorest countries, as well as exclusion, mass unemployment, an unprecedented environmental crisis and the loss of food sovereignty. The large-scale land grabbing that accompanies this crisis compels us to return to the question of access to land and productive resources.

Is it necessary to sacrifice the interests of the affected populations and future generations for the profitability of financial investments, which only benefit a minority? If this strategy is taken to its logical conclusion, this will result in the destruction of an increasingly large proportion of family farms and only benefit major companies that produce a small number of food products. The latter are major consumers of synthetic inputs and fossil energy, but employ fewer and fewer paid workers.

Will this model create jobs and generate income for hundreds of millions of farmers who are currently being excluded and increasingly forced to enter the labour market? The approaching agricultural revolution could make it possible to feed 9 billion people properly, provide jobs for the majority and eradicate hunger, but will it be based on a massive substitution of capital for labour, as has been the case in the past?

This large-scale monopolisation of our planet's resources manifests itself in many different ways, but always results in these resources being commercialised to an increasing extent, in the name of growth and welfare at international level. The historical, ecological, social, cultural and political dimensions of the current dynamics cannot be ignored. In this context, it is vital that we highlight the right of populations to fair access to land, water, natural resources and the most appropriate production systems for their technical, ecological, economic and cultural needs, as well as the general interest.

It would be heartless to put science into practice without having a conscience. We therefore felt that it was important to highlight the themes that will be discussed in Valencia, for everyone who is interested in the future of agriculture in the tropical regions. After all, the future of most family farms in this part of the world is at stake. With this in mind, we hope that the World Forum on Access to Land will make it possible to propose solutions, in order to resolve these problems.

Guy Mergeai
Chief Editor

Le futur de l'agriculture passe-t-il par la disparition des exploitations familiales?

Compte tenu de son importance pour assurer le maintien à long terme d'une agriculture familiale dans les régions tropicales, nous faisons écho dans cet éditorial à l'organisation du forum mondial sur l'accès à la terre qui se tient du 31 mars au 2 avril 2016 à Valencia en Espagne pour traiter les problèmes majeurs liés à l'inégalité d'accès à la terre et aux ressources naturelles.

L'humanité connaît actuellement une situation critique caractérisée par la persistance de la faim et d'une croissance démographique importante dans les pays les plus pauvres, l'exclusion, le chômage massif, une crise environnementale sans précédent et une perte de souveraineté alimentaire. Les accaparements fonciers à grande échelle qui accompagnent cette crise invitent à revisiter la question de l'accès à la terre et aux ressources productives.

Faut-il sacrifier l'intérêt des populations concernées et des générations à venir à la rentabilité d'investissements financiers qui profitent à une minorité? Poursuivre cette démarche jusqu'au bout de sa logique aboutira à la destruction d'une part de plus en plus grande d'exploitations agricoles familiales au profit de grandes entreprises produisant un petit nombre de denrées, à la fois grandes consommatrices d'intrants de synthèse et d'énergie fossile, et employant un nombre de plus en plus restreint de travailleurs salariés.

Ce modèle permettra-t-il la création d'emplois et de revenus pour des centaines de millions de paysans aujourd'hui sur la voie de l'exclusion, et autant ou davantage appelés à entrer sur le marché du travail? La révolution agricole à venir, susceptible à la fois de nourrir correctement 9 milliards d'humains, de donner du travail au plus grand nombre et d'éradiquer la faim, pourra-elle être basée, comme par le passé, sur un remplacement massif du travail par du capital?

L'accaparement massif des ressources de la planète, par-delà la diversité de ses manifestations, traduit leur marchandisation toujours plus étendue, au nom de la croissance et du bien-être à l'échelle mondiale. Les dimensions historiques, écologiques, sociales, culturelles et politiques des dynamiques en cours ne peuvent être ignorées. Dans ce contexte il est fondamental de mettre en avant le droit des populations à disposer d'un accès équitable à la terre, à l'eau et aux ressources naturelles et leur droit à mettre en oeuvre les systèmes de production les plus conformes à la fois à leurs choix techniques, écologiques, économiques et culturels, et à l'intérêt général.

Science sans conscience n'est que mort de l'âme. Il nous paraissait donc important de mettre en avant pour tous ceux qui s'intéressent à l'avenir de l'agriculture dans les régions tropicales ce qui se discute actuellement à Valencia. Car, si on réfléchit bien, c'est le futur d'une grande partie de l'agriculture familiale dans cette partie du monde qui est en jeu. Dans cette perspective, nous espérons que les travaux du forum mondial sur l'accès à la terre permettront de proposer des solutions à la hauteur des problèmes qui se posent.

Guy Mergeai
Rédacteur en chef

ARTICLES ORIGINAUX ORIGINAL ARTICLES

OORSPROKELIJKE ARTIKELS ARTICULOS ORIGINALES

Evaluation de la teneur en protéines et en chlorophylle dans des feuilles de cinq variétés locales du manioc infectées par la mosaïque en République Centrafricaine

I. Zinga^{1*}, R.D. Longue¹, E.K. Komba¹, C. Beaumont² & S. Semballa¹

Keywords: Cassava- Mosaic disease-Protein- Chlorophyll- Viruses- Central African Republic

Résumé

En République Centrafricaine, le manioc est devenu un aliment de base et une source de revenu pour la quasi-totalité de la population rurale. La mosaïque du manioc constitue une menace importante pour la production du manioc et la sécurité alimentaire de la population. La perte de la production due à cette maladie dans le pays est estimée à 50%. Cette baisse de rendement serait liée, du point de vue physiologique, à la réduction de la surface foliaire mais aussi à la chute de taux de chlorophylle, pigment responsable de la photosynthèse. En Centrafrique, une partie de la population manifeste une préférence pour les feuilles du manioc présentant des symptômes de la mosaïque qui leur donnerait un goût plus agréable. L'objectif de ce travail est de comparer les teneurs en protéine et en chlorophylle dans les feuilles présentant des symptômes de la mosaïque et des plants sains pour vérifier l'hypothèse qu'une haute teneur en protéine dans les feuilles de manioc pourrait être associée à leur infection par le virus. Les résultats obtenus ont montré que la teneur en protéine est plus importante dans des feuilles malades que dans des feuilles saines. Ce taux passe en moyenne de $12,77 \pm 0,86\%$ du poids sec des feuilles chez les plants sains à $22,88 \pm 2,93\%$ chez les plants malades. La teneur en chlorophylle est faible chez les plants sévèrement atteints par la mosaïque et est importante chez les plants sains avec une teneur respective de $13,19 \pm 1,09$ mg/l et de $21,81 \pm 2,17$ mg/l.

Summary

Assessment of Protein and Chlorophyll contents in Leaves of Five Local Varieties of Cassava Infected by African Mosaic Virus in Central African Republic

In Central African Republic, cassava has become a staple and a source of income for almost all the rural population. Cassava Mosaic Virus is a major threat to cassava production and food security for the population. The loss of production due to this disease in the country is estimated at 50%. This decrease is linked from the physiological point of view to reduction of the leaf surface, but also to a drop of the chlorophyll level. In the Central African Republic, a part of the population prefers infected cassava leaves because they would be tastier. The objective of this study was to compare the levels of protein and chlorophyll in infected and healthy leaves to verify the hypothesis that high protein content in the leaves could be associated to their contamination by the virus. The results obtained showed that the protein content is higher in the infected leaves than in the healthy ones. The rate rises on average from $12.77 \pm 0.86\%$ of the dry weight of the leaves in healthy plants to $22.88 \pm 2.93\%$ in diseased plants. Chlorophyll content is low in plants severely affected by the mosaic virus, and higher in healthy plants with a respective content of 13.19 ± 1.09 mg/l and 21.81 ± 2.17 mg/l.

¹Université de Bangui, Laboratoire des Sciences Biologique et Agronomiques pour le Développement, République Centrafricaine.

²Lycée Charles De Gaulle de Bangui, Laboratoire des Sciences de la Vie et de la Terre, République centrafricaine.

*Auteur correspondant: E. Mail: zinga.innocent37@googlemail.com

Reçu le 27.05.10 et accepté pour publication le 01.04.15

Introduction

En République Centrafricaine (RCA), le manioc s'impose comme un aliment de base et une source importante de revenu de la population rurale (12). Il est cultivé principalement pour ses tubercules et ses feuilles consommées comme légume. Sa production est estimée à 700.000 tonnes de tubercules frais devant l'igname et le maïs avec une production respective de 470.000 tonnes et 165.000 tonnes (5, 10). Il contribue essentiellement à la sécurité alimentaire, à la réduction de la pauvreté et à la croissance économique (9). Les enquêtes réalisées entre 2005 et 2011 ont montré une incidence de la mosaïque de 85% avec la présence de deux espèces de *begomovus* à savoir: l'*African Cassava Mosaic Virus* (ACMV) et de la souche sévère ougandaise de l'*East African Cassava Mosaic Virus-Uganda* (EACMV-Ug) (16, 17, 18). Nos enquêtes ont permis d'estimer 50% de pertes de récolte, et de démontrer que le principal facteur de dissémination de la maladie était l'état phytosanitaire déplorable des boutures utilisés par les paysans pour la replantation des parcelles avec 79% de boutures contaminées (16, 17, 18). Certains travaux ont montré que la teneur en protéine varie de 14 à 35% dans des feuilles de manioc (2, 8, 11), teneur qui serait à notre avis très élevée pour une plante. Il est à préciser que la population centrafricaine a une préférence pour les feuilles du manioc atteintes de la mosaïque à cause de leur goût jugé plus agréable, selon des constats faits. La forte teneur en protéine dans des feuilles du manioc pourrait être liée à la présence de la capsid virale dans celles-ci, ce qui pourrait expliquer en partie l'amélioration du goût des feuilles présentant des symptômes de la mosaïque. L'évaluation comparative de taux de protéine dans des feuilles malades et saines du manioc pourrait apporter des clarifications. L'un des objectifs de ce travail était de vérifier la relation entre la teneur en chlorophylle dans des feuilles et les niveaux de sévérité de la maladie. Cette étude nous permet également de mieux comprendre l'impact de la maladie sur la teneur en chlorophylle. En effet, la chlorophylle est un pigment assimilateur sans laquelle la photosynthèse ne peut avoir lieu. La chute de taux de chlorophylle dans la plante

pourrait avoir un impact sur le rendement par réduction de la photosynthèse. Pour réaliser de ce travail, nous avons fait l'échantillonnage dans le village Zilla (commune de Bimbo I) situé à environ 15 km de Bangui sur la route de M'baïki et sur la parcelle expérimentale de l'Université de Bangui.

Matériel

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué des plants de manioc (*M. esculenta* Crantz), issus de cinq cultivars locaux: *Bengba gozo*; *Vouko gozo*, *Vourou gozo*, *Damara* et *BCR10*. Nous avons utilisé les feuilles des plants visuellement sains et celles des plants présentant des symptômes de la mosaïque du manioc. Les prélèvements ont été faits sur les plantes de manioc âgées de 6 mois. La détermination de taux de chlorophylle a été réalisée sur les plants de manioc à différents Indices de Gravité des Symptômes (IGS) ou sévérité, sur la base de l'échelle de Cours qui varie de 0 à 5. La sévérité 0 désigne les plants sains et celle des plants malades varient de 1 à 5 c'est-à-dire du moins au plus sévère. Trente échantillons des feuilles ont été collectés par variété dans une parcelle de collection de manioc à l'Université de Bangui. Au total trois variétés locales ont servi à cette étude à savoir: *Bengba gozo*, *Damara* et *DCR10*. Par contre les échantillons qui ont permis à la détermination de taux de protéine ont été collectés dans un champ paysan au village Zilla situé à 15 km au Sud de Bangui. Soixante échantillons ont été prélevés par variété dont trente provenant des feuilles malades et trente des feuilles visuellement saines. Au total 180 échantillons ont été analysés pour les trois variétés locales étudiées qui sont: *Vourou gozo*, *Bengba gozo* et *Vouko gozo*. Les deux variétés *Damara* et *DCR10* n'ont pas été intégrées à ce travail à cause de la disponibilité insuffisante des échantillons. Les travaux d'analyse ont été effectués dans le Laboratoire des Sciences Biologiques et Agronomiques pour le développement (LASBAD) de l'Université de Bangui (dosage de la teneur en protéine) et le Laboratoire de Science de la Vie et de la Terre (SVT) au Lycée Charles de Gaule de Bangui (dosage de chlorophylle sur les échantillons frais).

Méthodes

Détermination de taux de protéines des feuilles

La méthode utilisée pour le taux de protéines totales est celle de précipitation par une solution saline saturée. Le sulfate d'ammonium, $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ a la propriété de précipiter toutes les protéines en solution dans un tampon idéal. Le PBS (Phosphate Buffered Salt) à pH 7,4 permet la mise en solution de toutes les protéines d'un échantillon. Le sulfate d'ammonium, sous la forme $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ s'engage dans la liaison avec toutes les protéines déjà en solution quelle que soit leur nature. Ainsi, 5 g de feuilles séchées ont été finement broyées et dissout dans 25 ml de tampon PBS pH 7,4. Après centrifugation à 5000 tours par minute, le culot récupéré est mélangé avec la solution concentrée de $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ v/v et centrifugé de nouveau dans les mêmes conditions. Le culot récupéré a été séché à l'étuve à 37 °C pendant 24 heures puis pesé.

Détermination de taux de chlorophylles des feuilles

Les extraits chlorophylliens obtenus avec l'alcool éthylique à 90° permettent de déterminer les longueurs d'onde de la lumière visible (400 à 750 nm), absorbées par la chlorophylle brute en solution alcoolique. Deux grammes de feuilles ont été finement découpés puis broyés à sec dans le mortier en présence d'une pincée de sable préalablement traité et de carbonate de calcium. Le broyat ainsi obtenu a été déposé dans de 20 ml d'éthanol à 90 °C en laissant le mélange à 3 minutes à l'air libre.

Le liquide obtenu est filtré sur un entonnoir portant un papier filtre. L'ensemble de filtrat a été dilué en ajoutant 50 ml d'éthanol 90°. Le dosage a été fait avec un spectrophotomètre CCD connecté à un ordinateur. La teneur en chlorophylles totales des extraits a été obtenue en utilisant la formule d'ARNON.

Formule d'ARNON: $Chl\ totale = (0,0202 \times D.O\ 645) - (0,0802 \times D.O\ 663)$ mg/ml.

Analyses statistiques des résultats

Les résultats de la teneur en protéine et en chlorophylle des échantillons étudiés ont été traités statistiquement par analyse de la variance selon le test de Student.

Résultats

Détermination du taux de Protéines

La figure 1, exprime la teneur en pourcentage des protéines dans les feuilles du poids sec des variétés *Vourou gozo*, *Vouko gozo* et *Bengba gozo*. Pour toutes les variétés confondues, la teneur en protéine dans des feuilles infectées est plus élevée que celles des feuilles saines. Les teneurs (Figure 1) en poids sec des feuilles saines comparativement aux feuilles présentant des symptômes des trois variétés étudiées sont *Vouko gozo* (12,6 et 20,98), *Bengba gozo* (12 et 21,4) *Vourou gozo* (13,7 et 26,25) ($p < 0,01$). La teneur en protéine dans les feuilles des plants infectés par la mosaïque double comparativement à celles des feuilles des plants sains.

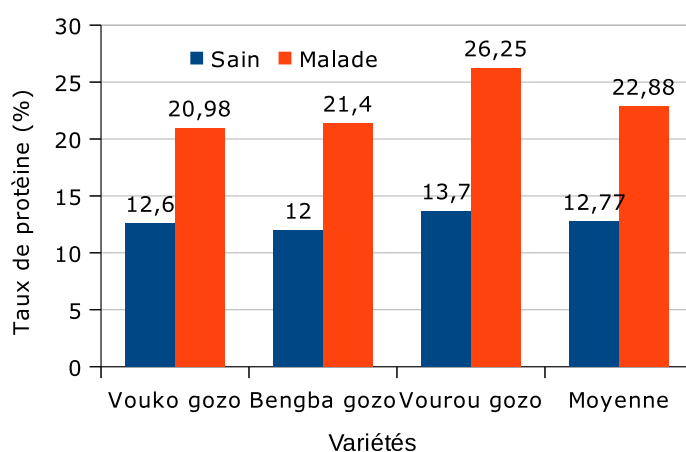
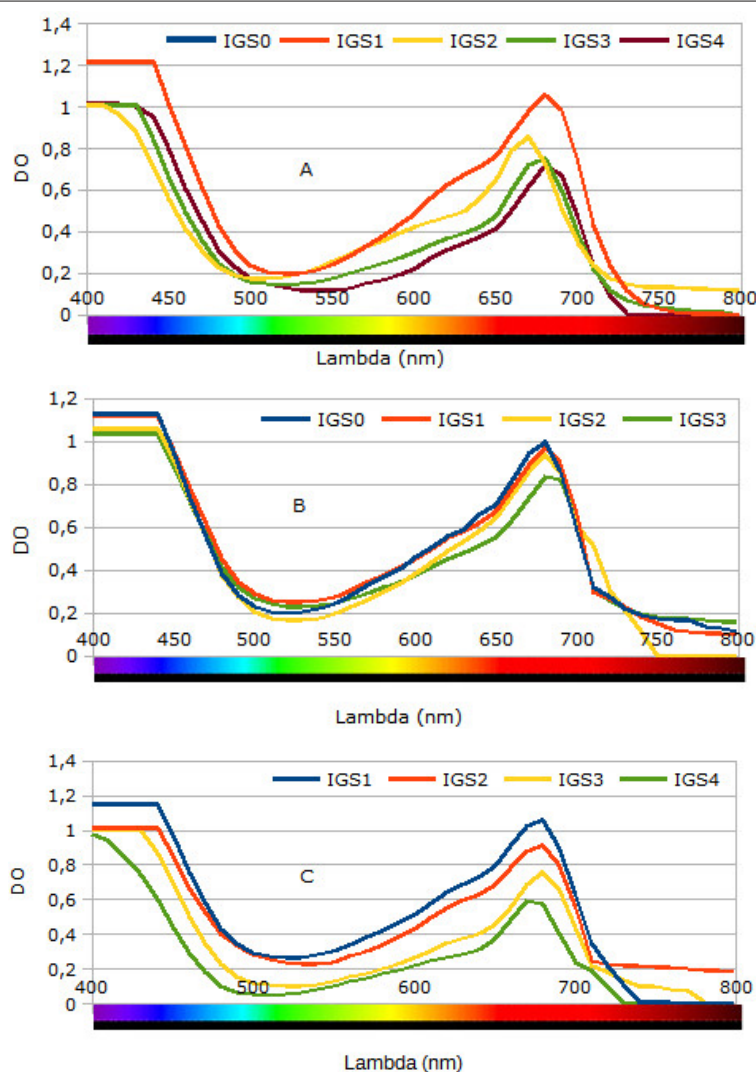


Figure 1: Teneur en protéines de la matière sèche des feuilles des trois variétés locales du manioc.



A: les courbes d'absorption des extraits des feuilles du manioc de la variété *Damara*; B: les courbes d'absorption des extraits des feuilles du manioc de la variété *DCR10* et C: les courbes d'absorption des extraits des feuilles du manioc de la variété *Bengba gozo*. DO: Densité optique. S0: pic d'absorption de la chlorophylle des extraits des feuilles à sévérité 0; S1: pic d'absorption de la chlorophylle des extraits des feuilles à sévérité 1; S2: pic d'absorption de la chlorophylle des extraits des feuilles à sévérité 2; S3: pic d'absorption de la chlorophylle des extraits des feuilles à sévérité 3 et S4: pic d'absorption de la chlorophylle à sévérité 4.

Figure 2: Spectres d'absorption de la chlorophylle des extraits des feuilles du manioc des trois variétés en fonction de la sévérité de la mosaïque.

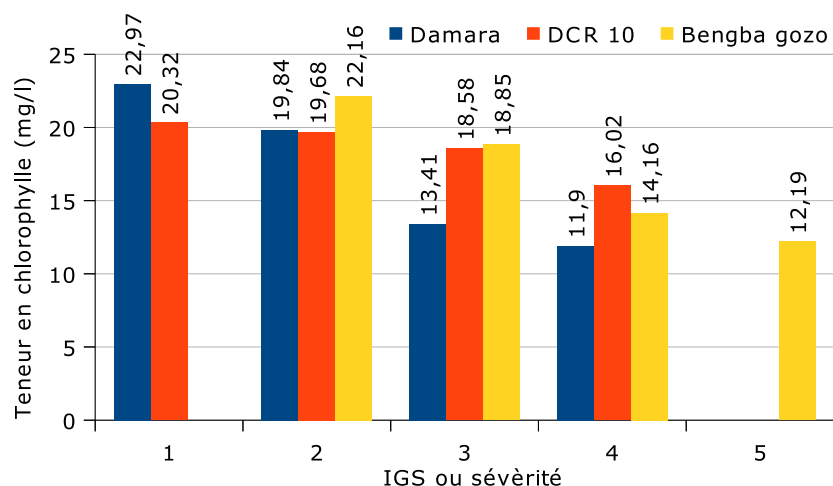


Figure 3: Teneur en chlorophylle des extraits des feuilles du manioc des trois variétés (*Damara*, *DCR10* et *Bengba gozo*) en fonction de la sévérité de la mosaïque.

En moyenne, les plants malades ont une forte teneur en protéine en poids sec que les plants sains qui sont respectivement de $22,88 \pm 2,93\%$ et $12,77 \pm 0,86\%$ (différence hautement significative, $p < 0,01$). La même tendance a été trouvée chez les plants à l'état frais. En effet, l'étude a montré que les feuilles des plants sains et malades contiennent respectivement $6,17 \pm 0,10\%$ et $9,55 \pm 1,83\%$ de leur poids frais en protéines ($p < 0,05$).

Détermination de la teneur en chlorophylle des feuilles

Les chlorophylles absorbent certaines radiations dites actives pour la photosynthèse (3, 6), dans la gamme de longueurs d'onde visibles comprises entre 400 et 700 nm. Nous avons donc mesuré les caractéristiques d'absorption de la lumière en réalisant un spectre d'absorption à l'aide d'un spectrophotomètre CCD UV visible, qui permet de mesurer l'absorbance (A) en fonction de la longueur d'onde.

L'absorption maximale se réalise dans le bleu (< 500 nm) et dans le rouge (650-700 nm). Cette étude a montré que les pics d'absorption varient en fonction de la sévérité de la maladie sur la plante. Les extraits des plants à sévérité élevée des variétés *Damara*, *BCR10* et *Bengba gozo* absorbent plus faiblement dans le rouge entre 650 et 700 nm alors que ceux à sévérité faible absorbent plus fortement dans les mêmes conditions (Figure 2A, 2B et 2C).

Les valeurs d'absorbance des extraits provenant des plants infectés à sévérité élevée est plus faible comparativement à ceux des plants à sévérité faible. Les courbes de la figure 2 montrent que plus la sévérité de la maladie est importante plus le spectre d'absorption est faible.

On remarque aussi chez les 3 variétés (*Damara*, *DCR10* et *Bengba gozo*) que la teneur en chlorophylle varie en fonction de la sévérité. Elle chute avec la sévérité de la maladie (Figure 3). C'est-à-dire plus la sévérité est importante plus la teneur en chlorophylle est faible. Pour les plants sains à sévérité 0 la teneur en chlorophylle est de 22,97 mg/l alors que chez les plants malades à sévérité 3 elle est de 11,9 mg/l chez la variété *Damara* (Figure 3).

La teneur a chuté de moitié en passant de la sévérité 0 à la sévérité 3 ($p < 0,05$). Ces résultats appuient ceux obtenus avec les pics d'absorption en figure 2A et montrent que la maladie a bien un effet sur la teneur en chlorophylle des feuilles. Les analyses réalisées sur la variété *DCR10* ont montré les mêmes tendances aussi bien pour les spectres d'absorption que pour la teneur en chlorophylle. Les pics d'adsorption chutent lorsque que l'IGS ou la sévérité augmente. La teneur en chlorophylle exprimée en mg/l d'extrait varie en fonction de la sévérité.

Les extraits des feuilles des plants sains à sévérité 0 ont une teneur en chlorophylle de 20,32 mg/l, alors que ceux des plants malades à sévérité 1, 2 et 3 ont respectivement 19,68; 18,58 et 16,02 mg/l (Figure 3B). La teneur en chlorophylle de la variété diminue lorsque l'IGS de la maladie augmente ($p < 0,05$). Une troisième variété du manioc appelée *Bengba gozo* faisant l'objet de cette étude a confirmé les mêmes tendances observées chez les variétés *Damara* et *DCR10*. Les pics d'absorption chutent lorsque la sévérité augmente. La teneur en chlorophylle des extraits des feuilles de la variété *Bengba gozo* à sévérité 1 est de 22,16 mg/l, tandis qu'elle est de 12,19 mg/l pour les extraits des feuilles à sévérité 4 ($p < 0,05$) (Figure 3). Les résultats de ces travaux montrent bien l'impact de la maladie sur la teneur en chlorophylle qui pourrait avoir une répercutions directe sur le rendement du manioc.

Discussion

D'après nos résultats, la mosaïque de manioc a effectivement un effet sur les deux paramètres qui ont fait l'objet de cette étude, la teneur en protéines des feuilles et celle des pigments chlorophylliens. En moyenne les feuilles des plants sains contiennent $12,77 \pm 0,86\%$ contre $22,88 \pm 2,93\%$ des plants malades en poids sec, différence hautement significative ($p < 0,01$).

L'analyse à l'état frais des feuilles a donné la même tendance avec une différence significative ($p < 0,01$). Cette différence observée entre les plants malades et les plants sains s'expliquerait par la présence de la particule virale dans les feuilles malades.

Comme chez les tous virus, la capsid virale des *Begomovirus* du manioc est constituée essentiellement de protéines; on suppose que ces protéines s'ajouteraient à celles d'origine végétale en augmentant la quantité de celle-ci chez les plants malades. Certaines personnes trouvent que les feuilles de manioc infectées de la mosaïque présentent un meilleur goût qui pourrait s'expliquer par la présence de la protéine virale dans les plants malades. Le taux moyen en protéine de $22,88 \pm 2,93\%$ des feuilles infectées séchées montre que c'est un aliment très riche en protéine qui pourrait jouer un rôle important dans l'équilibre alimentaire et animale. Selon certains auteurs, la teneur en protéine en poids sec varie de 14 à 35% dans les feuilles de manioc (8, 2, 13, 14). Aucune de ces études n'a montré la différence en teneur des protéines dans des feuilles malades comparativement aux feuilles saines. Cet aspect est à prendre en considération au niveau de la valorisation des feuilles de manioc dans l'alimentation humaine et animale (volailles, porcs, poisson etc.) comme le préconisent certains auteurs (7). Il est rappelé qu'en République Centrafricaine la quasi-totalité de la population se nourrit de feuille manioc. Il y a une grande prise pour les feuilles particulièrement atteintes de la mosaïque. Cela représente un contraste dans la mesure où il faut lutter contre la mosaïque pour améliorer la production en tubercule du manioc. Dans la stratégie de lutte contre la mosaïque il serait intéressant de valoriser certaines variétés de manioc résistantes à la mosaïque dont les feuilles présenteraient une bonne qualité organoleptique pour contourner le contraste. La mosaïque de manioc diminue considérablement la quantité de chlorophylle des feuilles des plants avec un impact réel sur le rendement. Nos résultats montrent que les feuilles présentant des symptômes étaient moins concentrées en chlorophylle que les plants sains. En plus, lorsque la sévérité de la maladie augmente la perte en pigments chlorophylliens devient de plus en plus importante. Les travaux d'Ayanru et Sharman (1) au Nigeria ont montré que les feuilles atteintes de la mosaïque étaient moins concentrées en chlorophylle que les feuilles saines.

L'hypothèse selon laquelle la perte de rendement en tubercules, serait probablement due à un déficit de chlorophylle est donc en partie confortée par ces résultats. Les résultats démontrent clairement que la chute de taux de chlorophylle est fonction de la sévérité. Un lien pourrait s'établir entre la sévérité, la teneur en chlorophylle et le rendement. C'est ainsi que les études faites récemment (16) attestent que la sévérité a un impact sur le rendement (4, 15). Les pertes de rendement sont évaluées de 15,93%; 29,26% et 41,50% respectivement pour les sévérités 1, 2 et 3 (16). La présente étude montre une perte croissante en taux de chlorophylle lorsque la sévérité augmente. D'une manière générale, chez les plants malades, la couleur verte des feuilles disparaît progressivement au profit des tâches jaunes, principale caractéristique des symptômes de la mosaïque africaine de manioc. Alors que la couleur verte est caractéristique de la présence de la chlorophylle chez les plantes vertes.

Conclusion

La situation phytosanitaire du manioc causée par la mosaïque de manioc est un réel problème pour lequel les paysans centrafricains en subissent des graves conséquences. Il est nécessaire de croire que la maladie a des effets énormes sur le fonctionnement physiologique des plants notamment la photosynthèse, principal processus d'élaboration et de stockage de la matière organique. Nos analyses en rapport avec les travaux réalisés en 2008 ont permis d'affirmer qu'il y a un lien entre la sévérité des symptômes, la teneur en chlorophylle et le rendement en tubercules des plants.

Ces informations serviront dans la mise en place de stratégie dans la lutte contre cette maladie virale. Il serait même souhaitable d'évaluer dans l'avenir la teneur en chlorophylle dans les cultivars à haut rendement et des cultivars à faible rendement. Cependant, l'impact de la maladie sur le développement et le rendement des plants de manioc serait lié à un déficit de chlorophylle brute des feuilles.

Aussi la déformation des feuilles provoquée par la maladie aurait des actions sur le bon fonctionnement de la photosynthèse: diffusion du gaz carbonique, la pénétration de la lumière (densité du parenchyme chlorophyllien), l'évacuation des produits formés notamment les glucides (amidon).

Dans les perspectives, nous souhaiterions que cette étude soit approfondie en utilisant des techniques

plus performantes pour évaluer la teneur en protéine et en chlorophylle. L'identification de la séquence en acides aminés des protéines dans les feuilles présentant des symptômes de la mosaïque pourrait donner des informations utiles pour mieux apprécier leur qualité nutritionnelle. Une étude des effets des feuilles malades sur la croissance et la reproduction des animaux (souris, cobayes etc.) pourrait être envisagée.

Références bibliographiques

1. Ayanru D.K. & Sharma V.C., 1982, Effects of cassava mosaic disease on certain leaf parameters of field-grown cassava clones, *Dis. Detect. Losses*, **72**, 8, 1057-1059.
2. Bede N.O., 1980, Nutritional Implication of Projects Giving High Priority to the Production of staples of Low Nutritive Quality: The case for cassava, *Food Nutrit. Bull.*, **2**, 1-10.
3. Binet P. & Brunel J.P., 1968, *Physiologie Végétale: Photosynthèse*, Edition DOIN. 793
4. Crawley M., 1999, *Un regain d'espoir pour la production du manioc en Ouganda*. Le CRDI, Explore, la voix de la recherche du sud.
5. FAOSTAT., 2013, *FAO database*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Italy. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
6. Heller R., Esnault R. & Lance C., 1993, *Physiologie végétale*, 5ième édition. masson, paris. 294
7. Howeler R.H., Oates C.G. & Allem A.C., 2000, *An Assessment of the impact of Cassava Production and Processing on the Environment and Biodiversity*. The Global Cassava Development Strategy Validation Forum, April 26-28, 2000, FAO-Rome, Italy.
8. Lambrechts A. & Bernier G., 1961, *Enquête Alimentaire et Agricole dans les populations Rurales du Haut-Katanga*. Collection mémoires, Vol **11**, 69.
9. Legg J., Ntawuruhunga P., Okuja O., Bembe A. & Obambi M., 2002, *Rapport diagnostique d'enquête sur les maladies et les pestes de la culture du manioc en République du Congo*, 34.
10. Mallouhi N. & Kafara J.M., 2002, *la culture du manioc en Centrafrique*. CTP/ICRA. 16.
11. Oyo R., 1990, *Le manioc en Afrique tropicale*. Un manuel de référence. Ibadan, Nigeria, IITA. 190.
12. Semballa S., Rasoanantoandro-Gothard M.C. & Boel T., 2000, *le manioc : transformation, préparations et conservations des dérivés culinaires*. rapport de recherche. Faculté des sciences/université de Bangui.
13. Sylvestre P., 1987, *Le manioc. Le technicien d'agriculture tropicale*. CTA. P119
14. Silvestre P. & Arraudeau M., 1983, *Le manioc. Techniques Agricoles et Production tropicales*. CTA, 237.
15. Thresh J.M., Otim -nape G.W., Legg J.P. & Fagette D., 1997, African cassava mosaic virus disease: the magnitude of the problem, *Afr. J. Root Tuber Crops*, 1319.
16. Zinga I., Nguimalet C.R., Lakouetene D.P., Konate G., Kosh Komba E. & Semballa S., 2008, les effets de la mosaïque africaine de manioc en république centrafricaine, *geo-eco-trop*, 2008, **32**, 47-60.
17. Zinga I., Harimalala M., De Bruyn A., Hoareau M., Semballa S., Reynaud B. & Lefeuvre P. J.M. L., 2012, East African cassava mosaic virus-Uganda (EACMV-UG) and African cassava mosaic virus (ACMV) reported for the first time in Central African Republic and Chad, *New Dis. Rep.*, **26**, 2044-0588.
18. Zinga I., Chiroleu F., Legg J., Lefeuvre P., Kosh Komba E., Semballa S., Yandia P.S., Mandakombo N.B. & Reynaud B. L.J.M., 2013, Epidemiology assesement of cassava mosaic disease in Central African Republic reveals the importance of mixed viral infection and poor health of plant cutting, *Crop Prot.*, **4**, 6-12.

I. Zinga, Centrafricain, PhD, Enseignant Chercheur, Université de Bangui, Rép. Centrafricaine.

E. Kosh Komba, Centrafricain, PhD, Enseignant Chercheur, Université de Bangui, Rép. Centrafricaine.

S. Semballa, Centrafricain, PhD, Directeur de LASBAD, Enseignant Chercheur, Université de Bangui, Rép. Centrafricaine.

C. Beaumont, Français, PhD, Professeur Scientifique, Lycée Charles De Gaul de Bangui, Rép. Centrafricaine.

R.D. Longue, Centrafricain, Doctorant, Université de Bangui, Rép. Centrafricaine.

Rôle et place de la chèvre dans les ménages du Sahel burkinabé

B.I. Gnanda^{1*}, A. Wereme N'Diaye¹, H.O. Sanon¹, J. Somda² & J.A. Nianogo³

Keywords: Burkinabe Sahelian goat- Monetary income- Poverty- Food safety- Burkina Faso

Résumé

Une enquête formelle à passage unique a été réalisée auprès de 150 ménages du Sahel burkinabé afin d'apprécier le rôle et la place de l'élevage de la chèvre dans la vie et le fonctionnement de ces unités familiales. Les résultats de l'enquête montrent que les éleveurs du Sahel burkinabé commencent, dans la plupart des cas, par posséder d'abord une chèvre, animal très prolifique, mais avec un objectif à plus ou moins brève échéance d'acquérir les autres espèces de ruminants, notamment les bovins. Bien qu'en matière de génération de revenu monétaire, la contribution des caprins reste moindre par rapport à celle des autres ruminants (bovins, ovins), leur rôle non monétaire de premier rang dans la lutte contre la pauvreté est mis en exergue. Cela est démontré à travers la forte proportion de la population impliquée (91% de la population-cible) dans leur élevage, la place de premier ordre des caprins dans les prélèvements non commerciaux, qualifiés de sociaux, et leur positionnement en termes de capital animal de prévention de risque contre les aléas du climat pour les éleveurs. Malgré son rôle primordial, la chèvre demeure le parent pauvre des espèces de ruminants en matière de protection sanitaire et de complémentation alimentaire.

Summary

Role and Position of the Goat in Households of the Burkinabian Sahel

A formal household survey was carried out in Burkina Faso with 150 Sahelian farms in order to appreciate the role and the position of goat breeding in the life and the functioning of these family units. The results of the investigation show that the Burkinabe Sahelian stockbreeders first start usually by raising a goat, because of its high prolificacy, but with the view to acquire more or less rapidly other species of ruminants, in particular cattle. Although the generation of income of goat rearing remains low compared to other ruminants (bovine, ovine); their non-monetary role in poverty alleviation is highlighted. That is shown through the large proportion of the population (91% of the target-group) implied in goat breeding, the first position of goats in the non-commercial (social) transaction, and their position in terms of risk prevention against the climatic hazards for livestock farmers. Despite its critical role, the goat remains the least favored ruminant species in regarding health protection and food supplementation.

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso.

²Union Internationale pour la Conservation de la Nature, Ouagadougou, Burkina Faso.

³Institut du Développement Rural de l'Université Polytechnique de Bobo, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

*Auteur correspondant: Email: gnandaisid@yahoo.fr

Introduction

Malgré les avantages reconnus à la chèvre pour les pays sahéliens tels que le Burkina Faso, son élevage fait partie des secteurs qui reçoivent le moins d'attention tant par les structures de développement que par la recherche. Les multiples reproches (détérioration de l'environnement, comportement capricieux, animal d'élevage de marginalité, etc.) qui lui sont imputés dans la littérature (1, 3, 4, 5, 17) sont très peu éprouvés scientifiquement. Pourtant, en zone sahélienne du Burkina Faso, la chèvre est élevée par une population importante de diverses couches socio-économiques (Peul, Rimaïbé, Bellah, Mossi, Gourmantché, Fulcé, Songhaï, etc.). Il apparaît donc important d'évaluer formellement le rôle et la place de ce type de petit élevage dans l'amélioration des revenus des populations de cette zone aride du pays et des sources de leurs moyens d'existence. En particulier, l'évaluation de la contribution de cette espèce dans l'atténuation des risques vis-à-vis des chocs extérieurs aux ménages ruraux et de ses relations avec les autres espèces animales dans la constitution de capital et la génération de revenu de l'élevage permettra de mieux cerner les opportunités et les limites de son élevage en milieu rural sahélien. Il a été question dans cette étude, d'analyser les interrelations entre l'élevage de la chèvre et les caractéristiques socio-économiques des ménages sahéliens impliqués dans l'activité. De manière spécifique, il s'est agi: (i) d'évaluer l'importance de ce type d'élevage au sein des communautés villageoises afin de mesurer la place dans les options de productions animales; et (ii) d'évaluer la contribution de la l'espèce dans les revenus des ménages ruraux sahéliens en vue d'en apprécier son rôle économique.

Matériau et méthode

Site d'étude et unités d'élevage enquêtées

L'enquête a été réalisée au Sahel burkinabè, une des régions du Burkina Faso, comprise entre le 13^{ème} et le 15^{ème} degré de latitude Nord, faisant frontière au nord avec la République du Mali et au Nord-Est avec la République du Niger. Cette zone couvre une superficie de 36.166 km² et regroupe

les provinces du Séno, de l'Oudalan, du Soum et du Yagha (Figure 1) qui composent ensemble la Région administrative du Sahel burkinabé dont la ville de Dori est le chef lieu. Le climat de cette région est de type sahélien à soudano-sahélien (plus au Sud, dans le Yagha) et la pluviométrie annuelle fluctue entre les isohyètes 300 et 600 mm, sur environ 3 mois de saison pluvieuse.

L'élevage constitue l'activité économique de base des populations de la zone et les espèces animales de ruminants les plus couramment élevées sont les bovins de type Zébu peul, les mouton sahéliens et les chèvres sahéliennes (18).

Deux villages de la région ont été sélectionnés pour mener l'enquête: celui de Lelly et celui de Katchari. Le choix de ces deux villages a permis de prendre en partie en compte la diversité des principaux groupes ethniques présents au Sahel burkinabé, car les différents groupes ethniques de la région n'ont pas toute à fait la même tradition et ne possèdent pas le même savoir faire dans l'élevage et dans l'adaptation socio-économique au changement climatique. Par ce choix, cinq des sept principaux groupes ethniques de la région ont été touchés, à savoir les Peul, les Rimaïbé, les Bellah, les Mossi et les Gourmantché.

Dans le site de Lelly, l'enquête a touché les Mossi et les Gourmantchés. Les Peul, les Rimaïbé et les Bellah ont été enquêtés dans le village de Katchari. Les enquêtes ont été réalisées auprès des unités familiales correspondant à des groupes de personnes vivant sous l'autorité d'un chef et qui produisent et consomment ensemble. Le chef d'unité familiale ou chef de ménage, gère les ressources communes de production et les biens de consommation. Cela n'empêche nullement les membres actifs de ce groupe d'avoir, en plus des tâches communes, des activités personnelles rémunératrices et une autonomie pour l'utilisation de ces revenus individuels.

Conduite de l'enquête

Une fiche d'enquête formelle à passage unique a été administrée au cours de l'année 2008 par deux techniciens de l'Institut de l'environnement et de recherches agricoles (INERA) du Burkina Faso.

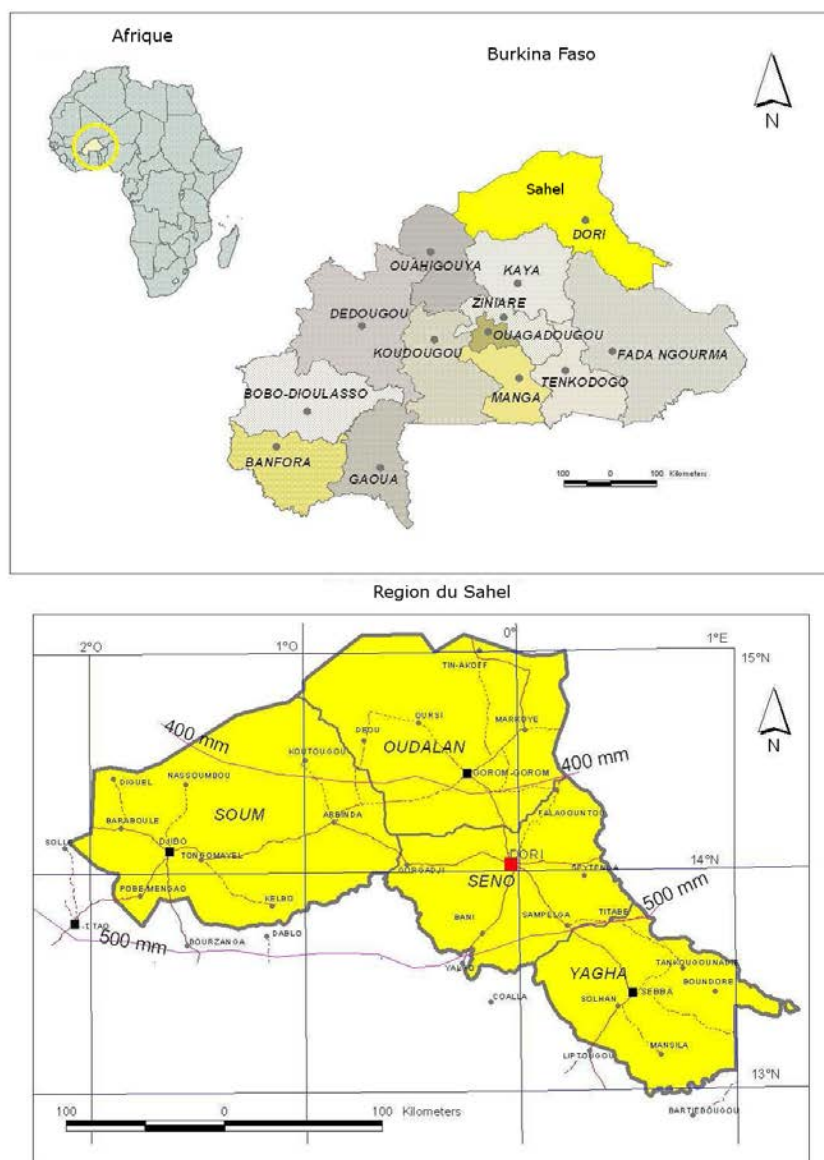


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude.

Au sein de chacun des cinq groupes ethniques (Peul, Rimaïbé, Bellah, Mossi et Gourmantché), 30 chefs d'unité familiale ont été enquêtés, soit un échantillon de 150 ménages au total (149 chefs de ménages hommes et 1 chef de ménage femme). Le choix des personnes enquêtées a été réalisé sur la base de leur disponibilité à être interrogées, après les avoir préalablement expliqué les objectifs du travail. Chez certaines personnes, l'enquête a été réalisée immédiatement après la présentation des objectifs du travail. Chez d'autres, les entretiens ont été réalisés sur rendez-vous convenus à l'issue de la séance de présentation des objectifs du travail.

Données collectées

Les données collectées ont porté sur:

- Les caractéristiques socio-économiques de l'enquêté (chef de ménage) comprenant:
 - .son âge,
 - .son groupe ethnique,
 - .ses activités socio-économiques,
 - .la population de son unité familiale,
 - .son cheptel,
 - .sa stratégie de constitution de cheptel.

- Les données sur les stratégies de production animale prenant en compte:

- .le mode de conduite des animaux,
- .les pratiques sanitaires,
- .la complémentation.

- Les objectifs de production dans l'élevage de ruminants;
- Les données sur les revenus et leurs sources;
- Les principaux usages des recettes générées par la vente de produits d'animaux.

Traitement et analyses statistiques des données

Plusieurs méthodes d'analyse ont été combinées en vue d'apporter des éléments de réponse à ces questions :

Analyses descriptives

Des statistiques descriptives ont été largement utilisées pour analyser la place de l'élevage caprin dans les élevages sahéliens. Ces statistiques comprennent les moyennes arithmétiques, les écart-types et les fréquences.

Des synthèses sous forme de tableaux ou de graphiques ont permis de mettre en exergue la place de la chèvre dans les élevages enquêtés.

Les régressions linéaires

Deux modèles de régression linéaire ont été développés pour évaluer le rôle économique de la chèvre dans les élevages sahéliens. Le premier a consisté à analyser les déterminants sociaux et structurels de l'élevage caprin. Il s'est agi d'identifier les facteurs sociaux et structurels des ménages qui influent sur l'accumulation du cheptel caprin. Dans le système sahélien, les éléments sociaux tels que l'âge de l'éleveur, son appartenance ethnique et la taille du ménage, sont déterminants dans la conduite de l'élevage. L'âge conditionne l'indépendance de l'éleveur par rapport à la décision à prendre pour la sortie d'un animal ainsi que son degré d'ouverture aux innovations extérieures. Les ethnies telles que les Peul sont considérées comme des éleveurs par tradition (2) alors que par exemple, les Mossi sont d'obédience agropasteurs. La taille du ménage reflète non seulement la disponibilité en main-d'œuvre familiale pour la conduite de l'élevage, mais également l'échelle des besoins familiaux à couvrir.

Les variables structurelles retenues sont les données de la base animale des éleveurs: bovins, ovins, caprins, poules et pintades (équation I).

$$cap = cste + a_1 Age + a_2 Pop + a_3 Bov + a_4 OV + a_5 Poul + a_6 Pint + a_7 Eth + \varepsilon \quad I$$

L'équation 1 signifie que l'effectif de caprin (*cap*) dans un ménage est une fonction linéaire de l'âge du chef d'unité familiale (*Age*), de la taille du ménage (*Pop*), des effectifs de bovin (*Bov*), ovin (*OV*), poules (*Poul*) et pintades (*Pint*); et du groupe d'appartenance ethnique du ménage (*Eth*). La variable (*Eth*) est une variable binaire qui est codée 1 pour l'ethnie Peul et 0 sinon. Les coefficients a_1 à a_6 sont les paramètres à estimer et mesurent la contribution marginale de chaque variable caractéristique du ménage dans son cheptel caprin. En revanche, le coefficient a_7 mesure la contribution de l'appartenance ethnique dans l'effectif du caprin du ménage.

Pour l'ensemble de ces variables indépendantes, il est attendu une relation positive avec l'effectif de caprins. En d'autres termes, un accroissement de la structure du ménage dans ses dotations en ressources socio-économiques va entraîner une augmentation du cheptel caprin dans le ménage, *ceteris paribus*. Cette équation a été estimée par la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO).

Le second modèle cherche à évaluer les déterminants sociaux structurels du revenu tiré de l'élevage et du revenu monétaire total du producteur. Formellement, le modèle se présente par l'équation II:

$$Revel = cste + a_1 Age + a_2 Pop + a_3 Bov + a_4 OV + a_5 Poul + a_6 Pint + a_7 Eth + a_8 Cap + \varepsilon \quad II$$

L'équation II signifie que le revenu tiré de l'élevage (*Revel*) est une fonction linéaire des ressources animales disponibles (*Bov*, *OV*, *Poul*, *Pint*, *Cap*) dans le ménage, de la taille du ménage (*Pop*) qui est un proxy de la main-d'œuvre familiale et des caractéristiques socio-ethniques (*Age*, *Eth*) du chef de ménage. Le revenu d'élevage comprend tous les revenus monétaires issus de la vente des animaux et des produits d'origine animale (lait, cuir, etc.). Une équation similaire a évalué les déterminants du revenu total du ménage en remplaçant le revenu

tiré de l'élevage par le revenu total du ménage qui inclut les revenus de l'élevage et ceux issus des transferts d'argent reçus et de la rémunération d'autres activités (agricoles, commerciales, etc.).

La classification en nuée dynamique

Cette technique de classification a pour but de fournir une partition en k classes (k donné *a priori*) bien agrégées et bien séparées entre elles en fonction des variables d'intérêt. Dans cette étude, les variables d'intérêt retenues ont été les éléments de la base animale des producteurs, c'est-à-dire, les effectifs du cheptel bovin, ovin, caprin, poule et pintade. Il s'agit donc d'une typologie établie sur la base des ressources animales élevées par les ménages de la zone d'étude.

De façon formelle, la formule utilisée dans la classification en nuée dynamique est donnée dans l'équation III (11).

$$\sum_{k=1}^k \sum_{(I \in S_k)} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{kj})^2 \quad \text{III}$$

Où S_k est le nombre de producteurs dans la $k^{\text{ième}}$ classe et x_{kj} la moyenne de la variable j dans la classe k .

La procédure d'analyse en nuée dynamique consiste à partir d'un ensemble d'observations (ou de producteurs), à faire un choix de k qui permet de les regrouper en classes de manière à minimiser les variations intra-classes et à maximiser les différences interclasses. Plusieurs k ont été testés au cours de l'analyse en vue de déterminer le nombre de classes de ressources animales stable dans la population les producteurs.

En définitive, trois classes ont été retenues au-delà et en dessous desquelles la classification devenait moins probante, tendant vers une individualisation des producteurs.

Les statistiques descriptives, les tests T, les régressions linéaires et la classification en nuées dynamiques ont été réalisées sur le logiciel SPSS version 11. Par ailleurs, une analyse factorielle (Analyse factorielle des correspondances simples: AFC) utilisant le logiciel libre R, a permis d'apprécier

non seulement les relations entre les différentes espèces animales des ménages enquêtés, mais également celles entre les groupes ethniques enquêtés et l'activité d'élevage.

Résultats

L'âge moyen des 149 éleveurs hommes enquêtés était de 47 ± 12 ans. La seule femme chef de ménage enquêtée était âgée de 55 ans. La majorité des enquêtés (140 d'entre eux) ont estimé que l'agriculture représentait leur première activité de production. Neuf d'entre eux (6 Peul, 2 Bellah et 1 Rimaïbé) pratiquent l'élevage en tant que première activité de production. L'unique femme de l'enquête exerce le petit commerce de divers objets manufacturés comme principale activité de production.

La taille moyenne des unités familiales était de $9,8 \pm 6,5$ personnes; avec en moyenne 6,7; 13,7; 10,3; 9,5 et 7,9 personnes pour respectivement les ménages Peul, Mossi, Bellah, Gourmantché et Rimaïbé.

La taille du ménage de la seule femme de l'enquête était de 3 personnes.

La répartition ethnique des effectifs du cheptel est donnée par le tableau 1. Les caprins sont les animaux les plus nombreux dans les ménages, ceci indépendamment de l'ethnie.

La classification en nuée dynamique a permis d'établir trois groupes ou types d'éleveurs significativement distincts de par leurs dotations en ressources animales (Tableau 2).

Le groupe le moins nanti en ressources animales (groupe de petits troupeaux) rassemble 72% des individus enquêtés. Le groupe le plus doté en bétail ne comprend que 7 personnes (environ 5% des éleveurs interviewés). Les Peuls représentent la majorité des individus de ce dernier type: 4 Peuls contre 2 Gourmantché et 1 Bellah. Dans l'ensemble, toutes les espèces animales étudiées ont constitué des variables discriminantes des groupes ethniques enquêtés.

Tableau 1

Répartition ethnique des effectifs de cheptel des éleveurs enquêtés.

Ethnies	Statistiques	Caprins	Bovins	Ovins	Poules	Pintades
Peulh	Moyenne	32,63 ^a	13,63 ^a	10,60 ^{ab}	7,77 ^a	2,43 ^a
	Ecart type	(47,03)	(17,75)	(14,27)	(9,61)	(4,94)
	Erreur standard	8,59	3,24	2,6	1,75	0,9
Mossi	Moyenne	18,00 ^{bc}	9,91 ^{ab}	14,31 ^b	5,34 ^a	1,94 ^a
	Ecart type	(13,74)	(12,87)	(11,94)	(5,67)	(3,85)
	Erreur standard	2,32	1,37	2,02	0,96	0,65
Bella	Moyenne	17,97 ^{bc}	5,23 ^b	12,50 ^{ab}	7,17 ^a	3,07 ^a
	Ecart type	(17,28)	(7,61)	(16,99)	(10,43)	(4,18)
	Erreur standard	3,15	1,39	3,1	1,91	0,76
Gourmantché	Moyenne	27,38 ^{ab}	11,08 ^{ab}	11,38 ^{ab}	12,96 ^b	7,54 ^b
	Ecart type	(29,35)	(8,77)	(10,99)	(11,01)	(10,65)
	Erreur standard	5,76	1,72	2,16	2,16	2,09
Rimaïbé	Moyenne	10,04 ^c	6,32 ^b	5,82 ^a	6,67 ^a	1,46 ^a
	Ecart type	(10,54)	(10,39)	(7,92)	(7,24)	(3,69)
	Erreur standard	1,99	1,96	1,49	1,37	0,69
Toutes	Moyenne	21,08	9,25	11,09	7,78	3,15
	Ecart type	(27,61)	(11,41)	(13,01)	(9,13)	(6,14)
	Erreur standard	2,26	0,94	1,07	0,75	0,5

NB: Par espèce animale, les effectifs moyens des groupes ethniques portant des lettres différentes diffèrent entre eux au seuil de 5 %.

Tableau 2

Caractéristiques générales des groupes constitués en fonction de leurs dotations en ressources animales.

Groupes	Nombre	Statistiques	Caprins	Bovins	Ovins	Poules	Pintades
Petits troupeaux (type1)	108	Moyenne	9,28 ^b	5,59 ^b	6,40 ^b	5,23 ^b	1,32 ^b
		Ecart type	-6,42	-8,6	-6,26	-5,86	-3,17
		Erreur standard	0,62	0,83	0,6	0,57	0,31
Troupeaux moyens (type 2)	35	Moyenne	36,97 ^a	17,40 ^a	19,89 ^a	13,89 ^a	8,17 ^a
		Ecart type	-13,56	(11,62)	-12,09	-12,02	-9,39
		Erreur standard	2,29	1,96	2,04	2,03	1,59
Gros troupeaux (type 3)	7	Moyenne	122,00 ^c	24,43 ^a	38,86 ^c	16,14 ^a	6,14 ^a
		Ecart type	-34,58	-15,69	-30,21	-14,63	-5,79
		Erreur standard	13,07	5,93	11,42	5,53	2,19
Tous groupes Confondus	150	Moyenne	21,08	9,25	11,09	7,78	3,15
		Ecart type	-27,61	-11,41	-13,01	-9,13	-6,14
		Erreur standard	2,26	0,94	1,0659	0,75	0,5

NB: Les valeurs moyennes figurant sur la même colonne et portant des lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5 %.

L'élevage des caprins est hautement associé à celui des ovins ($R^2=0,60$) et moins associé à celui des bovins ($R^2=0,46$). Par contre, les éleveurs qui ont plus d'ovins sont en même temps ceux qui possèdent des effectifs de bovins relativement plus intéressants ($R^2=0,50$).

L'élevage de la poule et celui de la pintade restent étroitement associés dans la région d'étude (Figure 1) ($R^2=0,52$).

Les résultats dans son ensemble montrent que les Gourmantchés et les Rimaïbé accordent une place relativement plus importante à l'élevage de la volaille, comparativement aux autres groupes ethniques. Les Bellah pratiquent un élevage marqué par une prédominance du cheptel caprin et les Mossi semblent privilégier la conduite de l'élevage ovin. Les Peul quant à eux, exercent un élevage à tendance équilibré avec une présence relativement intéressante de cheptel bovin. Les Rimaïbé ne présentent pas des tendances particulières dans la pratique de leur élevage.

Conduite alimentaire et pratiques sanitaires des éleveurs

L'alimentation des animaux est essentiellement basée sur l'exploitation des parcours naturels. Cependant, une bonne partie des éleveurs (plus de 53%) pratique la complémentation à leurs animaux, toutes espèces confondues. Cependant, la distinction par espèce montre que cette pratique reste peu fréquente chez les caprins comparés aux autres ruminants: environ 39% des caprins bénéficient de la complémentation contre 59 et 62% pour respectivement les ovins et les bovins.

Le groupe ethnique Mossi reste celui qui a le plus intégré pratique de la complémentation des animaux comparativement aux autres groupes. En effet, environ 83 % des ménages de ce groupe complémentent leurs bovins, 93% complémentent leurs ovins et 77% complémentent leurs chèvres. Après le groupe Mossi, c'est le groupe Rimaïbé qui vient en deuxième position, car les 63% des enquêtés de ce groupe complémentent leurs bovins, 67% complémentent leurs ovins et 60% complémentent leurs caprins. Les Bellah viennent en troisième position avec un niveau moyen de pratique de complémentation de l'ordre de 57%

pour les trois espèces animales confondues. Les Peul prennent légèrement plus de soins à leurs bovins et ovins qu'à leurs caprins, avec en moyenne, un niveau de pratique de complémentation de 57% pour les deux espèces confondues contre en moyenne 47% pour l'espèce caprine. Les Gourmantché ont une pratique moyenne de complémentation, car seulement 50% des enquêtés de ce groupe ethnique apportent des compléments alimentaires aux bovins, ovins et caprins.

Les aliments les plus fréquemment utilisés pour la complémentation sont par ordre de fréquence de recours: les pailles de céréales (mil et sorgho), les fanes de légumineuses (niébé et arachide), le son local de mil, le tourteau de coton, les graines de coton, les compléments minéraux, le foin naturel. Dans 90% des cas, les caprins ne sont pas vaccinés lors des campagnes nationales annuelles de vaccination et qui portent essentiellement sur les maladies obligatoires telles que le charbon symptomatique et la peste des petits ruminants et les maladies recommandées telles que la pasteurellose. Chez les ovins et les bovins, les sujets qui ne font pas l'objet de vaccination annuelle représentent respectivement 73% et 13% des effectifs des troupeaux. Les maladies obligatoires et les maladies recommandées chez les ovins sont les mêmes que celles en vigueur chez les chèvres, alors que chez les bovins, elles portent sur la péripneumonie contagieuse bovine (PPCB) et le charbon symptomatique pour celles prescrites obligatoires et sur la pasteurellose bovine et la trypanosomose pour celles qui sont dites recommandées.

Le déparasitage des bovins est pratiqué par environ 60% des éleveurs enquêtés. Les éleveurs qui déparasitent leurs ovins représentent environ 14% des enquêtés et seulement 3% d'entre eux déparasitent leurs chèvres.

Stratégies de constitution du cheptel

A partir du nombre de têtes de cheptel possédé par les éleveurs, une pyramide de constitution de cheptel a été construite et donne pour chaque espèce, le pourcentage d'éleveurs qui la possèdent par rapport à l'échantillon global enquêté.

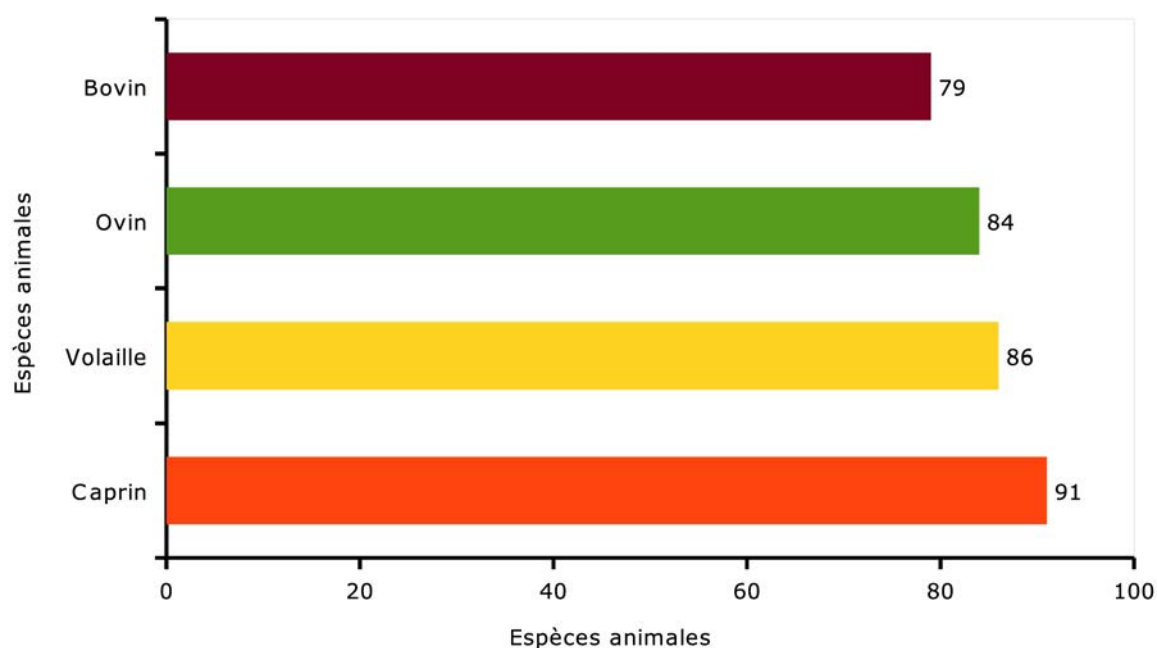


Figure 2: Pyramide de constitution de cheptel dans les élevages du Sahel burkinabé.

Cette pyramide (Figure 2) montre qu'au Sahel burkinabé, l'élevage de caprins est la base de la constitution du cheptel des éleveurs.

Autrement dit, que dans la majorité des cas, les éleveurs du Sahel burkinabé commencent d'abord par posséder une chèvre, animal très prolifique qui participe à moyen et à lointain terme à la constitution des troupeaux des autres espèces de ruminants, notamment les bovins.

Objectifs de production dans d'élevage des ruminants au Sahel burkinabé

L'élevage naisseur de reproduction semble être la première visée des activités pastorales au Sahel burkinabé (Figure 3). Le lait constitue le deuxième objectif recherché par les éleveurs de la région. La production de fumier et celle de la viande occupent respectivement le troisième et quatrième rang (Figure 3). Dans cette production, les caprins occupent la première place en terme d'animaux élevés pour la reproduction et la production de fumier de qualité. Ils sont également élevés pour la production de lait (Figure 4). Leur lait est surtout exploité pour l'autoconsommation chez les groupes ethniques Rimaïbé, Bellah et Gourmantché et est surtout destiné à l'alimentation des enfants et des personnes affaiblies. Il est très peu vendu, notamment à l'état frais.

Les rares cas de vente de ce produit se rencontrent sous forme de mélange avec le lait de vache. La production de viande caprine est orientée vers l'autoconsommation et vers la vente. C'est généralement la viande la plus vendue sur les marchés locaux pour la consommation des ménages car plus accessible sur le plan des prix. Le fumier peut faire l'objet de donation ou de contrat de parage entre les acteurs. Il est rarement vendu dans la zone d'enquête.

Les ovins participent surtout à l'atteinte des objectifs de production de viande (figure 4), à travers notamment l'activité d'embouche. L'élevage de bovin vise prioritairement à l'objectif de production de lait avec cependant, une contribution importante à l'atteinte des autres productions animales attendues.

Revenu des éleveurs sahéliens et déterminants structurels

Le revenu des éleveurs du Sahel burkinabé provient de la vente des produits animaux, de celle de l'agriculture, des transferts extérieurs de l'argent ainsi que des sources connexes telles que le travail de courtier, la main-d'œuvre occasionnelle, le petit commerce, etc. (Tableau 3).

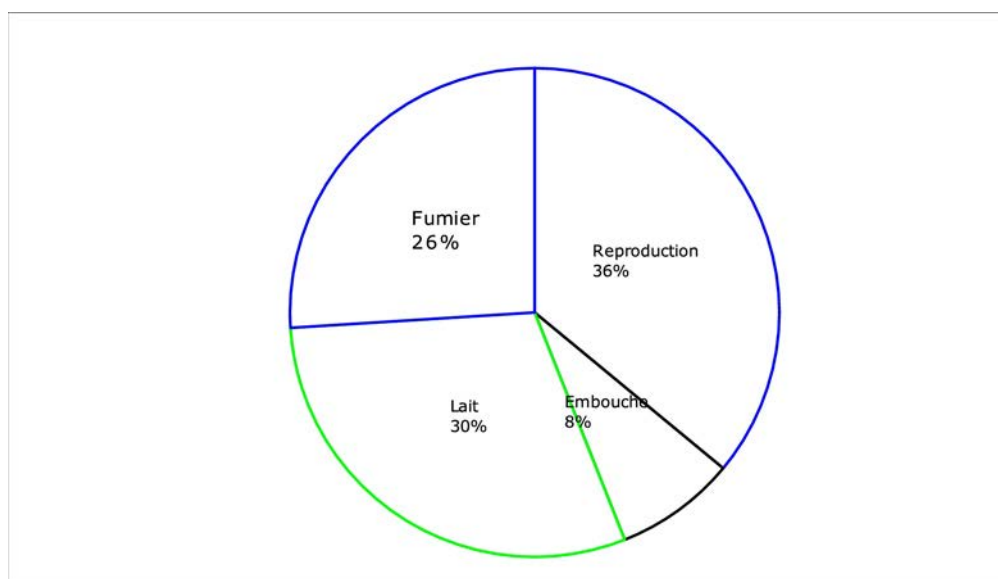


Figure 3: Importance relative des principaux objectifs d'élevage de ruminants au Sahel burkinabé.

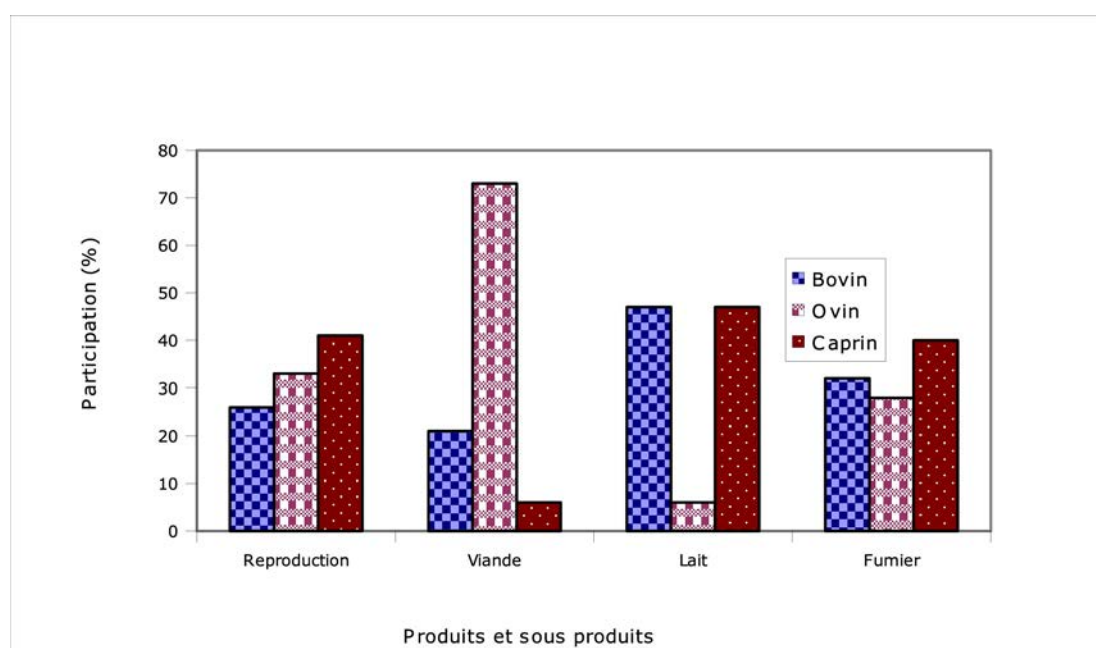


Figure 4: Représentation de la participation des bovins, ovins et caprins à l'atteinte des principaux.

Tableau 3

Structure moyenne du revenu monétaire de l'échantillon enquêtée (F CFA/an).

Groupes ethniques	Statistiques	Production animale	Production végétale	Transferts extérieur	Autres activités	Total par groupe Ethnique
Peul	Moyenne	257 343 ^{ab}	2 600 ^a	2 667 ^a	1 417 ^a	264 027 ^a
	Ecart-type	-257364	13328	-10483	-4437	-265868
	Erreur standard	46988	2433	1914	810	48541
Mossi	Moyenne	317 684 ^b	29 286 ^b	11 143 ^b	16 928 ^b	375 041 ^a
	Ecart-type	-251661	48321	-43725	-45253	-271319
	Erreur standard	42538	8168	7391	7649	45861
Bellah	Moyenne	290 545 ^{ab}	00 ^c	11 750 ^b	39 667 ^c	341 962 ^a
	Ecart-type	-320249	0	-26303	-81361	-313989
	Erreur standard	58469	0	4802	14854	57326
Gourmantché	Moyenne	347 431 ^b	14 202 ^b	7 308 ^{ab}	6 269 ^a	375 209 ^a
	Ecart-type	(295 50)	35450	-22549	-15273	-307829
	Erreur standard	57953	6952	4422	2995	60370
Rimaïbé	Moyenne	203 052 ^a	13 190 ^b	33 931 ^c	8 724 ^a	258 896 ^a
	Ecart-type	-219017	34408	-55478	-34321	-234718
	Erreur standard	40670	6389	10302	6373	43586
Tous les groupes ethniques	Moyenne générale	283 182 ⁱ	12 327 ^j	13 399 ^j	15 142 ^j	323294
	Ecart-type	-271256	-33429	-37115	-47205	-282016
	Erreur standard	22222	2739	3041	3880	23182

NB. Par source de revenu, les moyennes entre les groupes ethniques (moyennes des colonnes) portant des lettres différentes (a, b, c) sont significativement différentes entre elles au seuil de 5 % selon le Test-t.

Les moyennes générales des sources de revenu pour tous les groupes ethniques confondus (moyennes en ligne) portant des lettres différentes (i, j) sont significativement différentes entre elles au seuil de 5 % selon le Test-t.

Tableau 4

Déterminants structurels du revenu d'élevage et du revenu total des ménages enquêtés.

Variables indépendantes	Revenu d'élevage (x1000 F CFA)		Revenu total (x1000 F CFA)	
	Coefficients	T Student	Coefficients	T Student
Constante	-33,608	-0,483	11,209	0,156
Taille du ménage (personnes)	1,709	0,618	1,869	0,655
Age du répondant (ans)	2,638	1,896*	2,64	1,838*
Ethnie (Peulh = 1 ; sinon 0)	-61,562	-1,389	-101,838	-2,226**
Cheptel caprin (têtes)	0,116	0,146	-0,217	-0,265
Cheptel bovin (têtes)	9,006	5,211***	9,726	5,453***
Cheptel ovin (têtes)	3,217	1,888*	3,72	2,116**
Cheptel poule (têtes)	4,29	2,020**	3,65	1,665*
Cheptel pintade (têtes)	9,808	3,005***	10,489	3,113***
R ² ajusté	0,472		0,476	
Fisher (F)	17,523***		17,83***	

*, **, ***, significatif au seuil de 10%, 5% et 1% respectivement.

L'activité d'élevage procure la plus grosse part du revenu annuel des acteurs (environ 87% du revenu engendré).

Les transferts extérieurs participent pour environ 4,1% et les productions végétales 3,8 %. Les individus du groupe ethnique Peul sont ceux qui génèrent moins de revenus en provenance du transfert extérieur (Tableau 3). Comparativement aux autres groupes ethniques, les Bellah tirent plus de revenu lié aux activités connexes telles que le travail de courtier, le convoyage à pied des animaux, la vente de fourrage, le petit commerce de produits artisanaux, etc.

Le revenu moyen annuel tiré des activités d'élevage par ménage enquêtés se répartissent comme suit: 134 990 F CFA pour la vente des bovins, 76 600 F CFA pour la vente des ovins, 57 325 F CFA pour la vente des caprins, 1 567 F CFA pour la vente des camelins, 467 F CFA pour la vente d'asins, 1 633 F CFA pour la vente des poules, 877 F CFA pour la vente des pintades, 4010 F CFA pour la vente de lait entier, 1 182 F CFA pour la vente de beurre de lait de vache et 200 F CFA pour la vente du cuir et de la peau.

Les résultats de la fonction de revenu (Tableau 4) ont permis la mise en exergue de la contribution marginale des variables socio-économiques et de structure d'élevage dans l'amélioration du niveau de revenu. Pour la fonction du revenu d'élevage, on note que toutes les variables ont présenté le signe positif attendu.

L'amélioration de ces variables permet donc d'accroître le revenu tiré de l'élevage. En particulier, l'augmentation du cheptel animal entraîne, de facto, une augmentation du revenu généré. Par exemple, lorsque l'effectif bovin augmente d'une tête, le revenu de l'élevage augmente de 9 points.

Le test de signification globale de la fonction estimée indique que les variables utilisées permettent d'expliquer, de façon hautement significative, le processus de génération de revenu d'élevage dans les ménages enquêtés puisque 47 % de la variance totale est ainsi expliquée. Au niveau de la fonction du revenu total qui inclut toutes les sources de revenus, y compris l'élevage, la majorité des variables ont présenté le signe positif attendu, à l'exception des variables «caprin» et «ethnie».

Ainsi, les éleveurs possédant un effectif élevé de bovin, ovin, pintades et poules, ont un revenu élevé. Par exemple, lorsque l'effectif de bovin augmente d'une tête, le revenu total augmente significativement (au seuil de 1 %) d'environ 10 points. En revanche, lorsque l'effectif de caprins augmente d'une tête, le revenu baisse mais de façon non significative (de 0,2 points). En définitive, les résultats suggèrent que les variables socio-économiques et structurelles des ménages influent différemment sur le processus de génération des revenus au sein des ménages d'éleveurs.

Exploitation du bétail et principales utilisations des recettes issues de la vente des sujets

Chez les éleveurs enquêtés, les principaux motifs de déstockage des animaux sont par ordre d'importance: la vente (44% des cas d'exploitation), les abattages lors des fêtes religieuses (18%), les abattages ordinaires (16%), les abattages lors des baptêmes (8%), les trocs (7%), les dons (4%) et les dots (2 % des cas d'exploitation). Hormis les abattages d'autoconsommation pour lesquels les poules et les pintades sont les plus utilisées, les caprins sont les plus fréquemment sollicités par les éleveurs. En effet, les résultats de l'étude ont montré que 91% des enquêtés ont eu à exploiter les caprins dans l'année contre 86% pour la volaille, 84% pour les ovins et 79% pour les bovins. En terme de taux d'exploitation commerciale apparents (nombre d'animaux vendus à tierces personne au cours des 12 mois écoulés/effectif des animaux présents pendant l'enquête x 100), les caprins se placent en deuxième position après les ovins. Ce taux a été en moyenne de 26,31% pour les caprins contre en moyenne 29,47 et 21,04% respectivement pour les ovins et les bovins. Les poules et les pintades ont présenté les plus faibles taux d'exploitation (16,25 et 15,33% respectivement).

Prioritairement, les recettes issues de la vente du bétail sont utilisées pour les achats de vivres (50 % des cas d'utilisation des recettes), les achats d'aliments pour le bétail, notamment les sous-produits agro-industriels (24%), et l'acquisition de vêtements (15%).

Les autres cas d'utilisations des recettes générées par la vente du bétail concernent, la satisfaction des besoins de santé de la famille, le paiement de la scolarité des enfants, l'achat d'autres animaux, les célébrations de mariage, le paiement de dot.

Tous les cinq groupes ethniques enquêtés ont des attitudes proches en matière d'utilisation des recettes issues de la vente du bétail pour les achats de vivres. Par contre, pour ce qui est des achats d'aliments bétail à partir de ce type de recettes, ce sont les Mossi qui sont en tête (60% des enquêtés de ce groupe en pratiquent), puis suivent les Bellah et les Peul (40% des individus de ces deux groupes affectent leurs recettes tirées de la vente de bétail à ces achats). Les Gourmantché et les Rimaïbé viennent respectivement en troisième et quatrième position avec respectivement 28 et 26% des individus enquêtés de ces deux groupes qui sont concernés par ce type d'achat.

La dotation des recettes tirées de la vente du bétail à l'acquisition des tenues vestimentaires est plus importante chez les Bellah comparativement aux autres groupes ethniques. En effet, 57% des personnes enquêtées de groupe ethnique affectent une part de leurs recettes de déstockage du cheptel à ce type de dépense. Après les Bellah, les Gourmantché se classent en deuxième position avec 54% de leurs membres réalisant ce type de dépense. Les Peul, les Rimaïbé et les Mossi occupent respectivement le 3, 4 et 5^{ème} rang, avec respectivement de 47, 45 et 20% des individus enquêtés qui sont intéressés par ces dépenses vestimentaires.

Pour la prise en charge des dépenses relatives aux soins familiaux et à la scolarité des enfants, ce sont notamment les Mossi qui y accordent plus d'intérêt puisque 75% des individus enquêtés de groupe ethnique dotent une part de leurs recettes tirées du déstockage du cheptel à la satisfaction de ces deux postes.

L'utilisation des recettes procurées de la vente du bétail pour la reconstitution des troupeaux est plus importante chez les Peul comparativement aux autres groupes ethniques.

Chez ce groupe ethnique, les statistiques établies montrent que 20% des individus enquêtés utilisent leurs recettes générées de la vente du bétail pour

réacquérir des nouveaux sujets et introduire dans les troupeaux de base.

Les cas de dots et de mariages sur recettes tirées de la vente du bétail ont été surtout recensés au sein des groupes ethniques Mossi et Gourmantché.

Discussion

La littérature sur les petits ruminants en général et la chèvre en particulier a énuméré un certain nombre d'aspects importants en relation avec l'élevage de caprins (13). Sa place et son rôle y ont été décrits mais de façon théorique ou sans évidences formelles suffisantes. La présente étude apporte des éléments complémentaires qui permettent d'indiquer la place et le rôle de la chèvre dans les systèmes agro-pastoraux du Sahel burkinabé. Les résultats obtenus confortent les théories élaborées sur l'importance de la place et du rôle de l'élevage dont celui des caprins en terme de lutte contre la pauvreté (8)). La possibilité d'avoir du lait de chèvre facilite le déplacement des bovins en période de pénurie fourragère et l'éloignement des vaches sans que cela ne porte préjudice à l'alimentation lactée de la famille de l'éleveur, notamment celle de ses enfants (21). L'exploitation de la chèvre, à cause de son cycle court et de son format, est mieux adaptée aux capacités d'investissement des familles modestes et constituent la principale source de protéines animales et de revenu pour les populations rurales (14, 23). La chèvre est considérée par défaut comme un animal de femme dans la plupart des élevages traditionnels burkinabé (9). Comparativement aux autres espèces de ruminants, la forte proportion de la population rurale impliquée dans l'élevage caprin signifie que la chèvre est l'espèce la plus accessible (6). Des résultats rapportés dans le Plateau Central du Burkina Faso (15) sont proches de ceux obtenus dans la présente étude puisqu'ils indiquent que dans cette région du pays, l'élevage caprin constitue la seconde activité en termes de proportion d'acteurs après celui de la volaille. Deux éléments majeurs peuvent expliquer l'expansion de l'élevage de la chèvre.

D'abord, son coût d'acquisition et d'élevage est relativement moins élevé que ceux des ovins et bovins.

Ensuite, elle peut être élevée dans des conditions alimentaires plus précaires par rapport à ces deux espèces.

Les résultats enregistrés au cours de cette étude par rapport aux sources de revenu et à leur importance relative, corroborent ceux rapportés dans cette région par Diallo (7). En effet, ce dernier a évalué auprès des éleveurs de deux villages de la région (Babirka et Sambonaye), une contribution de l'élevage à la formation du revenu monétaire total des ménages d'environ 75%. Par ailleurs, il a démontré que l'immigration saisonnière constituait la troisième source de revenus total avec une contribution moyenne de 8% et que l'agriculture n'intervenait dans la formation de ce revenu global chiffré qu'en moyenne de 6%, avec cependant une échelle plus importante en zone agropastorale de Babirka (10%) par rapport à la zone pastorale de Sambonaye (2%).

Par ailleurs, la faible contribution des recettes de l'immigration saisonnière au revenu des ménages Peul de la présente étude, reste en partie liée au faible intéressement des individus de ce groupe ethnique à cette pratique (22). En revanche, les résultats de l'auteur cité renseignent que l'immigration saisonnière de travail dans la zone implique particulièrement les ethnies telles que les Bellah, les Rimaïbé et les Fulcé, sixième groupe ethnique du Sahel qui n'a été touché par la présente étude.

Malgré la prépondérance de la chèvre au Sahel, elle joue apparemment un rôle moins significatif que celui des ovins dans la génération de revenus monétaires. Ce qui est certainement vrai par rapport aux bovins si l'on évalue en termes de volume de mobilisation de ces recettes. Toutefois, ces résultats ne doivent pas être perçus comme une faible contribution de l'élevage de la chèvre dans la lutte contre la pauvreté. En effet, une des fonctions aussi assignée à l'élevage caprin est de tamponner les risques, en réduisant la vulnérabilité des communautés vis-à-vis de certains chocs extérieurs comme les sécheresses (10).

Cela constitue une des contributions généralement non évaluées monétairement (19), mais ayant un sens dans la lutte contre la pauvreté.

Dans certaines situations, il est apparu que c'est à partir des caprins plus résistants au stress hydrique que sont reconstitués progressivement les stocks de gros ruminants après les années de sécheresse. Du point de vue monétaire, il est évident que le processus de création des revenus monétaires dans les élevages ruraux répond à plusieurs besoins, y compris le besoin de précaution face aux risques de production et aux prix. Les résultats de la présente étude suggèrent que la chèvre serait un capital animal de garantie de sécurité dans cette région du Burkina Faso où les conditions agro-climatiques sont des plus drastiques et aléatoires.

Les travaux réalisés dans la région du Yatenga, au Burkina Faso (21) relèvent une certaine constance et importance du marché caprin dont l'offre est restée très peu influencée par les effets de sécheresse (sécheresse de 1984) alors que celles de bovins et d'ovins ont été fortement influencées. L'auteur constate que la sécheresse a contribué à un plus fort déstockage des bovins et d'ovins comparativement aux caprins. Cela était en partie lié à un souci de gestion de risque de la part des éleveurs car il est ressorti des résultats de l'étude qu'une partie de ces éleveurs préféreraient mettre l'effort sur l'élevage caprin qui représente pour eux un capital de sécurité plutôt que de pratiquer la fauche et la conservation de fourrage naturel pour alimenter les ovins qu'ils estiment très sensibles aux déficits alimentaires.

Les résultats de la présente étude relatifs à la constitution des troupeaux, mettent ainsi en exergue l'importance que les éleveurs accordent à la chèvre une fonction de « tampon pour les risques ». Le fait que les éleveurs accordent une priorité à cette fonction apparaît justifié dans cette région du pays où les conditions climatiques sont beaucoup plus aléatoires qu'ailleurs.

Par ailleurs, le rôle non monétaire de la chèvre est également important à souligner. C'est le cas de l'autoconsommation en lait, en viande et le fumier qui d'ailleurs, est perçu par les paysans comme étant de meilleure qualité par rapport à celui du bovin ou de l'ovin.

Il est évident que l'approche par le revenu monétaire du rôle de la chèvre dans la lutte contre pauvreté présente ses limites en ce sens que la pauvreté non monétaire est souvent cause de celle monétaire. En prenant en compte les variables non monétaires, les résultats pourraient être significativement différents. Par exemple, la chèvre fournit une quantité non négligeable et non commercialisée de lait de consommation aux membres des ménages ruraux. Elle permet aux éleveurs sahéliens de pratiquer un élevage stratégique par l'association des espèces élevées (bovins, ovins et caprins) dans le but de satisfaire à la fois l'objectif de production de viande et de lait. En outre, elle représente l'espèce la plus concernée par les prélèvements non commerciaux qualifiés de sociaux (abattages, célébrations de baptêmes et mariages, trocs, dons, dots). Ainsi, en combinant donc les aspects monétaires et non monétaires, on accroît inévitablement la contribution de la chèvre à la lutte contre la pauvreté monétaire et/ou non monétaire. A cela, il faut ajouter la fonction de trésorerie vive jouée par les animaux comme les caprins au bénéfice des éleveurs du fait des possibilités et de la régularité des revenus générés tout au long de l'année et à n'importe quelle saison. Par ailleurs, dans cette étude, les résultats révèlent que la population d'éleveurs de caprins du Sahel burkinabé ne peut être traitée de façon homogène. Il existe au moins trois groupes à base de ressources animales détenues qui indiquent une différenciation de pouvoir économique, voire politique entre les éleveurs enquêtés. Les Peul qui sont historiquement des éleveurs par tradition de la région, semblent toujours garder leur place sociale et de profession en la matière. Les Mossi et les Rimaïbé sont reconnus pour être des agropasteurs pour qui l'élevage représente un secteur d'activité beaucoup plus spéculatif que de capitalisation ou thésaurisation (22). Cela peut expliquer en partie que ces derniers, en particulier les Mossi, pratiquent plus la complémentation à leurs animaux (12). Les Peul semblent avoir gardé la tradition de pratique de l'élevage de mobilité, basée principalement sur l'exploitation des pâturages avec peu d'apports de compléments. Les Gourmantché pratiquent moins la complémentation des leurs animaux car leur

élevage ne mise pas sur un objectif particulier de production spécialisée telle que le lait ou la viande (embouche).

Des travaux antérieurs (16, 20) mettent également en relief la structuration des élevages de la présente zone d'enquête en trois groupes. Dans certains cas, la configuration des groupes chevauche les groupes ethniques de l'échantillon d'étude, dans d'autres cas, ce sont les aires de production qui façonnent les classes constituées.

Les résultats de la présente étude relatifs à l'utilisation des recettes tirées de la vente du bétail sont en concordance avec ceux rapportés par Diallo (7). En effet, cet auteur a noté également que les revenus issus de l'élevage ont été essentiellement consacrés à l'achat d'aliments pour les ménages et pour le bétail afin d'assurer leur sécurité alimentaire et pour les soins de santé des familles. Dans cette étude, c'est environ 75% des ménages enquêtés qui ont destiné prioritairement les recettes issues de la vente des animaux à l'acquisition d'aliments et de médicaments.

La plus grande importance qu'accordent les Mossi à l'utilisation des recettes tirées de la vente du bétail pour l'achat d'aliments de bétail confirme bien l'intérêt pour ce groupe pour la promotion des activités spéculatives d'élevage, donc leur tendance à l'intensification de leurs activités d'élevage (12). Les efforts d'achat des aliments de complémentation chez les Peul et chez les Bellah pourraient s'expliquer en partie par le fait de l'obligation pour ces deux groupes ethniques à soutenir leurs noyaux laitiers (vaches pour les deux groupes et chèvres pour surtout les Bellah), le lait étant l'aliment de base pour ces deux communautés (7).

Globalement, les résultats sur l'utilisation des revenus par les communautés impliquées dans la présente enquête, suggèrent de qualifier le groupe ethnique Mossi comme étant celui qui a le plus intégré des changements dans la conduite et la gestion de leurs élevages.

Les Peul semblent avoir cherché à garder leur avance en cheptel animal par rapport aux autres groupes ethniques en affectant plus qu'eux les recettes issues de la vente des produits animaux à l'achat des nouveaux sujets pour reconstituer leurs troupeaux.

Conclusion

Cette étude confirme la place et le rôle de l'élevage dans la sécurisation sociale, alimentaire et économique des pasteurs sahéliens. En effet, bien que la majorité des producteurs enquêtés estiment que l'agriculture représente leur première activité de production, il est démontré que l'élevage assurerait l'essentiel de la création de revenus des ménages. Mieux, les recettes issues de la vente du bétail sont utilisées majoritairement pour l'achat de vivres (50% des cas).

Pour atteindre leurs objectifs de production et créer des effets d'entraînements attendus de l'élevage, les paysans sahéliens privilégient la diversification et les associations stratégiques des espèces élevées. Dans ce processus de production, ce sont les caprins qui restent la base de la constitution des troupeaux.

Ils sont également les plus sollicités pour satisfaire les besoins d'exploitation (commerciale et non commerciale) des éleveurs. Malgré ce rôle primordial joué par cette espèce, elle demeure le parent pauvre des autres espèces de ruminants en matière de protection sanitaire et de compléments alimentaires. Il ressort des résultats des enquêtes que les Peul restent les plus grands détenteurs du bétail au Sahel et que malgré cela, ils déstockent moins leurs animaux.

L'étude montre également que face aux besoins financiers importants des ménages et aux limites objectives liées à l'exploitation de leurs animaux et à la vente de leurs produits de récoltes, certains producteurs, notamment ceux de classes moins nanties en bétail empruntent la voie de l'immigration saisonnière pour gagner de l'argent.

Références bibliographiques

1. Bayer W., Lossau A.V. & Schrecke W., 1999, Elevage et environnement dans les régions sèches, *Agric. Dev. Rural*, **1/99**, 47-50.
2. Boubacar S.L., 1990. *Éléments de stratégie pour le développement de l'élevage au Sahel*. Document de travail, Bureau d'études et de réalisations agro-pastorales (BERAP), coopération Suisse au développement, Dori, Burkina Faso, 47.
3. Bourbouze A. & Guessous F., 1979, La chèvre et l'utilisation des ressources dans les milieux difficiles. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **32**, 2, 191-198.
4. Boutrais J., 1994, Eleveurs, bétail et environnement. *In: A la croisée des parcours-pasteurs-éleveurs-cultivateurs-dynamique des systèmes africains*, ORSTOM/CEA, 303-319.
5. Caron P. & Lancelot R., 2000, *Caprins et systèmes de production des tropiques semi-arides: entre marginalité et sécurité*. *In: 7^e Conférence internationale sur les caprins*, Recueil des communications, INRA, 15-21 mai 2000, Tours, France, 317-320.
6. Chevaux E., 1998, *La complémentation des caprins allaitants au pâturage en zones tropicales humides et sèches*. Synthèse bibliographique. Diplôme d'études supérieures spécialisées productions animales en régions chaudes, CIRAD-EMVT/Ecole nationale vétérinaire d'Alfort/Institut national agronomique, Paris-Grignon/Muséum national d'histoire naturelle, 46.
7. Diallo H., 2011, *Impact du sous-secteur de l'élevage sur la sécurité alimentaire en région sahélienne du Burkina Faso*. Mémoire de conseiller des affaires économiques, Ecole nationale d'administration et de magistrature (ENAM), Ouagadougou, Burkina Faso, 71.
8. Faye B., 2001, Le rôle de l'élevage dans la lutte contre la pauvreté, *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **54**, 3-4, 231-238.
9. Gnanda B.I., 2002, *Productivité des petits ruminants en zone sahélienne burkinabé*. Mémoire de DEA en Gestion Intégrée des ressources Naturelles (GIRN), Institut du Développement Rural/Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 91.
10. Kazianga H. & Udry, C. 2004, *Consumption smoothing? Livestock, Insurance and draught in rural Burkina Faso*. Bureau for Research in economic Analysis and Development (BREAD). Working Paper N° 090 (One line).
11. Klecka W.R. 1981, *Discriminant analysis*. Sage University Paper series Quantitative applications in the social sciences, series no. 07-019. Beverly Hills and London: Sage Publications, 71.

12. Kondombo S.R., 2005, *Improvement of village chicken production in a mixed (chicken-ram) farming system in Burkina Faso*. PhD thesis. Wageningen University, the Netherlands, 200.
13. Lebbie S.H.B. & Kagwini E. 1996, *Small Ruminant Research and Development in Africa*. Proceedings of the Third Biennial Conference of the African Small Ruminant Research Network, UICC, Kampala, Uganda, 5-9 December 1994. ILRI (International Livestock Research Institute) Nairobi, Kenya. 326.
14. Nantoumé H., Kouriba A., Diarra C. & Coulibaly D., 2011, Amélioration de la productivité des petits ruminants: Moyen de diversification des revenus et de lutte contre l'insécurité alimentaire. *Livestock Res. Rural Dev.*, **23**, 5, 2011.
<http://www.lrrd.org/lrrd23/5/nant23110.htm>.
15. Nianogo J. A. & Somda J., 1999, Diversification et intégration interspécifique dans les élevages ruraux au Burkina Faso, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **3**, 3, 133-139.
16. Ouédraogo T., Somda J. & Kiema A., 2005, *Caractéristiques socio-économiques des agro éleveurs dans la zone d'intervention du Projet de développement de l'élevage dans le Soum, phase II (PDES II): situation de référence (typologie, performances et indicateurs de suivi-évaluation d'impacts)*. Rapport d'étude, PDES II/INERA/Département productions animales, Ouagadougou, Burkina Faso, 38.
17. Peters J.K., 1999, Élevage et sécurité alimentaire: Quelles conséquences pour l'environnement? *Agric. Dev. Rural*, **1/99**, 41-46.
18. Samandougou Y., 2014., *Adaptations et accompagnements des agropasteurs de la région du sahel pour l'amélioration de la production des ressources fourragères face aux changements climatiques*. Thèse de doctorat unique en développement rural, option Système de production animale, nutrition et alimentation. Institut du Développement Rural (IDR) de l'université polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), Burkina Faso, 176.
19. Savadogo K., 1997, *La pauvreté au Burkina Faso: une analyse critique des politiques et des stratégies d'intervention locales*. (Document de travail ECDPM numéro 51). Maastricht: ECDPM.
20. Tamboura H.H., Gnanda I.B., Samandougou Y., Traoré A. & Kaboré A., 2005, *Les exploitations laitières candidates au programme d'amélioration génétique du PDES II: I. Caractéristiques socio-économiques et techniques. II. Typologie des élevages*. Rapport d'études, Projet de développement de l'élevage dans le Soum, phase II (PDES II), Institut de l'environnement et de recherches agricoles (INERA), Département productions animales (DPA), Ouagadougou, Burkina Faso, 50.
21. Tezenas du Montcel L., 1994, *Les ressources fourragères et l'alimentation des ruminants domestiques en zone sud-sahélienne (Burkina Faso, Yatenga). Effets des pratiques de conduite*. Thèse de titre de Docteur en Sciences, spécialité: science de la vie, université de Paris XI Orsay. Paris, France, 262 p.
22. Thébaud B., 1998, *Etude de l'économie des ménages dans les régions de Gorgadji et de Dori-Ouest : résultats des enquêtes de réflexions sur la notion de viabilité en milieu agropastoral dans la zone de concentration du PSB/GTZ*. Rapport d'étude, ministère de l'environnement et de l'eau, SP/CONAGESE, projet PSB/GTZ, Dori, Burkina Faso, 83.

B.I. Gnanda, burkinabé, PhD, Chargé de Recherches, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso.

A. Wereme N'Diaye, burkinabé, PhD, Chargé de Recherches, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso

H.O. Sanon, burkinabé, PhD, Chargé de Recherches, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso.

J. Somda, burkinabé, Ingénieur, Ingénieur de recherche, Union Internationale pour la Conservation de la Nature, Ouagadougou, Burkina Faso.

A.J. Nianogo, burkinabé, PhD, Professeur, Institut du Développement Rural de l'Université Polytechnique de Bobo, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

Understanding Market Participation Choices and Decisions of Maize and Cowpea Farmers in Northern Nigeria

D.B. Mignouna^{1*}, T. Abdoulaye¹, A.A. Akinola¹, A.Y. Kamara² & M. Oluoch²

Keywords: Market participation- Double-Hurdle model- Maize- Cowpea- Nigeria

Summary

Alleviating poverty and reducing food insecurity have received close critical attention from many researchers in sub-Saharan Africa. Farmers' participation in agricultural markets has been seen as a potent strategy for improving their livelihoods. This paper applies econometrics to farm survey data from Bauchi and Kano states as major maize and cowpea growing areas hit by one of the most important root parasites known as Striga to determine the factors behind farmers' decisions about participation in the agricultural market and the volume of their output to be marketed. Relevant data was collected from 600 households in both states and results from the Double-Hurdle model indicated that price and non-price constraints played significant roles in determining decisions on participation in the markets for both maize and cowpea. Household and total farm sizes, price and ease of transportation through access to motorized equipment were positively related to decision to participate in the maize market. However, the volume of sale of traded produce was influenced by location-specific variable which underscores socio-economic and population-related factors favoring market access that are present more in Kano than in Bauchi. Age of the household head and total farm size were significantly related to decision to participate in the cowpea market while results of the second stage of the model indicate that access to mobile phone and location variable affect positively the volume of cowpea sold. The role of price was conspicuous in both produce markets as the main incentive for households' participation. The paper concludes with policy implications aimed at providing better market opportunities to farmers thereby improving their welfare in northern Nigeria and other areas with similar socio-economic and bio-physical conditions in West Africa.

Résumé

Compréhension des choix et des décisions de participation au marché des producteurs de maïs et de niébé du nord du Nigeria

Alléger la pauvreté et réduire l'insécurité alimentaire sont devenus des points d'attention critiques pour de nombreux chercheurs en Afrique sub-saharienne. La participation des agriculteurs aux marchés agricoles a été perçue comme une bonne stratégie pour améliorer leurs moyens de subsistance. Cette étude a appliqué un modèle économétrique à la réalisation d'une enquête agricole dans les états de Bauchi et Kano pour déterminer les facteurs expliquant les décisions des agriculteurs à participer au marché agricole; et la part des récoltes destinées à la commercialisation. Les états de Bauchi et Kano sont les principales zones de culture de maïs et de niébé avec une forte présence du Striga, un des principaux parasites racinaires des céréales. Les données ont été obtenues auprès de 600 ménages dans les deux états et un modèle «Double-Hurdle» a été utilisé pour analyser les résultats. Cette analyse montre que les facteurs liés et non liés au prix ont joué un rôle majeur dans la prise de décision concernant la participation aux marchés du maïs et du niébé. La taille des ménages et la taille totale des exploitations, le prix et la facilité de transport grâce à l'accès à des véhicules motorisés, ont été positivement corrélés à la prise de décision de participer au marché du maïs. A Kano plus qu'à Bauchi, la quantité de maïs vendue a été influencée par les facteurs socio-économiques et ceux liés à l'accès au marché. L'âge du chef de ménage et la taille totale de l'exploitation ont été significativement corrélés à la décision de participer au marché du niébé. Les résultats de deuxième niveau du modèle indiquent que l'utilisation du

¹ International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.

² International Institute of Tropical Agriculture, Kano, Nigeria.

*Corresponding Author: E mail: D.Mignouna@cgiar.org

Received on 10.04.15 and accepted for publication on 12.05.15

téléphone portable et la localité présentent une corrélation positive avec la quantité de niébé vendue. Le prix était considéré dans les deux marchés comme un catalyseur à la participation des ménages. L'étude recommande l'adoption d'une politique visant à offrir de meilleures possibilités de marché aux agriculteurs, en vue d'améliorer leur bien-être dans le nord du Nigeria. Cela pourrait, également, être un modèle pour les autres zones de l'Afrique de l'ouest ayant les mêmes conditions socio-économiques et biophysiques.

Introduction

Most African countries are dependent on agriculture (13) and, maize and cowpea are prominent among these arable crops. Their importance to farming households in Nigeria as staples and economic crops cannot be over-emphasized as the country is one of the largest producers of maize in Africa (19) with about 10 million tonnes out of 1,017 million tonnes produced worldwide (13). Cowpea has been seen as the most economically essential grain legume in Nigeria as the country still the largest producer accounting alone for 44% worldwide (13). Cowpea contributes significantly to food security, income generation, and soil amendment (31). According to Fatokun *et al.* (14), the grain contains about 25% protein and 64% carbohydrate and has great potential for reducing malnutrition. Its high protein content, adaptability to different types of soil, resistance to drought, and ability to improve soil fertility and prevent erosion all contribute to its high status across various agro-ecologies.

However, maize and cowpea production and the returns to the grain producers had been constrained largely by high *Striga* infestation in northern Nigeria (21). *Striga* depresses maize grain productivity by 20–100%, often leaving farmers with little or no food grain at harvest (1). The noxious parasitic *Striga* infects the roots of cowpeas and can cause grain yield losses of up to 50% (3). The losses experienced by the the farmers could be ameliorated if the farmers have ready markets for the products through market participation. Maize price has been on the rise as a result of higher demand and low levels of supply (4).

There is also a big market for cowpea grain and fodder in West Africa (12). Therefore, production of these crops should be market-oriented to realize expected welfare gains by taking advantage of the opportunities provided through specialization and comparative advantage, economies of scale, and the regular interaction and exchange of ideas (24). Also, increasing agricultural output will achieve nothing if it is not supported by markets that effectively synergize the specialized activities of various producers into an integrated national economy. Therefore, participation in agricultural markets could be a strategy thrust to improve farming households' livelihoods. Encouraging and facilitating their participation in maize and cowpea markets will, to a large extent, expand their contribution to food security. Consequently, increasing returns from their outputs could significantly act as an entry point to reducing poverty in the country. In spite of these benefits, several factors have constrained maize and cowpea farmers from participation in the market. Literature is replete with many such factors (including price and non-price) that underlie crop producers' participation and their decisions on volumes of sales (7). However, no known study has investigated these participation decisions, made either singly or simultaneously, with respect to maize and cowpea in northern Nigeria.

This study aims at filling those knowledge gaps by determining the drivers that simulate small-scale farmers market participation and volume sold. In the first stage, households that produce the crops decide whether or not to sell the grain in the market.

In the second stage, the households that decide to sell determine the extent of their participation – the volume to sell.

This article is organized as follows. In the next section, we present some theoretical and empirical evidence on agricultural marketing. This is followed by some background of the theoretical model. Then the farm survey data and methodologies used are described, before regression results are presented and discussed. The last section summarizes and discusses policy implications.

Agricultural market participation: some theoretical and empirical evidence

Holloway and Ehui (18) defined the agricultural market as the integration of subsistence farmers into the input and output markets of agricultural products to improve their livelihoods especially their income level and to reduce poverty. Heltberg and Tarp (16), while studying agricultural supply response and poverty in Mozambique, observed that participation in agricultural markets by rural households is a fundamental approach to alleviating poverty and enhancing food security in developing countries. Barrett (6) in his study of smallholder market participation in Eastern and Southern Africa held that farming households must have access to productive technologies and adequate private and public goods to produce a marketable surplus. However, such investment requires that households earn enough to save, invest, and generate adequate tax revenue for governments. Omiti *et al.* (25) while working on the determinants of intensity of market participation by smallholders in Kenya found that most farmers in rural areas produce lower volumes of relatively low-value and less perishable marketed surpluses than those in peri-urban areas. They also sell mainly at the farm gate and in rural markets so only a small proportion of the total output is taken to the more lucrative (but distant) urban markets. The study showed that distance indeed confines rural farmers in this way and suggested that farm-to-market roads should be upgraded with equipped retail market centers. In their work on farm productivity and household market participation in Tanzania, Vietnam and Guatemala; Rios *et al.* (28) believed that enhancing market access through the construction of roads may not consistently lead to

improvements in agricultural productivity. In contrast, increasing output directly through investments in irrigation equipment and improved seeds is likely to have a more consistent impact on participation.

On market infrastructure and institutional factors, Tung and Costales (37) in the study of smallholder poultry producers in northern Viet Nam found that market infrastructure and the institutional aspects of market access are crucial for improving the opportunities of smallholders to increase their market participation. However, general or local market instability, manifested in unpredictable price fluctuations, has a far larger negative impact on the livelihoods of smallholder producers than the dominance of traders. Fischer and Qaim (15) while investigating the determinants of intensity of participation in marketing asserted that participation could be expected to be driven by a clear personal benefit in terms of higher sale prices. Farmers with lower transaction costs participated in markets and sold more because they were likely to recover their production and marketing costs (17). Distance to markets, or towns, was important and farmers with the means of transportation or more labour were found to participate and sell more products. Population density positively affected market participation and sales as farmers in more densely populated areas faced greater demand for their farm produce (18). Poor infrastructure often increases the transaction costs of smallholders' market participation (7, 22). The ease of flow of market information to the farmers in a way that enhances their information base would improve market access (34). However agricultural marketing may be productivity-enhancing over time. Firms or farms with high productivity have tended to become highly commercialized and export-inclined (40). In developing countries, agrarian rural areas are among the poorest and the largest, so strategies and policies that stimulate their participation in the market will enhance economic growth. However, agricultural households often face imperfect or incomplete markets for some goods and factors which are then non-tradable (30) and decisions on production and consumption are no longer separable. Sadoulet and de Janvry (30) summarize

the sources of such incomplete or imperfect markets including costs resulting from distance to markets, poor infrastructure, high marketing margins, imperfect information and supervision, and incentive costs. These are the reasons for the literature's sustained interest in the effects of transaction costs on market participation (32). As a result, the reduction of transaction costs, as a means of increasing market participation, has been identified as a goal of development policy (11). Significant barriers exist to entry into commercial staple food markets that discourage sales by smallholder producers. Renkow *et al.* (27) observed that the food crop marketing system, including that for maize/cowpea, has been inefficient in most African countries. As a result, owing to such perceived weaknesses, farmers find it difficult to dispose of their produce at attractive prices and in places of their choice. This development reduces any enthusiasm about raising production and improving supply, often steps up food prices to consumers, and restricts any increase in farm income (29). The total industrial demand for maize in Nigeria was forecast at 1.8 million tons in 2013/2014. At present, the price of maize is about 80,000 naira/t. The demand for maize and cowpea is all-year-round while there is shortage of sellers so a policy thrust is necessary that will motivate producers of these crops to participate in the marketing of their products (9).

Theoretical model and empirical specifications

Less or absence of *Striga* may attract a market premium, enhancing sales. Farmers could also make decisions whether to participate in the market in a single or a sequential two-step process. In the sequential process, they decide whether or not to participate and, if they choose to do so, the next step is the decision about the quantity to sell. Simultaneous decision-making means that the farmers make choices about participation and quantity at the same time (2). Increasing research has been done on sequential decisions (7, 49). The last study explicitly tests whether or not farmers make sequential or simultaneous decisions and finds the evidence necessary to support sequential decision-making. None of these studies explicitly

tests whether the decision could be made either sequentially or simultaneously, as this study does. Small-scale farmers' decisions to participate in the market can be understood, based on a utility model. In modeling the utility or satisfaction derived from the farmers' participation in maize/cowpea markets as integrated into the smallholder farming system, the economic values or benefits associated need to be considered. A typical smallholder-farming household seeks to participate in the commercial market to maximize a multi-dimensional objective function, including increasing incomes and food security and reducing all forms of risk (35). When there is a change in the economic parameters associated with market participation, the central question is related to how much compensation, whether paid or received, would make the decision-maker uninterested about the change. Thus the change in welfare associated with this development was used as the basis for the economic valuation process. When an individual farmer faces a change in a measurable attribute, for example, higher returns as a result of participating in the market (r), then r changes from r_0 to r_1 (with $r_1 > r_0$). The indirect utility function U after the change becomes higher than before. The *status quo* can be represented econometrically by the equation I.

$$u_{1j} = u_i(y_i, z_j, r^0, \varepsilon_{0j}) \quad \text{I}$$

On the other hand, the changed or final state caused by market participation is shown by Equation II:

$$u_{2j} = u_i(y_i, z_j, r^1, \varepsilon_{1j}) \quad \text{II}$$

Where,

y_i refers to the farmer's income, z_j is a vector of the farmer's socio-economic variables and attributes of choice, and ε_j is the stochastic error term representing other unobserved utility components. The farmer would decide to participate in markets on the following conditions (Equation III).

$$u_i(y_i - r_i, z_j, \varepsilon_{ij}) > u_0(y_i, z_j, \varepsilon_{0j}) \quad \text{III}$$

Where:

r_i is the monetary investment associated with market participation.

Since the random components of the preferences are not known with certainty it is possible to make only probabilistic statements about expected outcomes.

Thus, the decision by farmers to participate is the probability that they will be better off if participation improves their welfare. This is represented by the equation IV:

$$Prob(Yes_i) = Prob[u_i(y_i - r_p, z_p, \varepsilon_{ij}) > u_0(y_p, z_p, \varepsilon_{ij})] \quad IV$$

Since the above utility functions are expressed generally, it becomes critical to specify the utility function as additively separable in deterministic and stochastic preferences. Using this argument, the

function becomes (equation V):

$$u_i(y_i, z_j, \varepsilon_{ij}) = u_i(y_p, z_j) + \varepsilon_{ij} \quad V$$

Where:

The first part of the right-hand side is the deterministic part and the second is the stochastic part. The assumptions that ε_{ij} are independently and identically distributed with mean zero describe the most widely used distributions.

Econometric specification: the Double Hurdle model

According to Tobin (36) decisions on market participation and supply are made simultaneously. Based on a Tobit model, fixed costs associated with market participation do not significantly affect a farmer's decision to participate in commercial markets. It also means that factors affecting market participation and quantity decisions are one and the same, affecting the dependent variable in the same direction.

When thinking of decisions on market participation and maize/cowpea supply as a sequential process, the Double Hurdle (DH) model originally proposed by Cragg (10) is appropriate for analyzing the possibility that the factors influencing a farmer's decision to participate in the maize/cowpea market may not affect the quantity sold. The DH model also allows us to consider that the same factors can potentially affect participation and the amount sold in different ways. We relied on this approach and estimated a DH model using Craggit command (8) in Stata software which combines a Probit estimation with a truncated normal regression in the second step.

In terms of policy relevance, our analysis clearly shows that participation and the level of

participation may be different decisions and that an estimation of participation intensity on the basis of factors affecting the participation decision, as implied by other approaches, may be liable to error. The DH model has been extensively applied in several studies (23) but not much in the area of market participation. The DH approach implies that farmers make two decisions with regard to participation in the commercial market. The first is whether they will participate. The second is about the amount of maize/cowpea that they will convey into the market, conditional on the first decision. The importance of treating the two decisions independently lies in the fact that the factors that affect a decision to participate may be different from those that affect the decision on how much to participate. This implies that households must cross two hurdles. The DH model allows for the possibility that these two decisions are affected by different sets of variables. The advantage is that it allows us to understand the characteristics of a class of households that would never participate. Thus, the probability of a household belonging to a particular class depends on a set of household characteristics. The DH model is a parametric generalization of the Tobit model in which two separate stochastic processes determine the decision to participate and the level of participation. The first equation in the DH model relates to the decision to participate and can be expressed as in equation VI:

$$y_i = 1 \text{ if } > \text{ and } 0 \text{ if } \leq 0 \quad VI$$

$$y_i^* = X_i' \alpha + \varepsilon_i$$

Where:

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

The second hurdle, which closely resembles the Tobit model, is expressed in equation VII:

$$t_i = t_i^* > 0 \text{ and } y_i^* > 0 \quad VII$$

$$t_i = 0 \text{ otherwise}$$

$$t_i^* = z_i' \beta + u_i$$

Where:

t_i is the observed response on how much maize/cowpea should be conveyed to market, z is a vector of the household characteristics and β is a vector of parameters.

The decisions whether or not to participate and about how much maize/cowpea to convey can be jointly modelled, if they are made simultaneously by the household; and independently, if they are made separately; or sequentially, if one is made first and affects the other as in the dominance model (23). If the independence model applies, the error terms are distributed as follows: $\varepsilon_i \sim N(0, 1)$ and $u_i \sim N(0, \delta^2)$.

If both decisions are made jointly (the Dependent Double - Hurdle) the error term can be defined as in equation VIII.

$$(\varepsilon_i, u_i) \sim BVN(0, Y) \text{ Where: } Y = \begin{bmatrix} 1 & p\delta \\ p\delta & \delta^2 \end{bmatrix} \quad \text{VIII}$$

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

$$\rho = \frac{(\text{cov} \varepsilon_i u_i)}{(\sqrt{\text{var} \varepsilon_i \text{var} u_i})} \quad \text{IX}$$

If $\rho = 0$ and there is dominance (the zeros are associated only with non-participation, not standard corner solutions) then the model decomposes into a Probit for participation and a standard OLS for y . Following Smith (33) we assume that the error terms ε_i and u_i are independently and normally distributed and thus we have the equation X:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_i \\ u_i \end{pmatrix} \sim N \left(\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \delta^2 \end{pmatrix} \right) \quad \text{X}$$

And finally, the observed variable in a DH model is $t_i = y_i t_i^*$ and the log-likelihood function for the double hurdle model is given in the equation XI:

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

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

To check for multicollinearity in the model, the variance inflation factor for categorical variables was estimated.

Empirical specification

We use a DH model. These decisions are made in a sequential manner and can be subject to two very different decision-making processes.

Therefore, we use a set of explanatory variables largely based on work by Lapar *et al.* (22), Bellemare and Barrett (7), Alene *et al.* (5), and Xu *et al.* (39), who extensively reviewed factors that influence farmers to participate in marketing. The set of independent variables potentially expected to influence participation is grouped into the following classes: household characteristics, physical assets, social capital, transaction costs, livelihood development services, and regional variables.

Demographics are captured by age, education, household size, and numbers of adults and females in the household. The relationship with age is expected to be negative depending on the levels of development. Younger farmers are expected to be progressive, more open to new ideas, and to understand better the benefits of agricultural commercialization. In addition, younger farmers also have higher levels of education and more contacts worldwide. In general, older farmers view farming as a way of life rather than as a business and have a strong emotional or almost biological connection with farming and the land. Intellectual capital as captured by education is expected to play a positive role in influencing market participation. The level of education gives an indication of the household's ability to process information and causes some farmers to have better access than others to understanding and interpreting information. However, the expectation may be reversed when there are competing and more remunerative employment opportunities available in the area requiring skills that are enhanced by more education (22). Household size and number of adults are included as a proxy for the availability of family labour.

Household size may be relevant for attending group meetings while the number of females in the household is relevant for attending market days and transporting maize/cowpea, emphasizing a higher probability of market participation. Therefore a household with a large number of members is expected to produce a larger marketable output. Lapar *et al.* (22) hypothesized that the propensity of a household to participate in the market economy declines with lower numbers.

Farmers' physical assets can catalyze a family to participate in economic activities. A means of capturing the time and cost of transportation is through ownership of a means of transport. Households using motorized equipment are likely to convey their agricultural product to the market easily and at the appropriate time. It is therefore hypothesized that such households are more likely to participate in commercialization and will have a larger quantity of maize/cowpea to transport. Households' access to farm land is a necessary condition for market participation. This variable is measured by the size of the total farm land that the household operates and is likely to be important. The larger the size of land that a household owns, the higher the production levels are likely to be, and the higher the probability of market participation. However, large farms may face high transaction costs and a lack of economies of scale, leading to a lowering of the additional benefits of participation. Another variable used as a proxy for transaction costs is access to information on output markets and prices. Marketing efficiency is hindered by any delay and difficulty in obtaining information which increase transaction costs by raising search and bargaining costs. Therefore mobile phone ownership becomes crucial in capturing the relevant information. Small-scale farmers are often not aware of prices and market opportunities for their maize/cowpea and find it difficult to participate in alternative markets. Access to such information is hypothesized to influence market participation positively.

Membership in any social group is another element of transaction costs as applied in the study. Membership has been linked to a range of outcomes which can improve smallholders' market power and ensure fair benefits sharing and this through networks that information and other resources can be transmitted. Membership strengthens farmers' bargaining and lobbying power and brings together members leading to institutional solutions to some problems. This variable is expected to have a positive impact on market participation. However, membership could be a limiting factor as an indication of other preoccupations that are taking members away from commercialization. This could

generate unsuccessful group action (26). Also contact with extension agent is hypothesized to positively related to market participation decisions being a reliable information source. Transaction costs are hypothesized to impede market participation because they impose added cost burdens on the efficient conduct of market entry activities.

Price is expected to influence market participation positively as pointed out by Alene *et al.* (5). The output price is an incentive to sellers to supply more in the market. The final construct of transaction costs applied in the study is the state dummy that is included in the analyses to capture differences that might arise due to diversity in human, economic, and ecological conditions among households located in both states.

In Bauchi and Kano states, *Striga* has invaded cereals and is expected to influence negatively market participation. *Striga* induced reduction in host photosynthesis has been reported as the most important mechanism of growth reduction of the host (38).

Data and results

Using a carefully designed and tested questionnaire for the household survey in November 2011, we conducted structured, household-level interviews with maize/cowpea growers in communities classified as areas with a high potential for *Striga* weed infestation. A multistage, random sampling procedure was adopted to get the total sample size of 600 households in northern Nigeria using the confidence interval approach. The sampling frame including all households in the surveyed villages was developed as a source list by extension agents in collaboration with community heads and this stage involved a random selection of farm households through a random number generator available in Microsoft Excel. The information collected include socioeconomic characteristics, maize and cowpea production data. Others were the production and post-harvest challenges as perceived by respondents.

The production and post-harvest constraints were derived from the respondents' perception using direct questions.

The contexts identified plaguing maize and cowpea growing areas in the study region include *Striga*, stemborer, termites, storage insects, low and erratic rainfall, water logging and inadequate input supply (Table 1). Table 1 shows that *Striga* infestation was the most commonly cited constraint to crop productivity in Bauchi and Kano states. Based on the results from Table 1, it is evident that *Striga* limits the quantity of output harvested and the amount designated for market participation. Subsequently *Striga* infestation could constitute a limiting factor to the extent of farmers' involvement in crop commercialization. In this study, the extent of market participation was captured by the proportion of the quantity of crop produced that was sold by each household. For all households across the study area, about 67% participated in the maize market and 45% in the cowpea market (Table 2). The figures are reflective of the importance of these crops as a main source of income in the region. The average age of the farmers was about 44 years, an indication that most are still economically active with the strength and ability to carry out agricultural activities. Availability of labour for farming (especially family labour) was indicated by the large size (4.31 adults) of households. Illiteracy was widespread as more than half of the

farmers did not complete six years of primary education. They cultivated plots of land with an average total size of about 5.6 ha. Some had access to extension services with respect to marketing maize (48%) and cowpea (36%).

The econometric estimation results of output market participation among households are discussed in this section using the Double Hurdle of Cragg (10). Correlates are hypothesized of maize/cowpea market participation (whether a household sold maize/cowpea) and extent of participation (the proportion sold) and are expected variables focused on existent literature of interest which will inform conclusions for this.

The estimation was done separately for each crop. The Probit results on the decision to participate in markets and results of truncated regression analysis on the extent of market participation for the regressions are presented (Table 3).

Participation in the maize market

Household size is an indicator of the amount of family labour that is available for production activities. It had a negative and insignificant effect in influencing participation (Table 3) as opposed to our expectation. This might depict household labour inefficiency where a larger household produces far less than what it needs for household consumption and thus less marketable surplus.

Table 1
Major crop productivity constraints (% of households).

	All	Bauchi	Kano
Maize			
<i>Striga</i>	94.3	93.2	95.3
Stemborer	53.8	41.5	63.5
Termites	73.8	71.7	75.6
Storage insects	62.0	53.0	69.3
Low and erratic rainfall	20.0	20.7	19.5
Water logging (flooding)	19.0	18.8	19.2
Inadequate input supply	63.3	63.8	62.8
Cowpea			
<i>Striga</i>	80.9	85.2	78.1
Alectra	48.4	37.9	53.7
Storage insects	80.2	80.6	79.9
Low and erratic rainfall	18.8	20.3	18.0
Water logging (flooding)	17.1	16.0	17.6
Inadequate input supply	58.8	65.8	54.8

Table 2
Descriptive statistics.

Variables	Symbol	Obs.	Mean	Std. Dev.
Dependents				
Maize market participation (=1 if the household sold maize; 0 otherwise)		600	0.67	0.47
Proportion of maize sold		600	27.30	25.37
Cowpea market participation (=1 if the household sold cowpea; 0 otherwise)		600	0.45	0.50
Proportion of cowpea sold		600	24.11	29.74
Independents				
Age of the household head (years)	AGE	600	43.58	13.00
Education status (=1 if the head has 6 years of schooling or more; 0 otherwise)	EDUCS	600	0.45	0.50
Number of females in the household	FEMALE	600	6.74	3.65
Number of adults in the household	ADULT	600	4.31	2.26
Household size (number)	H SIZE	600	9.20	4.30
Total farm size (ha)	TFSIZE	600	5.62	5.26
Contact with extension agent for improved maize variety (=1 if household has contact; 0 otherwise)	CONT_M	600	0.48	0.51
Contact with extension agent for improved cowpea variety (=1 if household has contact; 0 otherwise)	CONT_C	600	0.36	0.50
Average price at which each unit of maize is sold (Naira/kg)	MPRICE	600	78.83	22.90
Average price at which each unit of cowpea is sold (Naira/kg)	CPRICE	600	103.72	18.82
Member of any social group (=1 if a member; 0 otherwise)	MBER	600	0.36	0.48
Means of transport ownership (=1 if own motorized equipment; 0 otherwise)	MTO	600	0.66	0.47
Mobile phone (=1 if household has access; 0 otherwise)	PHONE	600	0.82	0.39
<i>Striga</i> is a most important production constraint? (1=Yes)	STRIGA	600	0.96	0.20
Household location (=1 for Bauchi state and 0 for Kano state)	HLOC	600	0.50	0.50

Total farm size was positively and significantly associated with a higher probability and intensity of participation. This is in agreement with the a priori expectation that farmers with large farms produce beyond what they use for home consumption. An increase in farm size naturally implies an increase in output. These results indicate the constraints that farmers who have farms of smaller sizes face in getting access to markets could be due to their inability to produce a marketable surplus. However, its effect on the volume of sale was not significant. In agreement with a priori expectation, the price for

maize was positively and significantly associated with the decision to sell.

This is in agreement with the findings of most authors (5) that the price of a commodity is a great incentive to participate in any market. When the price is high, returns are also expected to be high. Access to motorized equipment was positive and significantly related to the decision to participate. This might be connected with the ease of transportation provided by such equipment as most agricultural crops are produced in distant farmlands with poor road networks.

With regard to location, there is no significant location difference in the probability of participation between Bauchi and Kano state but higher probability of participation is observed in Bauchi. However location was negative and significant in affecting the extent of participation (Table 3).

These underscore the associated socio-economic and population-related factors that are available and evident in both states affecting the demand for the maize crop.

These attributes include the state of industrial development and population density which boost or induce demand for maize that are higher in Kano

than Bauchi state with likely much more willingness to enter market in Bauchi.

Participation in the cowpea market

Age of the household head had a negative and significant impact on the decision to participate in the cowpea marketing. This is because many decisions made in the household on whether to sell cowpea or not depend on younger members of the family who tend to be source of key decision that affects the family welfare (Table 4). The rationale behind this might be that money-oriented attitude takes increased prominence in younger people who opt to be risk takers.

Table 3

Estimates of Double-Hurdle Model of Determinants of maize market participation decision and degree of participation.

Maize	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
First Hurdle						
AGE	-0.0047	0.0048	-0.98	0.328	-0.0141	0.0047
FEMALE	0.0608	0.0403	1.51	0.132	-0.0182	0.1398
HSIZE	-0.0688**	0.0347	-1.98	0.047	-0.1367	-0.0008
TFSIZE	0.0316**	0.0148	2.13	0.033	0.0026	0.0607
EDUCS	-0.1801	0.1259	-1.43	0.152	-0.4268	0.0666
CONT_M	0.0150	0.1168	0.13	0.898	-0.2139	0.2440
MEM	0.0287	0.1270	0.23	0.821	-0.2201	0.2776
MPRICE	0.0290***	0.0031	9.31	0.000	0.0229	0.0351
PHONE	-0.0162	0.1604	-0.10	0.920	-0.3306	0.2982
MTO	0.5195***	0.1267	4.10	0.000	0.2713	0.7678
HLOC	0.0472	0.1344	0.35	0.725	-0.2162	0.3107
CONSTANT	-1.7831	0.3893	-4.58	0.000	-2.5462	-1.0200
Second Hurdle						
AGE	-0.0265	0.1007	-0.26	0.793	-0.2239	0.1709
FEMALE	1.1691	1.1150	1.05	0.294	-1.0162	3.3544
ADULT	1.1476	0.9973	1.15	0.250	-0.8070	3.1023
HSIZE	-1.2350	1.1871	-1.04	0.298	-3.5616	1.0916
TFSIZE	0.0027	0.2400	0.01	0.991	-0.4677	0.4732
EDUCS	-3.8637	2.6047	-1.48	0.138	-8.9687	1.2414
CONT_M	-3.2972	2.4828	-1.33	0.184	-8.1634	1.5689
MEM	0.2882	2.6025	0.11	0.912	-4.8126	5.3889
PHONE	0.4356	3.2157	0.14	0.892	-5.8670	6.7382
MTO	3.4536	2.8615	1.21	0.227	-2.1549	9.0620
STRIGA	-4.9140	6.4973	-0.76	0.449	-17.6485	7.8205
HLOC	-9.7132***	2.7387	-3.55	0.000	-15.0810	-4.3454
CONSTANT	48.1054	9.3867	5.12	0.000	29.7077	66.5030
Sigma	21.7022	1.0047	21.60	0.000	19.7331	23.6713
Number of obs	589					
Wald chi² (11)	113.37					
Prob > chi²	0.0000					
Log likelihood	-2025.039					

Table 4

Estimates of Double-Hurdle Model of Determinants of cowpea market participation decision and degree of participation.

Cowpea	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
First Hurdle					
AGE	-0.0264***	0.0061	-4.32	0.000	-0.0384 -0.0144
FEMALE	0.0393	0.0466	0.84	0.399	-0.0521 0.1306
HSIZE	-0.0363	0.0398	-0.91	0.361	-0.1143 0.0416
TFSIZE	0.0312**	0.0130	2.41	0.016	0.0058 0.0566
EDUCS	0.0089	0.1384	0.06	0.949	-0.2625 0.2802
CONT_C	0.0704	0.1337	0.53	0.599	-0.1917 0.3325
MEM	0.0834	0.1440	0.58	0.562	-0.1988 0.3655
CPRICE	0.0739***	0.0051	14.59	0.000	0.0640 0.0839
PHONE	0.2221	0.1826	1.22	0.224	-0.1358 0.5800
MTO	0.1545	0.1445	1.07	0.285	-0.1287 0.4377
HLOC	-0.0439	0.1492	-0.29	0.768	-0.3363 0.2485
CONSTANT	-7.0115	0.5592	-12.54	0.000	-8.1075 -5.9155
Second Hurdle					
AGE	-0.1707	0.1034	-1.65	0.099	-0.3734 0.0320
FEMALE	1.1536	1.0967	1.05	0.293	-0.9959 3.3031
ADULT	0.6428	0.9429	0.68	0.495	-1.2052 2.4907
HSIZE	-1.3142	1.1548	-1.14	0.255	-3.5777 0.9493
TFSIZE	-0.4344	0.2457	-1.77	0.077	-0.9160 0.0472
EDUCS	-4.8521	2.5600	-1.90	0.058	-9.8696 0.1653
CONT_C	-2.0539	2.5993	-0.79	0.429	-7.1484 3.0407
MEM	-1.4972	2.5733	-0.58	0.561	-6.5409 3.5464
PHONE	10.0169***	3.2424	3.09	0.002	3.6619 16.3718
MTO	4.3595	2.7194	1.60	0.109	-0.9704 9.6894
STRIGA	-1.8323	6.8155	-0.27	0.788	-15.1904 11.5258
HLOC	7.6982***	2.7986	2.75	0.006	2.2131 13.1833
CONSTANT	56.0489	10.1834	5.50	0.000	36.0898 76.0080
Sigma	18.5995	0.8588	21.66	0.000	16.9162 20.2827
Number of obs	589				
Wald chi ² (11)	228.36				
Prob > chi ²	0.0000				
Log likelihood	-1364.8782				

Total farm size was positively and significantly associated with a higher probability of participation and vice versa. Large land contributes generally to huge output

The price of cowpea was positively and significantly associated with the decision to sell (Table 4). This is in agreement with a priori expectation and similar to maize and that price of a commodity would generally motivate households' participation in any market.

When the price becomes higher, the returns which accrue to households are also higher.

Access to phone influenced positively the decision to participate in cowpea market and was positively and significantly associated with the marketed volumes. Farmers in the surveyed areas access market information on prices of inputs and output through cell phones. Knowledge of input prices enables farmers to make informed decisions in not only entering market but also with quantity designated for sale.

The location variable had different signs with the decision and extent of participation. It was negatively and insignificantly associated with participation decision favoring Kano and positively and significantly related with extent of participation (Table 4). This is inversely similar to the situation with maize market driving the demand for cowpea more in Bauchi than in Kano state. The difference in demand for cowpea could be linked to the lower industrial development in Bauchi state in connection to the uses of cowpea as an important food source prepared as a potherb like spinach, boiled in replacement as rich source of proteins and served to feed animals when green or dry fodder. As expected, the *Striga* variable was positively, albeit insignificantly, associated with the volume of maize and cowpea marketed. Its statistical significance could be based on the fact that almost all households in the surveyed areas were infested by *Striga* and not enough variation was observed as evidenced by the Table 1.

The estimated coefficient for *Striga* was consistently negative in association with the degree of commercialization of both maize and cowpea in the region and conforms to a priori expectations.

Conclusion and policy implications

This study described the socio-economic characteristics and determined the drivers of market participation among small-scale maize/cowpea farmers in northern Nigeria for whom the two crops are the main sources of income. Market participation was becoming crucial in providing better market opportunities to farmers by motivating them in increasing their output, hence enabling them to earn more income to improve their livelihoods. Price and non-price constraints played a significant role in determining decisions on market participation for both crops. Household and total farm sizes and access to motorized equipment to ease the transportation were positively related to the decision to participate in the maize market. However, the volume of sale of maize was influenced by location-specific variables that underscored socio-economic and population-related factors that are more present in Kano than in Bauchi state.

These socio-economic and population-related characteristics include higher population density and infrastructural and industrial development that could boost the demand for the grains. These same factors in Bauchi favored farmers' participation in the cowpea market.

Moreover access to mobile phone induced the volume of cowpea marketed while age and total farm size affected cowpea market participation decision. However, the role of price was conspicuous in the markets for both crops as the main incentive for households' participation. *Striga* infestation contributed in reducing the volume of cereals marketed. Promoting *Striga* control technologies should be an important goal for research and extension in northern Nigeria.

Henceforth policies that increase returns to households through better prices, good road transportation networks, as well as location-specific socio-economic and population-related factors that induce farmers to commercialize maize or cowpea production should be pursued to promote a marketed surplus for these crop farmers and thereby improve their livelihoods.

Acknowledgement

Funding for this research was provided by the Bill and Melinda Gates Foundation Grant No. OPP1006185-1 to IITA, under the Project "Achieving sustainable *Striga* control for poor farmers in Africa", and is gratefully acknowledged. The authors also acknowledge the significant support of G. Ucheibe, M.Kadafur, Princess H. Ifeanyi, J. Mbavai and others who are not mentioned and who provided help in undertaking this survey. Finally, the authors would like to gratefully acknowledge the participation of farmers, extension agents, and local leaders from the project areas in providing considerable amounts of information during the survey.

Literature

1. AATF (African Agricultural Technology Foundation), 2008, *Delivering the Promise: Impacting Lives with New Technologies*. Annual Report, 2006, Nairobi, Kenya: AATF. 39.
2. Abdoulaye T. & Sanders J.H., 2005, Stages and Determinants of Fertilizer Use in Semiarid African Agriculture: The Niger Experience, *Agric. Econ.*, **32**, 167-179.
3. Aggarwal V.D. & Ouedraogo J.T., 1989, Estimation of cowpea yield loss from *Striga* infestation, *Tropic. Agric.*, (Guildford, UK) **66**, 91-92.
4. Ajirenike O.A., 2005, *The effect of Ondo state Agricultural Development Project on Maize production in Akure North local government area of Ondo state*. A project report submitted to the Department of Agricultural Extension and Management, Federal College of Agriculture, Akure, 61.
5. Alene A.D., Manyong V.M., Omany G., Mignouna H.D., Bokanga M. & Odhiambo G., 2008, Smallholder market participation under transactions costs: Maize supply and fertilizer demand in Kenya, *Food Policy*, **33**, 4, 318-328.
6. Barrett C.B., 2007, *Displaced Distortions: Financial Markets Failures and Seemingly Inefficient Resource Allocations in Low-Income Rural Communities*. Paper presented in Seminar on Resource Allocation among Low-Income Farmers, Cornell University, 12-15 December 2007.
7. Bellemare M. & Barrett C., 2006, An Ordered Tobit Model of Market Participation: Evidence from Kenya and Ethiopia, *Am. J. Agric. Econ.*, **88**, 2, 324-337.
8. Burke W.J., 2009, Fitting and Interpreting Cragg's Tobit Alternative Using Stata, *Stata J.*, **9**, 4, 584-592.
9. CBN. 2012-2013. *Corn Market Report*, Official Central Bank of Nigeria (CBN) Reports, Commodity Prices, 2012-2013.
10. Cragg J.G., 1971, Some Statistical Models for Limited Dependent Variables with Application to the Demand for Durable Goods, *Econometrica*, **39**, 5, 829-844.
11. Delgado C., 1995, *Africa's Changing Agricultural Development Strategies: Past and Present Paradigms as a Guide to the Future*, IFPRI, Washington D.C., USA.
12. Dugje I.Y., Ekeleme F., Kamara A.Y., Tegbaru A., Omoigui L.O., Onyibe J.E. & Teli. I.A., 2008, *Guide on pesticide use for crop production in Borno state, Nigeria*. IITA, Ibadan, Nigeria. 15.
13. FAO. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. On-line and Multilingual Database <http://faostat.fao.org/>
14. Fatokun C.A, Tarawali S.A., Singh B.B., Kormawa P.M. & Tamo M., (editors), 2002, *Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production: Proceedings of the World Cowpea Conference III* held at the International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria, 4-8 September 2000. IITA, Ibadan, Nigeria, 433.
15. Fischer E. & Qaim M., 2011, *Smallholder Farmers and Collective Action: What Determines the Intensity of Participation?* Proceedings of the German Development Economics Conference, Berlin 2011, No. 28. Available at: <http://hdl.handle.net/10419/48336>
16. Heltberg R. & Tarp F., 2001, *Agricultural Supply Response and Poverty in Mozambique*. Presented Paper at the Conference on Growth and Poverty at WIDER. 25-26 May 2001, Institute of Economics, University of Copenhagen, Denmark.
17. Holloway G.J., Nicholson C., Delgado C., Ehui S. & Staal S., 2000, Agroindustrialization through Institutional Innovation: Transaction Costs, Cooperatives and Milk Market Development in the East African Highlands, *Agric. Econ.*, **23**, 279-288.
18. Holloway G.J. & Ehui S., 2002, *Expanding Market Participation among Smallholder Livestock Producers: A Collection of Studies Employing Gibbs Sampling and Data from the Ethiopian Highlands, 1998-2001. Socioeconomics and Policy Research*. Working Paper 48. International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya.
19. IITA, 2012. Maize crop 2012. Downloaded from website: <http://www.iita.org/maize>
20. IITA, 2012. Cowpea crop 2012. Downloaded from website: <http://www.iita.org/cowpea>
21. Khan Z.R., C.A.O. Midega, A. Hassanali, J.A. Pickett, L.J. Wadhams & A. Wanjoya, 2006, Management of *Striga*, *Striga hermonthica*, and stem borers in sorghum, (*Sorghum bicolor*), through intercropping with green leaf desmodium, *Desmodium intortum*. *Int. J. Pest Manage.*, **52**, 297-302.
22. Lapar M.L., Holloway G. & Ehui S., 2003, Policy options promoting market participation among smallholder livestock producers: A case study from the Philippines, *Food Policy*, **28**, 187-211.

23. Martínez-Españeira R., 2006, A Box-Cox double-hurdle model of wildlife valuation: the citizen's perspective. *Ecol. Econ.*, **58**, 1, 192-208.
24. Mathenge M., Place F. Olwande J. & Mithoefer D., 2010, *Participation in Agricultural Markets among the Poor and Marginalized: Analysis of Factors Influencing Participation and Impacts on Income and Poverty in Kenya*, a study report. Tegemeo Institute of Agricultural Policy and Development, Nairobi, Kenya.
25. Omiti J.M., Otieno D.J., Nyanamba T.O. & Mccullough E., 2009, Factors Influencing the Intensity of Market Participation by Smallholder Farmers: A Case Study of Rural and Peri-urban areas of Kenya. *Afjare*, **3**, 1, 57-82.
26. Poulton C., Dorward A. & Kydd J., 2010, The future of small farms: New directions for services, institutions, and intermediation, *World Dev.* **38**,10, 1413-1428.
27. Renkow Mitch, Hallstrom Daniel G. & Karanja Daniel D., 2004, Rural Infrastructure, Transactions Costs and Market Participation in Kenya, *J. Dev. Econ.*, **73**, 1, 349-367.
28. Rios A.R., Masters W.A. & Shively G.E., 2009, *Farm Productivity and Household Market Participation: Evidence from LSMS Data*. http://www.agecon.purdue.edu/staff/shively/RMS_IAAE.pdf (Accessed May 2010).
29. Rosegrant M.W., Cline S.A., Li W., Sulser T.B. & Valmante-Santos R.A., 2005, Looking ahead. Long-term prospects for Africa's agricultural development and food security. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
30. Sadoulet E. & de Janvry A., 1995, *Quantitative Development Policy Analysis*, The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London.
31. Sanda, R.A and Maina, M.I. 2013. Effect of Drought on the Yields of Different Cowpea Cultivars and Their Response to Time of Planting in Kano state, Nigeria. *Int. J. Environ. Bioenerg.*, **6**, 3, 171-176
32. Shilpi F. & Umali-Deininger D., 2008, Market facilities and agricultural marketing: Evidence from Tamil Nadu, India, *Agric. Econ.*, **39**, 281-294.
33. Smith M.D., 2003, On dependency in Double-Hurdle models, *Stat. Pap.*, **44**, 4, 581-595.
34. Stifel D. & Sahn D.E., 2003., Employing alternative measures of welfare in the absence of expenditure data. Review of income and wealth, *Int. Food Policy Res. Inst.*, **49**, 463-489.
35. Strauss D., Bednar L. & Mees R., 1989, Does one percent of forest fires cause ninety-nine percent of the damage?, *For. Sci.*, **35**, 319-328.
36. Tobin J., 1958, Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables, *Econometrica*, **26**, 24-36.
37. Tung D.X. & Costales A., 2007, *Market Participation of Smallholder Poultry Producers in Northern Vietnam*. Pro-Poor Livestock Policy Initiative (PPLPI) Research Report, March 2007, 14.
38. Watling J.R. & Press M.C., 2001, Impacts of infection by parasitic angiosperms on host photosynthesis, *Plant Biol.*, **3**, 244-250.
39. Xu Z., Burke W.J., Jayne T.S. & Govereh J., 2009, Do Input Subsidy Programs Crowd In or Crowd Out Commercial Market Development? Modeling Fertilizer Use Decisions in a Two-Channel Marketing System, *Agric. Econ.*, **40**, 1, 79-94.
40. Zhang X. & Fan S., 2004, How Productive is Infrastructure? A New Approach and Evidence from Rural India, *Am. J. Agric. Econ.*, **86**, 2, 492-501.

B.D. Mignouna, Togolese, PhD, Regional Economist, Institute of Tropical Agriculture, Kano, Nigeria.

T. Abdoulaye, Nigerien, PhD, Outcome/Impact Socio-Economist, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria

A.A. Akinola, Nigerian, PhD, Agricultural Economist, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria

Y.A. Kamara, Sierra-Leonian, PhD, Savannah Systems Agronomist and Station Representative, Kano, International Institute of Tropical Agriculture, Kano, Nigeria.

M. Oluoch, Kenyan, PhD, *Striga* Project Manager, International Institute of Tropical Agriculture, Kano, Nigeria.

Croyances locales et stratégies d'adaptation aux variations climatiques à Korhogo (Côte d'Ivoire)

A.N.N. Boko^{1,2*}, G. Cisse^{3,4}, B. Kone^{2,5} & S.F. Dedy¹

Keywords: Local beliefs- Endogenous strategies of adaptation- Climate variability- Ivory Coast

Résumé

La région de Korhogo en Côte d'Ivoire connaît ces dernières décennies une variabilité du climat qui perturbe les activités agricoles des populations. La présente étude a été conduite de mars 2009 à février 2012 pour identifier les causes perçues par les populations de la variabilité climatique et des changements dans l'environnement, ainsi que leurs stratégies endogènes d'adaptation. Une approche qualitative, basée sur des entretiens semi-directifs, des histoires de vie et des «focus group», a été adoptée pour la collecte des données. La méthode historique et compréhensive a permis de mettre en relation les perceptions et les croyances des populations en rapport avec les stratégies endogènes d'adaptation développées. Les populations perçoivent qu'il y a un allongement de la saison sèche au détriment de la saison pluvieuse, une dégradation avancée de la végétation, l'assèchement de sources d'approvisionnement en eau (rivières, marigots et puits) et la disparition de certains animaux comme l'éléphant et l'hyène, ainsi que certaines espèces végétales utilisées par les artisans sculpteurs et par des tradipraticiens. L'étude révèle également que les stratégies d'adaptation des populations reposent principalement sur les croyances et les savoirs locaux traditionnels, qui constituent autant une barrière qu'une opportunité pour l'adaptation aux variabilités climatiques. Cet article apporte de nouveaux éclairages sur l'importance de prendre en compte les savoirs locaux pour développer des stratégies d'adaptation efficaces.

Summary

Local Beliefs and Strategies of Adaptation to Climate Change in Korhogo (Ivory Coast)

Over the last decades, the area of Korhogo, Ivory Coast, has experienced climatic variations that disturbed populations' agricultural activities. This study was conducted from March 2009 to February 2012 in order to identify the causes perceptible by the populations of the climate variability and environmental change, and their endogenous strategies of adaptation. A qualitative approach based on semi-structured interviews, life stories and focus group discussions has been used for data collection. The historical and comprehensive method enabled to establish a relationship between populations' perceptions and beliefs and their endogenous strategies of adaptation. The populations notice an extension of the dry season at the expenses of the rainy season, advanced deterioration of vegetation, of the drying up of the sources of water supply (rivers, backwaters and wells), and disappearance of some wild animals like elephant and hyena and of some plant species used by sculptors and traditional healers. The survey also shows that populations' adaptation strategies are mainly based on local traditional beliefs and knowledge which are at the same time a barrier and an opportunity for the adaptation to climate variability. This article shows the importance of taking into account local knowledge in order to develop efficient adaptation strategies.

¹Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire.

²Centre Suisse de Recherches Scientifiques, Abidjan, Côte d'Ivoire.

³Institut Tropical et de Santé Publique Suisse, Department of Epidemiology and Public Health, Ecosystem Health Sciences Unit, Basel, Switzerland.

³Université de Korhogo, Côte d'Ivoire; Centre Suisse de Recherches Scientifiques, Abidjan, Côte d'Ivoire.

⁴Université de Bâle, Bâle, Suisse.

⁵Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant: E mail: juchriel@yahoo.fr

Reçu le 04.07.13 et accepté pour publication le 11.05.15

Introduction

L'adaptation ⁵aux variabilités climatiques ⁶est une question essentielle en Afrique en général et en Afrique Subsaharienne en particulier (1, 14, 15).

Sur 28 pays exposés à un «risque extrême» par suite du réchauffement climatique, 22 sont en Afrique subsaharienne (5). Compte tenu de la spécificité culturelle de chaque région et zone d'étude, il est opportun d'interroger les stratégies endogènes d'adaptation pour prendre en compte les forces et les faiblesses des réactions de la population face au phénomène.

Aussi, associer les Connaissances Environnementales Traditionnelles (CET) des populations locales, constitue-t-il une autre source de savoirs non négligeables et complémentaires à la science occidentale analytique (3). En d'autres termes, il s'agit de montrer comment les croyances, les valeurs, les pratiques ainsi que les techniques et les habitudes culturelles influencent les comportements des individus et des groupes sociaux qui affrontent les défis posés par les effets de la variabilité climatique (8). Par ailleurs, dans un contexte où l'on manque de données quantitatives mesurées sur les évolutions climatiques récentes, interroger la population locale sur ses observations et son vécu des différentes variations climatiques et changements dans l'environnement, peut permettre de qualifier lesdits phénomènes sur la base des savoirs traditionnels.

La Côte d'Ivoire est durement affectée par les variabilités climatiques qui se traduisent par une diminution des précipitations de 0,5% par an en moyenne entre 1965 et 1980, aggravée dans les années 1980 avec une diminution de 4,6% (7).

La zone de Korhogo, au Nord de la Côte d'Ivoire, a connu des événements climatiques extrêmes entre 2000 et 2010, notamment une sécheresse en 2004-2005 avec l'assèchement des points d'eau (barrage, rivières, puits, etc.) et une inondation en 2006-2007. Ce processus de changements environnementaux, avec des événements extrêmes, affectent la vie et les activités économiques et culturelles des populations locales. Pour faire face à cet ensemble de perturbations, au niveau local, les populations ont recours à un certain nombre de stratégies.

La présente étude s'est intéressée particulièrement aux savoirs locaux dans les stratégies endogènes d'adaptation contre les variabilités climatiques et les changements dans l'environnement. Elle a pour objectifs de: 1) décrire les causes perçues du phénomène par les populations; 2) analyser les stratégies endogènes d'adaptation mises en place par celles-ci et enfin; 3) proposer des mesures de renforcement de la capacité de ces dernières à faire face à ces perturbations.

Méthodologie

Zone d'étude

L'étude a été effectuée à Korhogo, ville située au Nord de la Côte d'Ivoire avec environ 212.546 habitants. La végétation est constituée de savane (herbeuse, arbustive ou arborée) et de forêts (galeries claires). La population, principalement Sénoufos et Malinkés (Dioulas), vit essentiellement de l'agriculture. Le département de Korhogo est marqué par une alternance de deux saisons: (i) la saison sèche, qui s'étend de novembre à avril et; (ii) la saison des pluies, qui s'étend de mai à octobre. Les températures moyennes varient entre 24° et 33 °C. La moyenne pluviométrique annuelle se situe entre 1.100 et 1.600 mm. La zone d'étude est représentée par la figure 1.

⁵"Adaptation: Correspond dans ce contexte aux réactions ou réponses des populations face aux changements environnementaux et aux effets de la variabilité comme du changement climatique car, il est difficile de faire la distinction entre les risques naturels inhérents à la variabilité climatique actuelle et ceux spécifiquement liés au Changement Climatique (12).

⁶"Le choix du mot variabilité climatique répond aux données de l'étude basées sur les événements climatiques observés et vécus dans la zone. Les variations décrites n'ont pas été mesurées sur une période généralement admise d'au moins 30 ans pour parler de changement climatique.

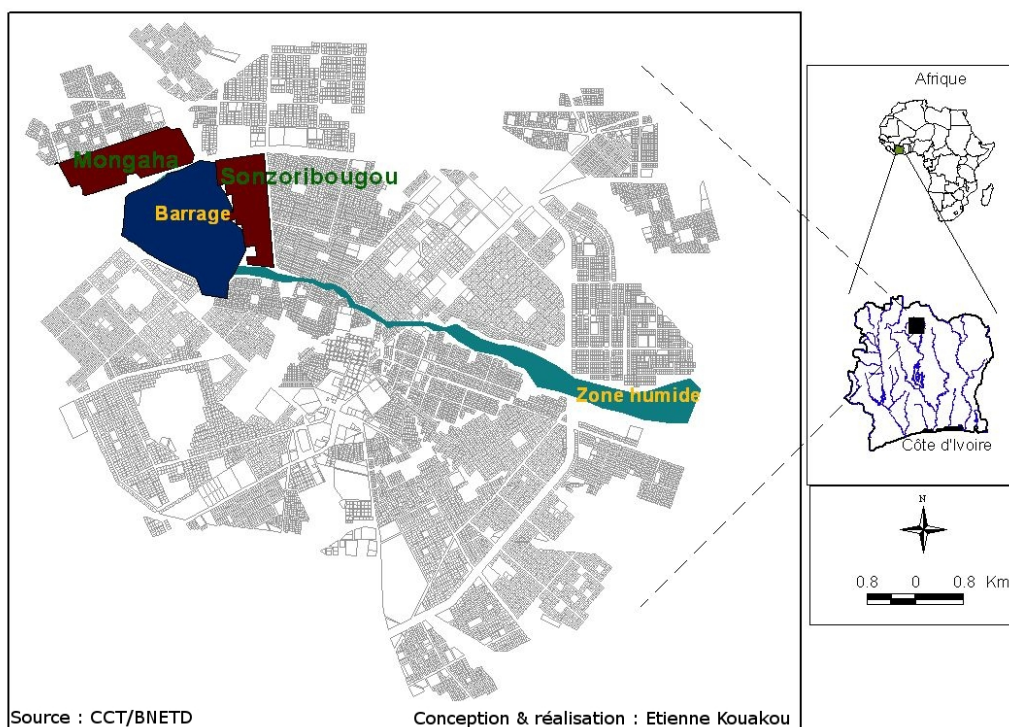


Figure 1: Zone d'étude.

Collecte des données

Les données ont été collectées entre mars 2009 et décembre 2011. Une approche qualitative a été adoptée dans le cadre de cette étude avec différents outils de collecte des données: entretiens semi-directifs, histoires de vies, discussions de groupes focaux.

Entretiens semi-directifs

Vingt-six entretiens semi-directifs avec les chefs (de village, de terre, de canton et des bois sacrés); des directions de structures privées et de l'Etat (SODECI "7", Hydraulique Humaine, ANADER "8", Ministère de l'agriculture, de la production animale et des eaux et forêts); des représentants des ONG "9" locales et internationales (ARK "10", PNUD "11", CARE International).

Histoires de vie

Dix-huit histoires de vie ont été réalisées avec des agriculteurs, chasseurs, tradipraticiens, pêcheurs, éleveurs, faiseurs de pluie. Ils ont été choisis en fonction de leur âge (>60 ans).

Discussions des groupes focaux

Douze «focus group», de dix personnes en moyenne, ont été conduits avec des personnes adultes non-instruites (hommes et femmes), des adultes instruits, des jeunes et des groupements de femmes travaillant dans les cultures maraîchères. Les données collectées ont porté en général sur: l'environnement socio-culturel et politique du peuple Sénoufo, les changements dans l'environnement naturel, les causes, stratégies d'adaptation et les CET.

"7" SODECI: Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire

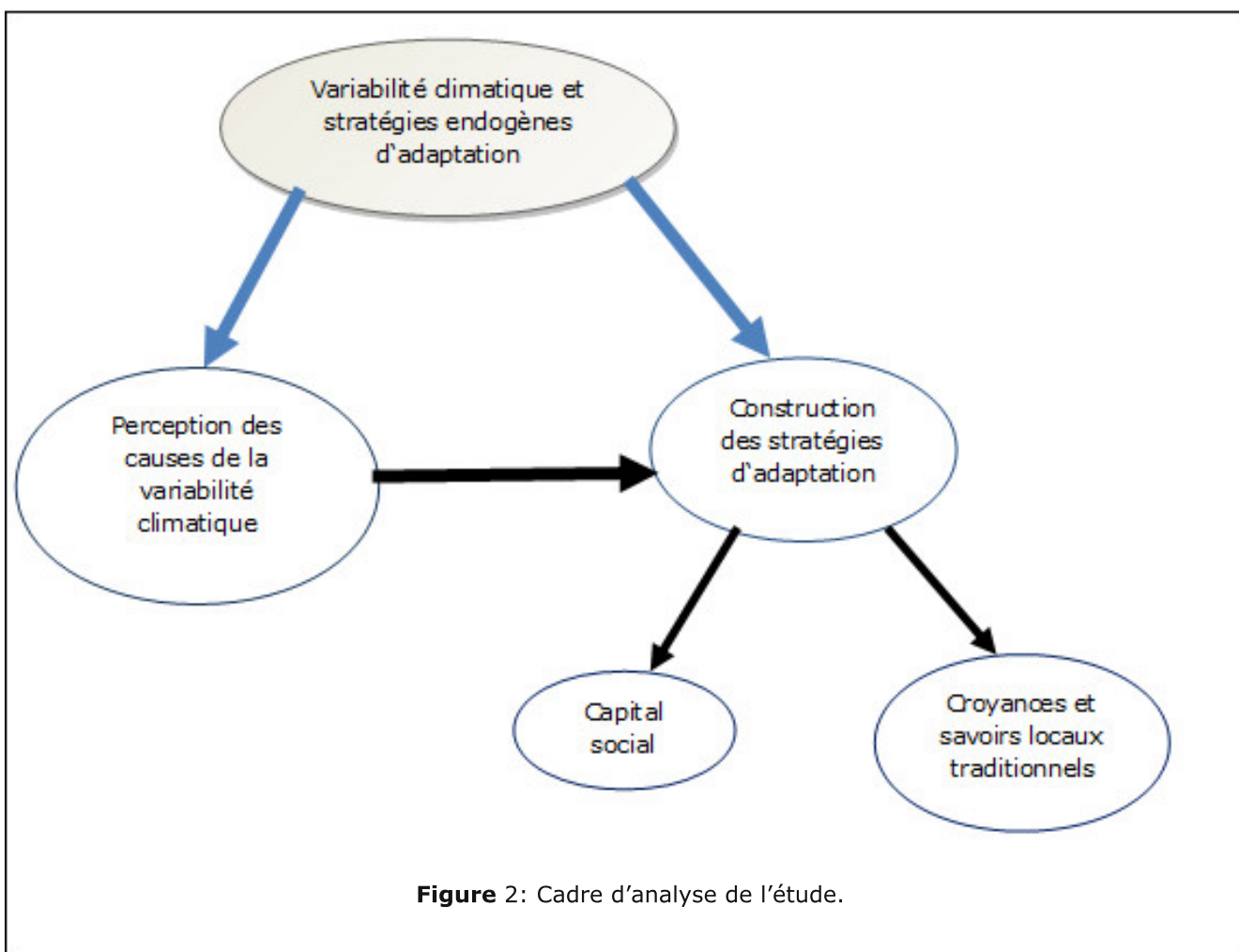
"8" ANADER: Agence Nationale d'Appui au Développement Rural

"9" ONG: Organisation Non Gouvernementale

"10" ARK: Animation Rurale de Korhogo

"11" PNUD: Programme des Nations Unies pour le Développement

"12" Stratégie d'adaptation: Manière de planifier et de mettre en œuvre l'adaptation.



Cadre d'analyse de l'étude

Notre étude de la variabilité climatique et des stratégies endogènes d'adaptation a pris l'option: (i) de connaître les causes attribuées par les populations au phénomène (perceptions) et (ii) d'identifier le processus de construction des stratégies endogènes d'adaptation. Ce qui explique la relation du thème central aux deux items, matérialisé par les flèches bleues.

Les flèches noires par contre montrent que le processus de construction des stratégies endogènes d'adaptation, part des perceptions et s'appuie sur le capital social et les croyances (Figure 2).

Traitement et analyse des données

Le traitement des données obéit à plusieurs étapes. Les informations ont été d'abord enregistrées avec un dictaphone puis transcrites sur Word. Ensuite, le logiciel MAXQDA a été utilisé pour le traitement des données (structuration et catégorisation au niveau des réponses) afin de faciliter la lecture et mieux synthétiser les données pour les analyser. Concernant l'analyse des données, les méthodes historique et compréhensive ont été utilisées. A travers le recoupement des données renseignées, la première a permis de suivre l'évolution des phénomènes et de noter les changements opérés dans le temps et dans l'espace. En ce qui concerne la seconde méthode, les croyances, les valeurs et les perceptions des populations ont constitué un ensemble significatif pour la compréhension et l'analyse des stratégies.

Résultats

Causes perçues des variabilités climatiques à Korhogo

L'analyse des résultats dévoile deux types de causes: les causes liées aux activités anthropiques et les causes métaphysiques.

Les causes liées aux activités anthropiques

Les actions de l'homme ont été citées par 164 personnes interrogées, aussi bien dans les entretiens que dans les focus group. Ces causes sont: la politique agricole de la Côte d'Ivoire des années 1970; l'avènement de l'agriculture cotonnière, du sucre et de l'anacarde; l'évolution des techniques culturales; l'exploitation anarchique de la forêt; l'utilisation du bois de chauffe et le développement du commerce du charbon de bois; l'augmentation de la population; l'utilisation abusive des herbicides; les feux de brousse; l'agriculture itinérante sur brûlis et l'élevage à travers les bœufs de transhumance.

Les causes mystiques ou métaphysiques

Concernant ces causes, seul le groupe des intellectuels, composé des directeurs régionaux, ONG et autres (vingt personnes), n'a pas évoqué et soutenu la thèse métaphysique. Pour les cent quarante-quatre autres personnes, les causes de la variabilité climatique se résument au non-respect: des pratiques coutumières, des fétiches, des totems (faire l'amour dans la brousse, commettre des crimes de sang) et des interdits liés à la nature. Aussi, la non fréquentation des lieux d'adoration; le manque de coordination des rituels et sacrifices expiatoires aux génies de la terre; la multiplicité des religions, la dégradation des valeurs traditionnelles et enfin, le bouleversement des règles de la société (non-respect des personnes âgées, libéralisation du travail de la terre), ont provoqué la colère des dieux qui se manifeste par l'arrêt des pluies.

Face donc à cette réalité, les populations vont développer plusieurs stratégies.

La construction des stratégies endogènes d'adaptation

Cette construction repose sur les données issues de l'enquête. Les stratégies notées sont de trois ordres: celles guidées par l'instinct de survie, celles conseillées et enfin celles basées sur les croyances.

Les stratégies guidées par l'instinct de survie

Ce sont celles développées instinctivement par les populations. Cette stratégie n'est ni planifiée, ni basée sur une quelconque connaissance du phénomène. Elle obéit tout simplement à un instinct et au besoin de survie qui est de l'ordre naturel. Stratégie traduite par ce proverbe Sénoufo qui dit: «quand le tam-tam change, les pas aussi changent». Au nombre de ces stratégies, il y a: la migration «climatique» et l'exode rural; la reconversion des populations et le développement de certains secteurs d'activités (commerce, élevage; production de charbon de bois, vente de bois de chauffe et casse de pierres). Les chasseurs traditionnels «Dozo», reconvertis en agents de sécurité, l'abandon systématique de cultures exigeantes en eau et la modification du régime alimentaire. S'ajoutent: le développement de l'agriculture urbaine; l'utilisation massive de l'engrais; la ruée vers les cultures dites pérennes (coton, la mangue, et l'anacarde); le renoncement à l'activité ou l'abandon des parcelles cultivées (une forme de résignation alimentée par le sentiment d'impuissance face au phénomène).

En définitive, les populations regardent autour d'elles et copient les réactions en chaînes relatives à la situation communément vécue.

Les stratégies d'adaptation conseillées

Celles-ci sont des propositions techniques élaborées et/ou proposées par des scientifiques (chercheurs), des techniciens et professionnels (ONGs, structures d'encadrement en agriculture), basées sur une connaissance des causes et conséquences du phénomène.

Elles sont relatives à l'abandon des cultures à cycle long comme l'igname, la patate douce traditionnelle (très sucrée), le riz local, le maïs traditionnel appelé «Karosaba», au profit de nouvelles variétés à cycle court plus adaptées (intégration du manioc); à la pratique des cultures de contre saison, à l'utilisation de matériel végétal amélioré, à l'aide à la reconversion de la population vers des activités génératrices de revenus, au développement de la culture maraîchère et à la création de magasins à céréales. Stratégies pas toujours suivies car crise de confiance entre agriculteurs et agents conseillés du fait des prévisions météorologiques pas toujours exactes.

Les stratégies liées aux croyances

Elles sont guidées par les causes métaphysiques attribuées au phénomène. Ici, les populations font des consultations auprès des «Fodonons» ou faiseurs de pluie (sous-groupe Senoufo réputé maîtriser la pluie). Elles font également appel aux marabouts ou charlatans pour des sacrifices en direction des ancêtres, des esprits des génies et des dieux protecteurs; des prières sont organisées dans les mosquées et églises pour demander la clémence de Dieu et autoriser le retour des pluies.

En somme, les stratégies développées par les populations, reposent sur deux piliers fondamentaux: le capital social des enquêtés (apports des ONG et techniciens, des médias, coopératives et réseaux sociaux) et les pratiques occultes liées aux croyances.

Discussion

A l'analyse, la question fondamentale que l'on se pose est la suivante: est-il juste d'attribuer des causes métaphysiques à la variabilité climatique et faire appel à des charlatans, marabouts et faiseurs de pluie si tant est qu'il est possible d'identifier un lien de cause à effet entre l'action humaine et les procédés actuels de la variabilité climatique COMEST (4)? Cette adaptation n'est-elle pas par ignorance et ne révèle-t-elle pas une connaissance limitée et confuse du phénomène (16)? Par contre, certains interdits et croyances liés aux stratégies de gestion des ressources naturelles développées par les ancêtres, mettent en évidence la richesse des savoirs locaux et des CET.

En effet, à Korhogo, une analyse des explications explicites ou métaphysiques des interdits liés à la terre, aux cours d'eau, aux espaces boisés non sacrés, à la coupure de certaines espèces d'arbres et enfin aux «bois sacrés» (sites d'adoration, sièges ou lieux d'habitation des génies, et des esprits du village, etc.) d'une part et, implicites (valeurs thérapeutiques, alimentaires ou culinaires, socio-économiques, socio-culturelles ou même politiques) d'autre part, a révélé une volonté réelle pour les ancêtres, de conserver la biodiversité. Par exemple, à travers les interdictions liées à des espaces boisés non sacrés et certains arbres comme le «Néré» ou le «Karité»; il s'agissait tout simplement de sauvegarder des pans de forêts qui ne seront pas

utilisés et détruits par la population et d'une pratique traditionnelle de l'agroforesterie pour protéger des espèces aux innombrables vertus: essences pour pratiques mystiques, industrie agroalimentaire et pharmaceutique (2). Memel-Fote (13) cité par Gadou (6) dira qu'au-delà de leur fonction symbolique, les stratégies rituelles ont eu comme effet, le renforcement de la cohésion sociétale et la sauvegarde du milieu environnemental. Cette idée est soutenue dans plusieurs études (2, 9, 10, 11). C'est pourquoi, ces pratiques ancestrales d'interdiction sont à considérer comme une opportunité à saisir dans les moyens de lutte contre les changements climatiques via la variabilité climatique et les changements dans l'environnement. L'on pourrait, dès lors, puiser dans ces stratégies de protection de la biodiversité, pour en faire des stratégies d'adaptation aux changements climatiques.

Conclusion

Il ressort de cette étude que la variabilité climatique est une réalité perçue et vécue dans la zone de Korhogo. Mais, la complexité du phénomène des changements climatiques, ne permet pas une complète maîtrise de celui-ci en terme d'adaptation par les populations.

Les causes identifiées montrent clairement que les populations ont une connaissance partielle du phénomène. Cette connaissance est à l'image des stratégies mises en place pour y faire face. Ainsi, les principaux défis dans cette zone sont principalement:

- l'acceptation par les communautés des propositions des structures étatiques et des ONG;
- différencier les croyances des CET (comme l'agroforesterie), qui peuvent certainement contribuer à la résolution des problèmes et, constituer une réelle opportunité pour l'adaptation aux effets des variabilités climatiques.

Les principales recommandations sont les suivantes:

- Communiquer suffisamment sur la variabilité et le changement climatique, les causes et les conséquences pour une meilleure connaissance desdits phénomènes;

- Promouvoir une éducation environnementale de la population en vue d'un renforcement de la conscience écologique;
- Mener des actions concrètes de sensibilisation pour le reboisement de la zone;
- Encourager les populations à diversifier leurs activités en privilégiant les activités génératrices de revenus;
- Visiter ou revisiter les stratégies traditionnelles

de conservation et de protection de l'environnement, relatives aux savoirs locaux et aux pratiques culturelles de sauvegarde de l'environnement.

Ces options devraient permettre d'identifier de nouvelles stratégies d'adaptation acceptées par les populations, vu que celles-ci reposeront sur leurs croyances.

Références bibliographiques

1. ADF VII, 2010, *Changements climatiques et développement durable en Afrique: Vue d'ensemble*, Centre de conférences des Nations Unies. Addis-Abeba (Éthiopie).
2. Butare I., 2003, Pratiques culturelles, la sauvegarde et la conservation de la biodiversité en Afrique de l'Ouest et du Centre. Actes du Séminaire-Atelier de Ouagadougou (Burkina Faso), du 18 au 21 juin 2003. CRDI, Zoom Editions. Dossier n°: 100657; 251.
3. Chouinard O., Plante S., & Martin G., 2006, Engagement des communautés face au changement climatique: une expérience de gestion intégrée à LE Goulet et Pointe du Chêne au Nouveau-Brunswick, *Vertigo*, 7, 3, 1-10
4. Commission Mondiale d'Éthique des Connaissances Scientifiques et des Technologies (COMEST), 2009. Rapport sur les implications éthiques du changement climatique global, Paris, 29.
5. Doucet D., 2010, Le changement climatique: un défi partagé pour l'Afrique et le monde? *Géopolitique africaine*, 36, 121-146
6. Gadou D., 2001. La préservation de la biodiversité: les réponses de la tradition religieuse africaine, *Afr. Anthropol.*, 8, 2, 178-199.
7. Halle B., & Bruzon V., 2006, *Profil Environnemental de la Côte d'Ivoire*. Commission Européenne, Consortium AGRIFOR Consult, Rapport final, 133.
8. Heyd T., 2008, *Réponses culturelles aux changements rapides de la nature*, Colloque Vulnérabilités sociétales, risques et environnement. Toulouse.
9. Kokou K., 1998, Gestion d'Ilots de forêts naturelles par les collectivités villageoises au Togo. *Flamboyant*, 45, 47-52.
10. Kokou K., Caballé G., Akpagana K., & Batawila K., 1999, Les Ilots forestiers au sud du Togo: dynamique et relations avec les végétations périphériques. *Ecol. Terre Vie*, 54, 301-313.
11. Kokou K., Batawila K., Akoègninou A. & Akpagana K., 2000, Analyse morpho-structurale et diversité floristique des hots de forêts protégés dans la plaine côtière du sud du Togo, *Etudes For. Vég. Burkina Faso*, 5, 33-48.
12. Memel-Fôte H., 1999, Essais sur l'homme et l'environnement en Afrique nubienne. *Bull. GIDII-CI*, 17, 37- 45.
13. Niasse M., 2007, *Éléments de stratégie régionale d'adaptation au changement climatique basée sur l'approche de partage des risques, Afrique de l'ouest*, Programme Adaptation au Changement Climatique en Afrique, 62.
14. Niasse M., Afouda A., & Amani A., 2004, *Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification : Éléments de stratégie régionale de préparation et d'adaptation*. Union mondiale pour la nature (UICN)
15. Patchen M., 2006, *Public attitudes and behaviors about climate change*. In *Purdue Climate Change Research Center. Publications*, [En ligne]. <http://www.purdue.edu/climate/pdf/Patchen%20OOP0601.pdf> (Page consultée le 16 mars 2011).

A.N.N. Boko, Ivoirienne, Doctorante, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire.

G. Cissé, Mauritanien, PhD, Professeur, Institut Tropical et de Santé Publique Suisse, Depart. Epidem. Public Health, Basel, Switzerland.

B. Koné, Ivoirien, PhD, Maître-assistant, Université de Korhogo, Korhogo, Côte d'Ivoire.

S.F. Déby, Ivoirien, PhD, Professeur, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire.

Effet de l'application d'engrais minéral complet NPK et de biochar sur les performances de la culture pure du manioc et de l'association manioc - maïs dans les conditions du plateau des Batéké en République Démocratique du Congo (RDC)

B. Lele^{1,2}, J. Lejoly^{2,3} & C. Kachaka¹

Keywords: Mineral fertilizer- Biochar- sandy soil- Association cassava-maize- D.R. Congo

Résumé

Dans le but de mettre au point un système de culture durable adapté aux conditions du plateau des Batéké, un essai préliminaire a été réalisé entre janvier 2012 et mars 2013 au niveau du domaine agro-forestier d'Ibi sur ouverture d'une jachère de 10 ans (dont les trois dernières années sans destruction du couvert végétal par les feux de brousse) dans un sol sableux selon un dispositif en blocs aléatoires complets avec 4 répétitions. Cinq objets ont été comparés: la culture pure du manioc (variété Maribuata) avec et sans application de 40 kg N, 40 kg P₂O₅ et 40 kg K₂O ha⁻¹, la culture associée du manioc et du maïs (variété Samaru) avec et sans application de 40 kg N, 40 kg P₂O₅ et 40 kg K₂O ha⁻¹, et la culture associée du manioc et du maïs, avec application de 40 kg N, 40 kg P₂O₅, 40 kg K₂O ha⁻¹ et de 15 tonnes ha⁻¹ de biochar. Les résultats obtenus montrent que dans les conditions édapho-climatiques de l'essai, l'installation simultanée du manioc et du maïs en début de petite saison des pluies permet d'obtenir une valeur ajoutée brute nettement supérieure à celle de la culture pure du manioc. L'application de la dose d'engrais minéral testée n'améliore pratiquement pas la valeur ajoutée brute du manioc cultivé en pur et profite principalement au maïs quand il est associé au manioc en l'absence d'application de biochar. L'application combinée d'engrais minéral et de biochar permet de quasiment doubler les quantités de manioc et tripler celles de maïs récoltées par ha par rapport au témoin ne recevant pas d'intrants. Le bénéfice brut généré par l'association manioc-maïs avec apport d'engrais minéral et de biochar est environ deux fois plus important qu'en cas d'absence d'application

Summary

Effect of the Application of Complete NPK Mineral Fertilizer and Biochar on the Performance of Cassava Sole Cropping and Cassava-Maize Intercropping in the Conditions of the Batéké Plateau in the Democratic Republic of Congo (DRC)

In order to develop a sustainable farming system adapted to the conditions of the Batéké plateau, a preliminary trial was conducted between January 2012 and March 2013 at the Ibi agro-forestry domain after a fallow of 10 years (the last three years without destruction of the vegetation by bush fires) in sandy soil according to a randomized complete block design with four replications. Five treatments were compared: the cassava sole cropping (Maribuata variety) with and without application of 40 kg N, 40 kg P₂O₅ and 40 kg K₂O ha⁻¹, cassava and maize (Samaru variety) intercropping with and without application of 40 kg N, 40 kg P₂O₅ and 40 kg K₂O ha⁻¹, and cassava and maize intercropping with application of 40 kg N, 40 kg P₂O₅, 40 kg K₂O ha⁻¹ and 15 t ha⁻¹ of biochar. The results show that in the edaphic and climatic conditions of the test, the simultaneous installation of cassava and maize at the start of short rains provides a gross added value significantly higher than that of cassava sole cropping. The application of mineral fertilizers hardly improves the gross value added for cassava sole cropping while they however benefits to maize when it is associated with cassava in absence of biochar application. The combined application of mineral fertilizer and biochar make it possible to almost double cassava yield and triple the one of maize compared to the

¹Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles Kinshasa, R.D. Congo.

²Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, R.D. Congo.

³Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique; ONG Groupe d'Initiatives pour l'Agroforesterie en Afrique, Kinshasa, R.D. Congo.

*Auteur correspondant: E Mail: lelebonaventure72@yahoo.fr

Reçu le 05.11.13 et accepté pour publication le 21.05.15

d'intrants. L'application combinée de biochar et d'engrais minéral s'est traduite par une augmentation importante du pH. Ce qui a dû s'accompagner par une meilleure disponibilité du phosphore, du calcium et du magnésium présents dans le sol.

no-input control. Gross profit generated by the combination of cassava and maize with mineral fertilizers and biochar application is about twice higher than what is obtained for the control. The combined application of biochar and mineral fertilizer resulted in a significant increase in pH. This should have been accompanied by improved availability of Phosphorus, Calcium and Magnesium in the soil.

Introduction

L'agriculture en RDC constitue un secteur important de l'économie nationale. Elle contribue à 50% au PIB et occupe 70% de la population active (14). Cependant, elle est confrontée à de nombreuses difficultés pour assurer la sécurité alimentaire de la population (12). C'est le cas au plateau des Batéké où l'activité agricole est soumise aux nombreuses contraintes liées aux sols et au système agricole (9). Les sols du plateau de Batéké sont acides et caractérisés pour la plupart par: une texture sableuse (moins de 6% d'argile), une structure particulière, une faible teneur en éléments nutritifs, une très faible rétention de l'eau et des éléments minéraux, un blocage du phosphore dû à l'acidité. Ces caractéristiques défavorables font qu'ils ne peuvent soutenir de manière durable la production agricole (8, 9). En plus, les paysans y pratiquent une agriculture itinérante sur brûlis qui a pour conséquences la perte rapide de la fertilité, de l'activité biologique ainsi que l'érosion du sol (3, 22, 23). A la longue, les processus pédogénétiques naturels couplés aux facteurs anthropiques aboutissent à des sols fortement dégradés et très acides (20). Ces sols présentent des contraintes chimiques et biologiques liées à l'acidité, à la toxicité aluminique, à une forte capacité de rétention du phosphore (P), à une forte désaturation en cations échangeables (Ca, Mg, K, Na) qui se traduisent par la réduction drastique de la production agricole (20, 21). Malgré l'utilisation des fertilisants minéraux, le rendement des principales cultures reste faible à cause du lessivage intense des éléments minéraux. Ainsi, la mise en valeur de ces sols exigeraient des amendements, organiques ou calcaire, pour améliorer leurs propriétés

physiques et rentabiliser l'utilisation des fertilisants (15, 25). Cependant, l'indisponibilité de la matière organique en quantité suffisante et le coût élevé de la chaux oblige à explorer d'autres pistes pour gérer durablement la fertilité du sol. Sur base des résultats obtenus dans d'autres parties du monde, l'incorporation au sol de biochar (charbon de bois broyé) constitue une alternative prometteuse (5, 7, 32). C'est, en effet, avec le biochar que les Amérindiens d'Amazonie ont créé la terra preta (sols noirs très fertiles). Des travaux récents ont montré qu'il présente aussi un intérêt contre le réchauffement climatique en conservant le carbone dans le sol et en luttant contre la déforestation en sédentarisant l'agriculture (1, 10, 11, 16, 29, 30, 31). Par ailleurs, au plateau des Batéké, le manioc suivi du maïs constituent les principales sources d'aliments et de revenus. Le manioc est habituellement planté en culture pure sur ouverture d'une longue jachère ou associé à l'arachide et quelques rares fois au maïs. Dans les conditions d'association, sur un sol pauvre et acide, on constate une très faible fixation symbiotique de l'azote atmosphérique pour l'arachide qui donne des rendements très faibles (8). Ces contraintes nous ont conduits à tester les performances de l'association manioc-maïs avec installation simultanée de deux composantes, en considérant différentes modalités de fertilisation minérale et d'amendement du sol au moyen de biochar. Semer le maïs au même moment que la plantation du manioc offre l'avantage de maximiser l'assimilation de l'engrais minéral par les cultures associées et permet de raccourcir le délai préalable à la réalisation d'une première récolte de denrée alimentaire dans le champ.

Compte tenu des caractéristiques des sols du plateau des Batéké, l'ajout de biochar devrait être particulièrement favorable à l'amélioration durable de leur fertilité. Les résultats d'un essai préliminaires visant à tester ces différents facteurs sont présentés et discutés ici en vue de mettre au point un système de culture durable adapté aux conditions locales.

Matériel et méthodes

Site expérimental

L'expérience a eu lieu sur le plateau des Batéké au niveau du domaine agro-forestier d'Ibi dans une savane à *Hyparhenia diplandra*. Ce domaine se situe à 140 km à l'Est du centre-ville de Kinshasa. La savane avait connue une jachère de 10 ans dont les trois dernières années sans destruction du couvert végétal par les feux de brousse. Avant cette jachère, le terrain était cultivé avec du manioc. Les coordonnées du site sont 651 m d'altitude, S4°19,886' de latitude et EO16°7,504' de longitude. Le climat est du type AW₄ selon la classification de Köppen. C'est un climat tropical humide comportant une saison sèche de 4 mois qui va de mi-mai à mi-septembre et une saison pluvieuse de 8 mois qui va de mi-septembre à mi-mai. La saison des pluies est entrecoupée d'une petite saison sèche entre mi-janvier et mi-février. Nous avons trois saisons culturales dont la saison A qui va de mi-octobre à mi-janvier, la saison B de mi-février à mi-juin et la saison C de mi-juin à mi-octobre. Habituellement, le manioc est planté soit pendant la saison A soit pendant la saison B. Le choix de la saison B pour l'essai est dû à la disponibilité du terrain. Le cycle des précipitations pendant l'expérience indique une période de sécheresse de juin à août (Tableau 1). Le terrain expérimental se trouve sur une très faible pente. Au démarrage de l'étude, deux échantillons de sol ont été constitués par la méthode d'échantillonnage composite à partir d'échantillons simples prélevés au niveau des horizons A₁ et A₃ du sol, situés respectivement de 0 à 25 cm et de 25 à 100 cm de la surface. Les résultats des analyses réalisées sur ces échantillons au niveau du laboratoire de pédologie du Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K) sont présentés dans le tableau 2.

Le sol contient près de 88% du sable avec une faible teneur en C, N, P et K et une forte acidité qui laisse présager un blocage du Phosphore (8). La CEC est très faible à cause des faibles teneurs en argile et en humus.

Objets comparés

Les objets (traitements) étudiés sont: T₀ (manioc pur sans intrant: témoin), T₁ (manioc+maïs sans intrant), T₂ (manioc+engrais minéral), T₃ (manioc+maïs+engrais minéral) et T₄ (manioc+maïs+engrais minéral+biochar). La dose d'engrais minéral testée dans l'essai est de 40 kg de N, 40 kg de P₂O₅ et de 40 kg de K₂O par ha; ce qui correspond à 235 kg d'engrais composé 17-17-17. Cette dose, basée sur l'élément N, est celle recommandé par Pieter *et al.* (18). La quantité de biochar apportée a été de 15 tonnes par ha. C'est la quantité optimale recommandée pour le sol sableux du plateau de Batéké selon Lejoly (communication personnelle).

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental retenu était en Blocs Complets Randomisés (BCR) avec quatre répétitions de cinq objets. La surface des parcelles expérimentales élémentaires était de 126 m² (14 m de long x 9 m de large). Chacune d'elles contenait 126 pieds de manioc de la variété Maribuata (10.000 pieds/ha, 1 m x 1 m) répartis en 14 lignes dont 2 de bordures et, en cas de culture associée, 351 pieds de maïs de la variété Samaru (30.000 plantes/ha, 1 m x 0,33 m) répartis en 13 lignes. Les lignes de maïs alternaient avec celles de manioc, à une distance de 0,5 m l'une de l'autre.

Conduite expérimentale

L'étude s'est déroulée pendant une année, deux mois et trois jours soit du 2 janvier 2012 au 5 mars 2013. La préparation du terrain a consisté à faire un dessouchage, suivi d'un labour à 30 cm de profondeur sans brûlis préalable de la végétation herbacée puis d'un hersage. Le biochar a été broyé finement, tamisé pour obtenir une dimension moyenne des particules inférieure ou égale à 2 mm et mélangé au sol sur une profondeur de 30 cm à la dose de 15 tonnes/ha.

Tableau 1

Précipitations (PP') et température moyenne journalière (t°) observées pendant l'expérience (février 2012 à mars 2013).

Mois	Fév	Mars	Av	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Total
PP (mm)	47,2	210	118	118	0	0	0	86	111,5	407	204,8	80	74	163	1618.95
t (°C)	25	27	26	25	22	21	22	24	26	25	29	26	26	27	

Tableau 2

Composition granulométrique et chimique du sol expérimental.

Horizon	Argile %	Limon %	Sable %	pH Eau	pH KCl	Carbone (%)	Azote (%)	C/N	K ₂ O (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	P ₂ O ₅ (ppm)	CEC (cmol/kg)
A ₁	5,64	6,85	87,51	4,93	4,73	0,92	0,061	15	0,06	0,91	0,52	30	2,031
A ₃	2,56	8,46	88,89	4,77	4,58	0,82	0,064	12,8	0,04	0,82	0,34	18	2,001

(Laboratoire du CREN-K, 2013).

Le NPK a été appliqué le long des lignes des semis du maïs et de plantation de manioc. La totalité de la dose d'engrais a été appliquée au début de l'essai. Le biochar a été incorporé de manière homogène sur l'ensemble de la parcelle une semaine avant l'installation de cultures. Le semis du maïs a été réalisé à raison de 2 graines par poquet. Le démariage a eu lieu deux semaines après le semis pour laisser un seul pied par poquet. La densité de plantes à la récolte correspondait presque qu'à celle prévue au départ. Les travaux d'entretien ont consisté en 5 sarclages combinés aux binages.

Evaluation des rendements

Pour le maïs, la biomasse aérienne a été séchée à l'air libre pendant 2 jours et les graines pendant 4 jours avant pesée. Le rendement du manioc à 9 mois a été évalué sur une des 12 lignes de la parcelle utile c.à.d. en laissant les 2 lignes de bordures. A 12 mois, le rendement a été évalué sur les 10 lignes restantes de la parcelle utile. Après récolte à 9 et à 12 mois, nous avons pesé tous les tubercules de la parcelle utile. On a ensuite prélevé de manière aléatoire un sous-échantillon de 5 tubercules, dans chaque traitement, que nous avons pesé immédiatement, puis épluché, séché d'abord à l'air libre et puis dans l'étuve à 65 °C pendant 24 heures pour avoir le poids sec. La formule I nous a permis de calculer le rendement en tubercules secs.

$$Rdt M.S. = \frac{P.Tub.Parc.U.x10000xP.SecS.E.}{P.Frais.S.E.xSurf.Parc.U.I}$$

Légende: Rdt M.S.= Rendement en Matière Sèche, *P. Tub. Parc.* U.= Poids tubercules de la parcelle utile, *P. Sec*= Poids Sec, *S.E.*= sous échantillon de 5 tubercules, *P. Frais*= Poids frais, *Surf. Parc. U.*= surface de la parcelle utile

Analyse du sol

Outre les analyses réalisées sur les deux échantillons de sol prélevés au début de l'expérience (Tableau 2), le pH à eau a été évalué au début de l'essai, à 6 et à 12 mois dans des échantillons prélevés à 30 cm de profondeur selon la méthode des diagonales, puis mélangés pour constituer un seul échantillon composite. L'échantillonnage a été effectué seulement dans les objets sous association culturale (T1, T3 et T4). Le comptage et la pesée de la macrofaune ont été réalisés à titre indicatif.

Analyse des données

Les données récoltées ont été soumises à l'analyse de la variance au seuil de probabilité de 5%, à l'aide du logiciel GenStat.

Ensuite, nous avons procédé à un test de comparaisons multiples des moyennes (LSD) pour déceler les différences entre les traitements.

Analyse économique des traitements

Le bénéfice brut généré par chaque traitement a été calculé en faisant la différence entre le revenu attendu de la vente du manioc et du maïs récoltés et les charges effectives de l'agriculteur au plateau des Batéké. Les charges des travaux réalisés par le paysan et de l'achat des boutures de manioc n'ont pas été prises en compte. Les boutures de manioc sont gratuitement obtenues dans les champs ou chez les voisins. Les travaux réalisés par les paysans se rapportent à la préparation du terrain, la plantation du manioc, le semis du maïs, les sarclages et la récolte. Les charges effectives concernent le prix des engrais chimiques (110\$/50kg). Le prix de la production et de l'incorporation du biochar dans le sol est de (53,33\$/tonne). Les semences de maïs se vendent à 5 \$ US le kg, la tonne de maïs à 700 \$US et celle de manioc à 500 \$US à Ibi. Il faut 10 kg de semences de maïs pour un ha.

Le bénéfice brut de chaque traitement a été divisé par le bénéfice brut du témoin pour calculer l'indice d'acceptabilité ($IA = \text{Bénéfice du traitement} / \text{Bénéfice du témoin}$ (6, 14). Si l'IA est égal ou supérieur à 2, la technologie est facilement adoptée. Entre 1,5 et 2, l'adoption est difficile et en-dessous de 1,5 il y a rejet.

Résultats et discussion

Effet des différents traitements sur les rendements du maïs et du manioc

L'analyse de la variance (AV), au seuil de probabilité de 5%, des données sur les rendements en biomasse et en graines sèches de maïs et sur le rendement en tubercules secs de manioc à 9 et à 12 mois a montré des différences significatives entre les traitements (Tableau 3). Le classement des traitements par ordre décroissant de leur effet sur le rendement du maïs est: $T_4 > T_3 > T_1$. Pour le manioc, le classement des traitements par ordre décroissant sur le rendement est: $T_4 > T_2 > T_3 = T_0 > T_1$.

En l'absence de fertilisation minérale, la variété Samaru, bien qu'adaptée aux caractéristiques du milieu, n'a produit que 1,19 t/ha (14).

Ce qui est assez loin des 1,8 tonnes attendues en bonnes conditions de culture. Il est probable que la faible teneur en azote du sol ($<1\%$) (19, 23) n'a pas permis aux plantes de maïs d'exprimer pleinement leurs potentialités, telles que mentionnées par plusieurs auteurs (2, 4, 17, 26, 27). Toutefois, ce rendement (T_1) reste supérieur à celui obtenu dans le milieu paysan en RDC qui varie entre 0,7 et 0,9 t/ha. Le rendement obtenu avec le traitement T_4 prouve qu'avec l'usage des fertilisants minéraux et du biochar, on peut tripler ($T_4 = 3,7$ t/ha) le rendement du maïs cultivé en association avec le manioc. De plus, le rendement obtenu avec le T_4 (3,7 t/ha) est largement supérieur à ceux obtenus dans la plupart des centres de recherche en RDC actuellement (1500 à 2500 kg/ha).

A 9 et à 12 mois, la culture associée du manioc et du maïs avec application de 40 kg N, 40 kg P_2O_5 et 40 kg K_2O ha⁻¹ et de 15 tonnes ha⁻¹ de biochar (T_4) a donné le meilleur rendement en tubercules secs par rapport aux autres traitements. Ceci serait dû à l'amélioration de la capacité de rétention d'eau et des éléments minéraux par le biochar comme le montre aussi Lehmann *et al* (11). Le rendement obtenu avec le manioc associé au maïs sans apport d'intrants ($T_1 = 2,670$ t/ha) montre qu'avec l'usage de 40 kg N, 40 kg P_2O_5 et 40 kg K_2O ha⁻¹ et de 15 tonnes ha⁻¹ de biochar (T_4), on peut doubler le rendement en tubercules secs de manioc en culture associée avec le maïs ($T_7 = 5,783$ t/ha).

Effet du biochar sur quelques propriétés du sol

On constate une augmentation du pH pour tous les traitements comparés (Tableau 4). Cependant, l'analyse de la variance, au seuil de probabilité de 5%, des données concernant l'évolution du pH du début jusqu'au 12^e mois de l'essai n'a pas montré des différences significatives pour les traitements T_1 (manioc+maïs sans intrant) et T_3 (manioc+maïs+engrais minéral). Par contre, des différences significatives ont été notées, entre le pH du début et ceux mesurés à 6 et à 12 mois pour le traitement T_4 (manioc+maïs+engrais minéral+biochar). Ainsi, le biochar a joué un rôle significatif dans l'augmentation du pH du sol (Tableau 4). Le pH du sol amendé au biochar atteint une valeur proche de la neutralité après 12 mois (Tableau 4).

Tableau 3
Performances des systèmes de culture comparé

Traitement	Facteurs			Rendement du maïs		Rendement du manioc	
	NPK 17-17-17	Culture associée	Amendement	En biomasse en t/ha	En graines en t/ha	A 9 mois en t/ha	A 12 mois en t/ha
T ₀						1,486(0,183)c	3,335(0,225)c
T ₁		Maïs		2,08(0,238)c	1,19(0,216)c	1,214(0,149)c	2,670(0,348)d
T ₂	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀					2,435(0,148)a	4,706(0,204)b
T ₃	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	Maïs		3,76(0,265)b	2,08(0,330)b	1,883(0,208)b	3,271(0,207)c
T ₄	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	Maïs	Biochar	7,14(0,160)a	3,70(0,182)a	2,694(0,153)a	5,783(0,310)a
SP				0,05	0,05	0,05	0,05
P-value				0	0	0	0
CV				5,23	10,8	8,77	6,73

Légende: SP= seuil de probabilité

Tableau 4
Evolution du pH pendant l'essai.

Période d'évaluation	pH eau		
	SNF(T ₁)	SF(T ₃)	SFA(T ₄)
Au début	4,93(0,241)	4,94(0,181)	4,93(0,190)b
A 6 mois	4,95(0,247)	5,11(0,190)	5,62(0,213)a
A 12 mois	5,00(0,193)	5,20(0,282)	6,19(0,347)a
SP	0,05	0,05	0,05
P-value	0,93	0,41	0,003
CV	4,61	4,38	4,66

SNF= Sol non fertilisé (T₁), SF= Sol fertilisé avec le NPK (T₃), SFA= Sol fertilisé avec le NPK et amendé avec le biochar (T₄), Chiffre ()= Ecart type.

NB: Les moyennes non suivies de lettres et les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas différentes au seuil de probabilité de 0,05.

Tableau 5
Analyse économique des traitements.

Traitement	Coût du NPK (\$/-ha)	Coût de biochar (\$/ha)	Coût de semences du maïs	Rdt maïs (tonne/ha)	Rdt manioc (tonne/ha)	Revenu brut maïs (\$/ha)	Revenu brut manioc (\$/ha)	Bénéfice brut (\$/ha)	IA
T ₀	0	0	0	0	3,335		1668	1668	
T ₁	0	0	50	1,19	2,67	833	1335	2118	1,27
T ₂	518	0	0	0	4,706		2353	1835	1,1
T ₃	518	0	50	2,08	3,271	1456	1636	2524	1,51
T ₄	518	800	50	3,7	5,783	2590	2892	4114	2,47

Légende: T₀ (manioc), T₁ (manioc+maïs), T₂ [manioc+ (N₄₀ P₄₀ K₄₀)], T₃ [manioc+maïs+ (N₄₀ P₄₀ K₄₀)], T₄ [manioc+maïs+ (N₄₀ P₄₀ K₄₀) +biochar]. Rdt: Rendement, IA= Indice d'acceptabilité.

Le changement significatif du pH dans le sol amendé avec le biochar devrait avoir des effets sur la disponibilité du Phosphore car, dans les sols tropicaux, ce dernier est bloqué pour des pH inférieurs à 6 et il est disponible pour le pH compris entre 6 et 8 (32). C'est le cas aussi avec les cations du sol tels que le calcium et le magnésium. Nous avons également observé une forte abondance spécifique et numérique de la microfaune du sol dans le sol fertilisé et amendé au biochar (T_4) (données non montrées). Ceci confirme les résultats obtenus par Lehmann *et al.* (11) et Major *et al.* (13) qui montraient que le biochar améliorait le rendement de la culture de l'aubergine dans un sol tropical acide en diminuant le taux d'aluminium bio-disponible et en réduisant l'acidité du sol. Aussi, selon Steiner (24), une disponibilité suffisante en carbone, apportée par le biochar, stimulerait l'activité biologique du sol tout en améliorant le cycle de l'Azote, grâce à une moindre lixiviation des nitrates (13, 24, 28, 32). Ainsi, avec l'apport du biochar, on a augmenté le rendement du maïs de 78% et celui du manioc de 77% (comparaison entre T_4 et T_3). Au regard de la texture du sol, l'augmentation de ces rendements pourrait également être due à l'accroissement du pouvoir de rétention de l'eau et des éléments minéraux causée par le biochar.

Analyse économique des différents traitements

Si on considère les résultats obtenus pour l'indice d'acceptabilité, le traitement T_4 ($IA= 2,47$) devrait être adopté relativement facilement par les agriculteurs pour peu qu'ils aient accès aux intrants nécessaires (Tableau 5). Pour la même dose des fertilisants utilisés, le manioc pur a produit plus des tubercules que le manioc associé au maïs (comparaison entre T_0 et T_1 et T_2 et T_3). Toutefois, tenant compte du bénéfice qu'on peut obtenir par unité de surface, il est avantageux de planter le manioc en association avec le maïs que de le planter en culture pure (Tableau 5).

Conclusion

Les résultats de cette expérience ont montré que la culture associée du manioc avec le maïs est plus rentable que la culture pure du manioc, même si cette association se traduit par une diminution du rendement du manioc par rapport à la culture pure de ce dernier. De plus, l'apport sous forme d'engrais minéral complet de 40 kg de N, 40 kg de P_2O_5 et de 40 kg de K_2O par ha, associé à celui de 15 t/ha de biochar permet de tripler le rendement du maïs et d'environ doubler celui du manioc par rapport aux résultats obtenus sans apport d'intrants. Ces gains de rendement s'expliquent sans doute par les améliorations des propriétés physiques et biologiques du sol d'Ibi induites par l'apport de biochar. Compte tenu de l'ampleur du gain de rentabilité qu'elle génère, l'application de 235 kg/ha de 17-17-17 en combinaison avec 15 t/ha de biochar devrait être relativement facilement acceptée par les agriculteurs. Ceci d'autant plus que l'investissement consenti dans l'apport de biochar devrait se traduire par des gains de rendement répartis sur plusieurs années. La réalisation d'investigations complémentaires sur plusieurs cycles de culture est nécessaire pour confirmer l'intérêt que présente l'incorporation de biochar dans le sol sur le long terme.

Remerciements

Nous remercions l'ERAIFT et la WBI qui ont financé ces recherches.

Références bibliographiques

1. Cayuela M.L., Monedero M., Roig A., Hanley K., Enders A. & Lehmann J., 2013. Biochar and denitrification in soils: when, how much and why does biochar reduce N₂O emissions?, *Sc. Rep.*, **3**, 1732
2. CIMMYT, 2005, The Development and promotion of quality protein maize in sub-saharan Africa. Progress report submitted to the Nippon foundation.
3. Davet P., 1996, *Vie microbienne du sol et production végétale*, INERA, Paris, 383.
4. De Léon C., 1984, Maladies du maïs. Guide d'identification au champ. Mexico DF, CIMMYT;
5. Guerena D., Lehmann J., Hanley K., Enders A., Hyland C. & Riha S., 2013, Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maize-based production system. *Plant Soil*, **365**, 239-254.
6. Jama B., Palm C.A., Buresh R.J., Niang A.I., Gachengo C. & Nziguheba G., 2000, *Tithonia* as a green manure for soil fertility improvement in Western Kenya: a review, *Agrofor. Sys.*, **49**, 201-221.
7. Joseph S.D., Camps-Arbestain M., Lin Y., Munroe P., Chia CH., Hook J., Van Zwieten L., Kimber S., Cowie A., Singh B.P., Lehmann J., Foidl N., Smernik R.J. & Amonette J.E., 2010, An investigation into the reactions of biochar in soil. *Austr. J. Soil Res.*, **48**, 501-515
8. Kadiata B.D. & Lumpungu K., 2003, Differential phosphorus uptake and use efficiency among selected nitrogen-fixing tree legumes over time, *J. Plant Nutr.*, **26**, 1009-1022.
9. Kasulu V. & Hamel O., 2008, *Boisements privés sur les plateaux de Batéké et terres dégradées du bas Congo pour l'approvisionnement en bois énergie de l'agglomération de Kinshasa*. Projet de PIN (Project Idea Note) 19.
10. Kimetu J.M. & Lehmann J., 2010, Stability and stabilization of biochar and green manure. In: Soil with different organic carbon contents, *Austr. J. Soil Res.*, **48**, 577-585
11. Lehmann J., Gaunt J. & Rondon M., 2006, Biochar sequestration in terrestrial ecosystems a review. *Mitigation and Adaptation Strategies Global Change*, **11**, 403-427
12. Lumpungu K., 2008, *Rapport final sur le système national de recherche agronomique en République Démocratique du Congo*. Analyse de la situation, 8-9.
13. Major J., Rondon M., Molina D., Riha S. & Lehmann J., 2010, Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol, *Plant Soil*, **333**, 117-128.
14. Ministère de l'agriculture, 2008, *Catalogue variétale des cultures vivrières : maïs, riz, haricot, arachide, soja, niébé, manioc, patate douce, pomme de terre et banane*. RDC.
15. Muna-Mucheru M., Mugendi D., Kung'u J., Mugwe J. & Bationo A., 2007, Effects of organic manure and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District, Kenya, *Agrofor. Syst.*, **69**, 189-197.
16. Oleszczuk P., Hale S., Lehmann J. & Cornelissen G., 2012, Activated carbon and biochar amendments decrease pore-water concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge, *Biores. Technol.*, **111**, 84-91
17. Paliwal R.L., 2002, *Introduction au maïs et son importance*. In: *Le maïs en zones tropicales: amélioration et production*. Collection FAO. Pp.1-3.
18. Pieter P., Bimponda W., Lodi-Lama J.P., Lele B., Mulumba R., Kachaka C., Boeckx P., Merckx R. & Vanlauwe B., 2012, Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable Cassava Production Cassava production. *Agron. J.*, **104**, 1, 178-187
19. Planet P., Lubet E., Desvignes P. & Sombrum F., 1990, *Fertilisation azoté et composantes du rendement du maïs: effet des niveaux et des modalités d'apport*. In: *Physiologie et production de maïs*. Picard, D. (éd), 1991. INERA, France. Paris, 367-382;
20. Ruganzu V., 2009, *Potentiel d'amélioration de la fertilité des sols acides par l'apport de biomasses végétales naturelles fraîches combinées à du travertin au Rwanda*, Thèse de doctorat, Gembloux Agro Biotech/ Université de Liège, 215.

21. Sanginga N.B., Ibewiro P., Houngnandan B., Vanlauwe J.A., Okogun I.O., Akobundu & Verster, 1990, Evaluation of symbiotic properties and nitrogen contribution of *Mucuna* growth in the derived Savanna of West Africa, *Plant Soil*, **179**, 119-129.
22. Serpantié G., 2009, L'agriculture de conservation à la croisée des chemins (Afrique, Madagascar). *Vertigo*, **9**, 3, 12.
23. Soltner D., 1996, *Les bases de la production végétale. Tome 1: le sol et son amélioration*, 26^è édition. Collection Sciences et techniques agricoles. ISBN: 2- 907710-16-8. 464.
24. Steiner C., Teixeira WG., Lehmann J., Nehls T., Macedo JL.;V., Blum WEH. & Zech W., 2007, Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil*, **291**, 275-290.
25. Uyo Ybesere E.O. & Elemo K.A. 2000. Effect of inorganic fertilizer and foliage of *Azadirachta* and *Parkia* species on the productivity of early maize, *Niger. J. Soil Res.*, **1**, 17-22.
26. Van Den Berghe C., Theeten D. & Totognon J., 1990, Comparative responses of two maize varieties to fertilizers on a newly cleared ferrallitic soil in southern Benin Economic Analysis, *Tropicultura*, **8**,1, 3-8.
27. Violic A.D., 2002, *Gestion intégrée de la culture. In: le maïs en zones tropicales: Amélioration et production*. Collection FAO 2002. Pp. 251-299.
28. Warnock DD., Lehmann J., Kuyper TW. & Rillig MC., 2007, Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms, *Plant Soil*, **300**, 9-20.
29. Whitman T., Nicholson C.F., Torres D. & Lehmann J., 2011, Climate change impact of biochar cook stoves in Western Kenyan farm households: System dynamics model analysis. *Environ. Sci. Technol.*, **45**, 3687-3694.
30. Whitman T., Scholz S. & Lehmann J., 2010, Biochar projects for mitigating climate change: an investigation of critical methodology issues for carbon accounting. *Carbon Manage.*, **1**, 89-107.
31. Woolf D., Amonette J.E., Street-Perrott F.A., Lehmann J. & Joseph S., 2010, Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Commun.*, **1**,56. (climatechange.cornell.edu/soil-biogeochemistry-and-soil-fertility-management).
32. Zhang W., Niu J., Morales V.L., Chen X., Hay A.G., Lehmann J. & Steenhuis T.S., 2010, Transport and retention of biochar particles in porous media: effect of pH, ionic strength, and particle size, *Ecohydrol.*, **3**, 497-508.

B. Lele, Congolais (RDC), Doctorant, Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, R.D. Congo.

J. Lejoly, Belge, PhD, Professeur Emérite, Université Libre de Bruxelles, Belgique; Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, R.D. Congo; ONG Groupe d'Initiatives pour l'Agroforesterie en Afrique, Kinshasa, R.D. Congo.

C. Kachaka, Congolais (RDC), PhD, Professeur, Doyen de la Faculté, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles, Kinshasa, R.D. Congo.

Culture d'une légumineuse et d'une céréale dans le système zaï avec différents amendements organo-minéraux - productivité et impact sur les propriétés biologiques d'un sol ferrugineux dégradé dénudé en Région nord soudanienne au Burkina Faso

D. Some^{1*}, E. Hien^{1, 2}, K. Assigbetse³, J.J. Drevon⁴ & D. Masse³

Keywords: Compost- Manure- Phosphate- Cowpea- Sorghum- Zaï- Soil biological activity- Burkina Faso

Résumé

Le zaï est une pratique agricole qui permet la mise en culture de sols dégradés abandonnés. Une expérimentation a été conduite de 2006 à 2012 au Burkina Faso pour évaluer l'impact de cette pratique sur la production de sorgho et de niébé, ainsi que sur les propriétés biologiques des sols. L'essai a été installé selon un dispositif factoriel en blocs de Fisher. Les parcelles expérimentales ont été cultivées en continu, les cultures recevant différents types d'apport organique (fumier, compost) et minéral (phosphate naturel). Les résultats ont montré que l'apport de fumier et de compost simples augmente significativement la production des deux cultures. L'addition de phosphate naturel (2 t.ha^{-1}) au compost (3 t.ha^{-1}) et au fumier (3 t.ha^{-1}) accroît les rendements en grains du niébé de 70 et 80% et du sorgho de 88 et 160% par rapport à des apports de compost et fumier seuls. L'activité biologique du sol n'a pas été influencée par le type de culture mais plutôt par les apports organo-minéraux. La combinaison du phosphate naturel au fumier a eu un effet particulièrement positif sur l'activité biologique du sol. L'apport de phosphate naturel associé à des matières organiques apparaît donc essentiel pour maintenir la production végétale et les propriétés des sols.

Résumé

Legume and Cereal Cropping in Zaï System with Different Organo-mineral Amendments - Productivity and Impact on Biological Properties of Degraded Bare Alfisol in North Sudanian Zone of Burkina Faso

Zaï is an agricultural practice that allows the cultivation of abandoned degraded soils. An experiment was conducted from 2006 to 2012 in Burkina Faso to assess the impact of this practice on the production of sorghum and cowpea, as well as on the biological properties of soils. The experiment was set up according to a factorial experimental design in Fischer blocks. The crops were grown in the trial, received different types of organic (manure, compost) and mineral (rock phosphate) input. The results showed that the intake of simple manure and compost significantly increased the yield of the two crops. The addition of phosphate (2 t.ha^{-1}) to compost (3 t.ha^{-1}) and to manure (3 t.ha^{-1}) increased the yields of cowpea and sorghum respectively by 70 to 80% and 88 to 160% compared to sole compost and manure applications. The biological activity of the soil was not influenced by the type of crop but rather by organo-mineral intakes. The combination of rock phosphate to manure had a particularly positive effect on soil biological activity. The natural phosphate intake associated with organic matter therefore appears essential to maintain crop production and soil properties.

¹Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre, Ouagadougou 03, Burkina Faso.

² IRD, UMR Eco & Sols, Ouagadougou, Burkina Faso.

³ IRD, UMR Eco & Sols, LEMSAT Bel-Air, Dakar, Sénégal.

⁴ UMR Eco & Sols, Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agroécosystèmes, Montpellier, France.

*Auteur correspondant: E mail: d.some@yahoo.fr

Introduction

Depuis plusieurs décennies, la pression sur les terres cultivées s'est amplifiée pour faire face aux besoins alimentaires d'une population de plus en plus nombreuse. Des pratiques inappropriées permettant des productions élevées à court terme mais ne tenant pas compte du maintien des propriétés des sols ont malheureusement entamé le potentiel agronomique de nombreuses terres. Le Plateau Central du Burkina Faso, plus particulièrement la Région Nord, n'a pas échappé à ce phénomène. Il est marqué par une forte dégradation des sols se manifestant par l'apparition de vastes plages dénudées où rien ne pousse et appelées localement "zipellas". Ces glaciés dénudés occupent depuis des décennies une proportion importante de la zone (20, 27, 29). Ils sont caractérisés par une compaction et un encroûtement de l'horizon de surface limitant la circulation de l'eau dans le sol, une baisse de la fertilité chimique et biologique se traduisant par une diminution de la productivité végétale (29, 30).

La pression démographique élevée et continue dans ces régions a entraîné des besoins en terre supplémentaires (21). Les agriculteurs ont développé des pratiques agricoles permettant d'exploiter ces terres à faible productivité végétale (5, 25). Ancienne pratique traditionnelle, le "*zaï*" a été ainsi reconsidéré et relancé depuis les années quatre-vingt (5). Selon Botoni et Reij (8), il serait appliqué sur environ 200.000 à 300.000 ha de terres dans la région du Plateau Central au Burkina Faso. Le *zaï* consiste à creuser préalablement au semis de petites cuvettes d'une trentaine de centimètre de diamètre et de 5 à 10 cm de profondeur. La terre excavée est placée en aval de la cuvette. La matière organique est apportée dans la cuvette sous forme de fumier et la graine est semée plus tard. Le champ présente alors un ensemble de cuvettes disposées le long d'une ligne, et en quinconce d'une ligne à l'autre de façon à capter le maximum de ruissellement. Il est à noter que cette pratique est souvent associée à un contrôle du ruissellement par un dispositif de cordons pierreux selon les courbes de niveau à l'échelle du petit bassin versant dans lequel se situent les champs cultivés de cette façon.

Plusieurs auteurs ont décrit l'effet du *zaï* sur les rendements qui non seulement permet d'obtenir une production de céréale là où elle était totalement nulle sans aménagement, mais également d'améliorer les rendements obtenus par rapport à des productions plus conventionnelles (25, 28, 29, 31). Les matières organiques introduites dans la cuvette constituent un apport en éléments nutritifs direct pour la plante mais également une source d'éléments nécessaires à une relance de l'activité biologique. Cette dernière est une composante essentielle de la fertilité du sol en agissant d'une part, sur le stock d'éléments minéraux assimilables par la minéralisation de la matière organique et d'autre part, sur la structure du sol sous diverses formes. Les matières organiques offrent également une nourriture pour la mésofaune et la macrofaune du sol qui, attirées par ces produits créent une nouvelle porosité dans laquelle l'eau peut s'infiltrer (25) et sont susceptibles de produire des effets en cascade sur les propriétés de ces sols dégradés. Par ailleurs, les sols de cette région présentent de façon générale des carences en phosphore (14). C'est un élément majeur indispensable au développement des plantes, et il est souvent nécessaire de procéder à des apports de phosphore minéral. La fertilisation phosphatée influence en outre l'activité biologique du sol (6). Les phosphates naturels présents dans la région sont une source de phosphore mais difficilement soluble et donc offrant peu de disponibilité d'ions phosphatés. La combinaison de ces phosphates naturels à des matières organiques notamment à travers leur apport dans les composts est une technique souvent proposée par le développement agricole (3, 15, 23). La plupart des connaissances acquises sur la pratique du *zaï* sont issues d'observations ponctuelles sur des champs d'agriculteurs, ou d'expérimentations sur le court terme. Peu d'études sur le moyen terme ont été menées. On peut se poser la question de l'évolution dans le temps des effets bénéfiques de ces pratiques sur la production végétale. Une expérimentation a été conduite de 2006 à 2012 au Burkina Faso où différentes formes d'apports organiques associés ou non à des apports de phosphate naturel ont été testés. Le sorgho, principale céréale cultivée a été la plante test.

Dans les mêmes conditions expérimentales une culture de niébé a été également testée. En effet, peu d'études sur le *zai* concernaient cette plante. L'effet positif des légumineuses, associées aux processus de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, est reconnu pour améliorer la productivité des milieux cultivés ou non cultivés (4). Il était nécessaire d'évaluer également cette production végétale dans une pratique de *zai*. L'étude a eu pour objectif d'une part, d'évaluer l'impact de l'association de phosphate naturel à la fumure organique dans le système *zai* sur les productions du niébé et du sorgho et de mesurer l'impact des deux systèmes de culture sur les propriétés biologiques du sol d'autre part.

Matériel et Méthode

Site expérimental

L'étude a été conduite à Pougyango (12°58' N; 2°09' W) dans la Région Nord du Burkina Faso. Le climat est de type Nord Soudanien (19) avec deux saisons bien marquées: une saison sèche allant d'Octobre à Mai et une saison pluvieuse qui s'étend de Juin à Septembre. La pluviosité moyenne annuelle est comprise entre 600 et 900 mm. La pluviosité relevée entre 2006 et 2012 varie entre 564 et 1029 mm. Elle présente une grande variabilité inter et intra annuelle. Elle est particulièrement marquée par des arrêts précoces des pluies en 2007 et 2011, années ayant du reste enregistré les plus faibles quantités de pluies (Figure 1). L'essai a été conduit sur un sol ferrugineux tropical lessivé [Lixisol ferrique (18)] induré, et souvent superficiel à peu profond de 18 à 26 cm (16), caractérisé par une structure massive et une texture de type limon argileux. Situé sur glacis pente moyenne, c'est un sol entièrement dénudé et encroûté (zipellé en langue mooré). L'état de surface général est de type ERO, présentant une croûte très compacte, imperméable à l'eau (11).

Les facteurs testés

Deux plantes cultivées ont été testées: une légumineuse, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (variété KVX-61) appelée localement niébé avec un rendement grain potentiel estimé à 1500 kg.ha⁻¹ et un rendement grain moyen en milieu paysans à 800 kg.ha⁻¹; la deuxième plante est une céréale, le

sorgho (*Sorghum bicolor* (L.)), variété ICSV 1049 dont le rendement grain potentiel est estimé à 4 t.ha⁻¹ et le rendement grain moyen en milieu paysans de 1 à 1,5 t.ha⁻¹. Ces deux variétés améliorées sont produites par l'INERA (institution Nationale de l'Environnement et de la Recherche Agricole) au Burkina Faso.

Les amendements testés étaient le fumier, le compost et le phosphate naturel. Conformément à l'usage courant des producteurs de la zone, le fumier utilisé est un fumier de parcs de bovins. Ses caractéristiques chimiques moyennes sont: C: 147,3 g.kg⁻¹; N: 16,7 g.kg⁻¹; C/N: 9,3; P₂O₅: 2,3 g.kg⁻¹; K₂O: 16,2 g.kg⁻¹; MgO: 6,7 g.kg⁻¹; CaO: 7,6 g.kg⁻¹.

Le compost est produit à base de mélange de substrats divers (déchets ménagers, restes des résidus de pailles ayant servi d'aliment de bétail, fèces d'animaux). Sa composition chimique moyenne est: C: 106,3 g.kg⁻¹; N: 7,7 g.kg⁻¹; C/N: 14,0; P₂O₅: 0,9 g.kg⁻¹; K₂O: 9,6 g.kg⁻¹; MgO: 5,1 g.kg⁻¹; CaO: 4,2 g.kg⁻¹.

Le phosphate naturel utilisé était celui des mines de Kodjari finement broyé, produit et vendu dans le commerce sous le nom de Burkinaphosphate. Ses caractéristiques chimiques sont: P₂O₅: 25,43%; K₂O: 0,3 %; CaO: 34,61%; MgO: 0,18%; solubilité dans l'eau: 0,03% (Source: Projet Phosphate). Six traitements au total ont été testés sous culture de sorgho d'une part et de niébé d'autre part. Ces traitements se distinguaient par la présence de *zai* ou non et par l'application ou non de différents amendements organiques ou minéraux dans les poquets de *zai*. Ce sont, TA: Témoin absolu (semis direct sans creusement de *zai* et sans amendements); ZS: *Zai* simple (creusement de poquets de *zai* sans apport de fumure); ZC: *Zai* + compost à 3 t.ha⁻¹ (67 g /poquet); ZF: *Zai* + fumier à 3 t.ha⁻¹ (67 g /poquet); ZCP: *Zai* + compost à 3 t.ha⁻¹ + phosphate naturel à 2 t.ha⁻¹ (40 g/poquet) et ZFP: *Zai* + fumier à 3 t.ha⁻¹ + phosphate naturel à 2 t.ha⁻¹ (40 g/poquet). Les quantités des amendements sont exprimées en tonne de matière sèche (MS) par hectare. Il n'y a pas de restitution des résidus de récoltes. La paille et les fanes sont entièrement exportées chaque année.

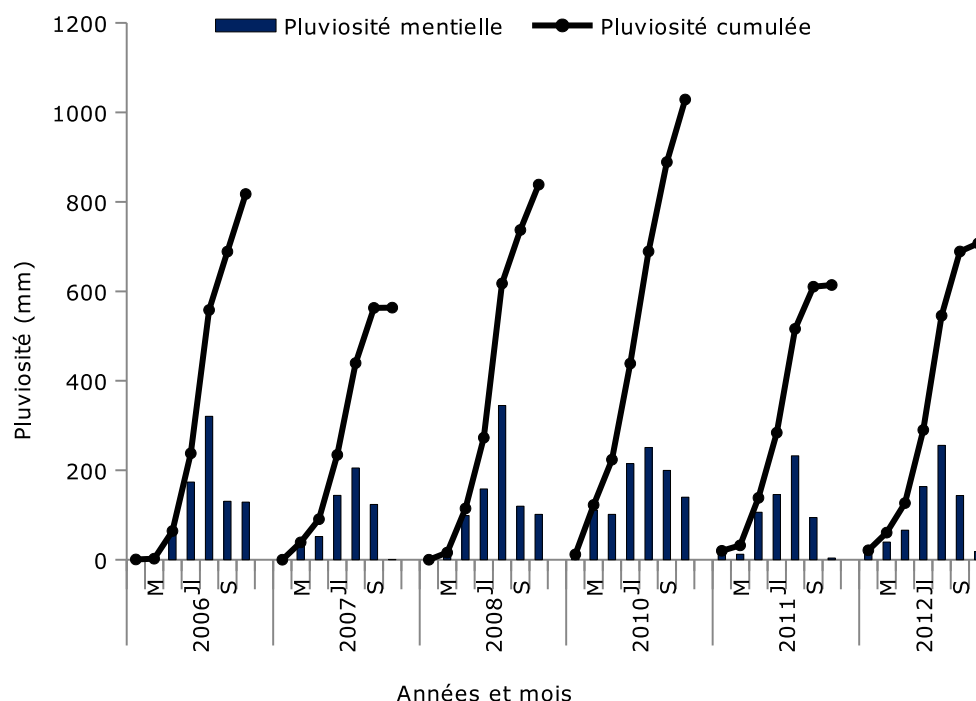


Figure 1: Evolution de la pluviosité de Yako entre 2006 et 2012.

Dispositif expérimental et traitements

L'essai a été mis en place de 2006 à 2012 avec une interruption en 2009. Les parcelles ont été cultivées en continu avec la même plante (niébé ou sorgho) et ont reçu les mêmes traitements pendant les six campagnes.

Le dispositif mis en place était un plan factoriel en blocs de Fisher à 2 facteurs et trois répétitions. Les facteurs testés étant le type de culture (niébé ou sorgho) et le type d'amendement. Les répétitions ont été matérialisées par trois blocs séparés par des allées de 5 m. Chaque bloc renfermait deux sous blocs: un sous bloc de culture pure de niébé en continu et un sous bloc de culture pure de sorgho en continu. Les parcelles élémentaires avaient une superficie de 20 m² (5 m x 4 m) et étaient séparées par des allées de 1 m. Les poquets ont été creusés suivant un rayonnement croisé de 0,5 m; soit une densité de semis de 50 cm entre les lignes et sur les lignes. Ils avaient une profondeur de 10 à 15 cm sur un diamètre de 20 à 25 cm. Les mêmes poquets sont rouverts chaque campagne. Les travaux d'entretien se limitent à un désherbage manuel ou à un sarclage en cas de nécessité. Un cordon pierreux a été aménagé en amont pour freiner la vitesse du ruissellement.

Mesure des rendements

Les rendements en grains ont été mesurés par pesée avec une balance de précision de portée maximale de 5,1 kg (METTLER PJ4000-F). Pour la paille et les fanes, une pesée a été réalisée au champ à l'aide d'un peson (SALTER) de portée maximale de 25 kg; des échantillons ont été prélevés, pesés à l'aide de la balance de précision et séchés à l'étuve à 70 °C pendant 48 h pour déterminer le taux d'humidité. Les rendements sont exprimés en quantité de MS par hectare.

Echantillonnage du sol

Les prélèvements du sol ont été faits dans les poquets et sur toutes les parcelles à la récolte, en fin de campagne 2012. Les échantillons ont été prélevés dans la couche 0-15 cm au niveau de 3 poquets le long d'une diagonale de chaque parcelle élémentaire. Une aliquote de chaque échantillon a été conservé au froid (<4 °C) pour la mesure de la biomasse microbienne. Les aliquotes restantes des trois échantillons élémentaires par parcelle ont été mélangées pour former un échantillon composite. Les échantillons ont été ensuite séchés à l'air libre sous abris avant d'être tamisés à 2 mm puis conservés à température ambiante. Ces derniers ont servi à la mesure de la respiration du sol.

Mesures de l'activité microbienne du sol

Pour la respiration du sol, deux grammes de chaque échantillon de sol sont placés dans un tube en verre et humecté avec 700 µl d'eau distillée. Les tubes fermés hermétiquement sont incubés à la température ambiante. Chaque échantillon est répété 3 fois. La première mesure du dégagement a été faite après quatre heures d'incubation. Les autres mesures ont été faites toutes les 96 heures pendant deux semaines. Les mesures de C-CO₂ ont été effectuées à l'aide d'un respiromètre IRGA. La biomasse microbienne a été déterminée par la méthode de fumigation-extraction (Amato et Ladd, 1988). Elle repose sur le dosage de l'azote α-aminé libéré par les parois des microorganismes par colorimétrie à la ninhydrine. Les prises d'essai sont de 20 g de sol frais. Chaque échantillon est répété 3 fois. Les échantillons sont fumigés par des vapeurs de chlorophorme pendant 10 jours à 20 °C. L'extraction des échantillons fumigés et non fumigés s'est faite après agitation pendant une heure dans 75 ml de solution de KCl 2M. La biomasse exprimée en C biomasse est calculée en multipliant le gain d'azote (N α-aminé dosé après 10 jours d'incubation sous atmosphère saturée en chlorophorme -Na-aminé avant la fumigation) par le facteur 21. Les résultats sont exprimés en mg C.kg⁻¹ sol sec.

Analyse statistique

Une analyse de variance des données a été faite à l'aide du logiciel CoStat 6.4. La séparation des moyennes a été réalisée par le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

Résultats

Rendements du niébé et du sorgho

Les rendements en grains ont fortement variés en fonction des années (Tableau 1). Les rendements en grains du sorgho étaient nuls en 2007 puis en 2011. Les meilleurs rendements en grains du sorgho ont été obtenus en 2012 avec une moyenne tout traitement confondu de 1.136 kg.ha⁻¹. Au niveau de la culture du niébé, les mêmes observations ont été faites. Les rendements en grains ont été nuls en 2006. Les rendements en grains du niébé les plus élevés ont été observés en 2010 avec une moyenne tout traitement confondu de 746 kg.ha⁻¹.

Quelle que soit la culture, en absence de *zaï* et sans apport organique ou minéral, les rendements étaient quasiment nuls. Dans les conditions du *zaï* sans amendement (ZS) la production du niébé était significativement supérieure au traitement sans *zaï* (TA) avec une accentuation de cet effet lors des bonnes années pluviométriques. Concernant le sorgho, la production en grains sous ZS a été très faible les premières années mais a eu tendance à augmenter au cours du temps pour atteindre une valeur moyenne de 588 kg.ha⁻¹ à la dernière campagne.

Quelle que soit la culture, l'apport du compost et du fumier simples (ZF et ZC) a entraîné une augmentation significative des rendements en grains au niveau des deux cultures par rapport au traitement ZS. Mais cet effet positif apparaissait beaucoup plus important avec le fumier qu'avec le compost. Dans le cas du sorgho, le rendement en grains moyen toutes années confondues du traitement ZC n'était pas significativement différent du traitement ZS. En revanche, la moyenne du rendement grain du traitement ZF augmentait de 104% à 113% selon les années par rapport au traitement ZS. Concernant la culture du niébé, l'augmentation des rendements en grains due à l'apport du fumier ou du compost par rapport au traitement ZS était encore plus prononcée. Elle variait respectivement de 49% à 181% selon les années pour le traitement ZC, et de 57% à 439% pour le traitement ZF.

L'apport du phosphate naturel dans le fumier (ZFP) et dans le compost (ZCP) a amélioré significativement les rendements en grains des deux cultures.

L'augmentation due au phosphate était plus importante en mauvaise campagne qu'en année de bonne campagne pluviométrique. Au niveau du niébé, l'augmentation des rendements en grains du traitement ZFP était de 65% en bonne campagne (2010) et de 98% en mauvaise campagne (2007) par rapport au traitement ZF. L'augmentation due au traitement ZCP par rapport à ZC était de 38% en bonne campagne (2010) et de 224% en mauvaise campagne (2007).

Des effets équivalents étaient observés avec la culture de sorgho.

L'effet moyen du *zaï* sans aucun amendement était de +254 kg.ha⁻¹ (SE±54 kg.ha⁻¹) pour le niébé et +302 kg.ha⁻¹ (SE±29 kg.ha⁻¹) pour le sorgho (Figure 2). Le fumier est apparu plus efficace que le compost sur l'augmentation du rendement obtenue avec les apports organiques seuls comparativement au *zaï* sans apport: +73% pour le compost et +131% dans le cas de la culture du niébé. Cet effet était plus élevé dans le cas de la culture de sorgho:

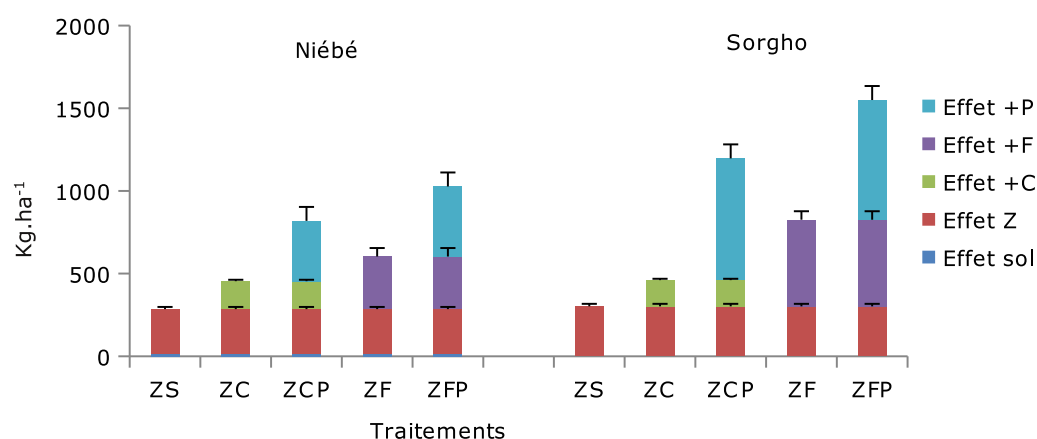
+53% pour le compost et +173% pour le fumier. Concernant l'addition des phosphates naturels, alors que sous niébé il apportait pour le traitement compost un gain de +70% et pour le traitement fumier un gain de 80%; ce gain était amplifié sous culture du sorgho avec une augmentation moyenne de +160% dans les traitements compost additionné de phosphate naturel contre un gain moyen de +88% dans le cas des *zaï* avec fumier.

Tableau 1

Rendements en grains et en fanes/paille du niébé et du sorgho (kg.ha⁻¹) et analyse de variance (ANOVA) des facteurs testés sur l'expérimentation de Pouyango au Burkina Faso entre 2006 et 2012.

Traitements	Rendement en grains (kg.ha ⁻¹ de MS)						Rendement en fanes (kg.ha ⁻¹ de MS)					
	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2006	2007	2008	2010	2011	2012
ZFP	ne	895a	895a	1318a	733a	1217a	2513a	2158a	2992a	3743a	2063a	3375a
ZCP	ne	657b	780a	1048b	602a	930b	1885b	1683b	2340b	3183ab	1863a	2690b
ZF	ne	453b	572b	800c	388b	725bc	1315c	1567b	1927bc	2652bc	1643a	2330b
ZC	ne	203c	425c	757c	240bc	568cd	837c	1017c	1373c	2193c	1112b	1483c
ZS	ne	72 c	248d	508 d	122cd	397d	655c	433d	690d	1478d	808b	1091c
TA	ne	0 c	5 e	42 e	0 d	30 ^e	0.2d	00 e	43 d	152 ^e	128c	168d
Moyenne	ne	380c	488bc	746a	348c	644ab	1201c	1143c	1561bc	2234a	1270c	1856ab
ANOVA												
F pr.	ne	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1
LSD	ne	221	127	231	168	225	563	433	648	692	479	521
CV	ne	32	14	17	27	19	26	21	23	17	21	15
Sorgho												
Traitements	Rendement en grains (en kg.ha ⁻¹ de MS)						Rendement en paille (en kg.ha ⁻¹ de MS)					
	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2006	2007	2008	2010	2011	2012
ZFP	992a	ne	967a	1860a	ne	2380a	7270a	5633a	6854a	6590a	6930a	7820a
ZCP	495 b	ne	708ab	1642a	ne	1943a	4213b	4133a	5897a	5908b	5270b	6218b
ZF	440 b	ne	525 bc	1135b	ne	1203b	4638b	4383a	5802a	5500b	4260bc	6268b
ZC	48 c	ne	435 bc	657c	ne	702bc	2298c	2700b	3375b	4563c	3572bc	5348c
ZS	0 c	ne	247 cd	372c	ne	588bc	1717c	1733b	2005c	4008c	2732c	4185d
TA	0 c	ne	0 d	0 d	ne	0 c	00 d	00 c	24 d	00 d	00 d	00 ^e
Moyenne	329c	ne	480c	944b	ne	1136a	3356b	3097b	3993ab	4428ab	3794ab	4973a
ANOVA												
F pr.	<000.1	ne	<000.1	<000.1	ne	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1
LSD	236	ne	314	310	ne	678	1334	1233	1237	641	1603	682
CV	39	ne	36	18	ne	33	22	22	17	8	23	8

Les traitements affectés de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% (Newman-Keuls). ZF: *zaï* + fumier; ZFP: *zaï* + fumier + phosphate naturel; ZC: *zaï* + compost; ZCP: *zaï* + compost + phosphate naturel; ZS: *zaï* simple sans amendement; TA: témoin sans *zaï* ni amendement; F pr: niveau de signification au seuil 5%; LSD: plus petite différence significative; CV: coefficient de variation. ne: non évalué; MS: matière sèche.



Modèle établi à partir d'une expérimentation au champ, réalisée entre 2006 et 2012 au Burkina Faso, avec deux facteurs testés: type de culture (niébé ou sorgho), *zaï* avec différents amendements organique ou minéral.

Les barres d'erreur représentent la «standard error». ZS: *zaï* simple sans amendement; ZC: *zaï* + compost; ZCP: *zaï* + compost + phosphate naturel; ZF: *zaï* + fumier; ZFP: *zaï* + fumier + phosphate naturel.

Figure 2: Rendement moyen d'une culture de niébé ou de sorgho et effets moyens relatif au sol seul, à la technique de *zaï* seul, à l'application de compost, de fumier associé ou non à du phosphate naturel.

Les rendements en fanes et en paille ont suivi la même tendance que les rendements en grains. Comme les rendements en grains, ils ont fortement variés en fonction des années. Les meilleurs rendements en paille du sorgho ont été obtenus en 2012 avec une moyenne tout traitement confondu de 4973 kg.ha⁻¹. Au niveau de la culture du niébé, les rendements en fanes les plus élevés ont été observés en 2010 avec une moyenne tout traitement confondu de 2234 kg.ha⁻¹.

Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec les traitements ZFP (3743 kg.ha⁻¹ pour le niébé et 7820 kg.ha⁻¹ avec le sorgho) et ZCP (3183 kg.ha⁻¹ avec le niébé et 6218 kg.ha⁻¹ pour le sorgho).

Mais quelque soit la culture et l'année, il n'y a pas de différence significative entre les traitements au fumier simple (ZF) et au compost additionné au phosphate (ZCP).

Les rendements au niveau de TA étaient nuls au niveau de la culture du sorgho sur la quasi-totalité

des années. Par contre, avec le niébé, ils ont été nuls à quasi nuls seulement les deux premières campagnes.

Respiration du sol

Au terme de douze jours d'incubation, les valeurs moyennes cumulées de CO₂ dégagé étaient de 1059 mg de C-CO₂.kg⁻¹ de sol dans les parcelles sous culture de niébé et de 1088 mg de C-CO₂.kg⁻¹ de sol dans celles cultivées en sorgho. Ces valeurs sont statistiquement homogènes (Tableau 2).

Dans les conditions expérimentales, les sols du traitement ZS ont dégagé des quantités de CO₂ significativement supérieures (+54% pour la culture de niébé, et +86% sous culture de sorgho) par rapport à ceux du traitement TA.

L'apport de compost et de fumier dans le *zaï* (ZC, ZF) a entraîné également une augmentation des quantités de CO₂ dégagé par rapport au sol du traitement ZS: de 16 à 31% sous niébé et de 50 à 56% sous culture de sorgho. Entre ZC et ZF il n'y a pas de différence significative.

Tableau 2

Dégagement cumulé de CO₂ après 12 jours d'incubation en conditions contrôlées et biomasse microbienne sur les sols après 6 années d'expérimentation de technique zaï sous des cultures de sorgho et niébé et analyse de variance (ANOVA) des facteurs testés.

Traitements	Respiration	Biomasse microbienne	
	mg C _{CO2} .kg ⁻¹ de sol	mg C _{mic} .kg ⁻¹ sol	g C _{mic} .kg ⁻¹ C _{sol}
Niébé			
ZFP	1571a	61,1a	4,5
ZF	1126 bc	48,6 b	3,5
ZCP	1247 b	46,1 b	3,8
ZC	998 bc	35,5 b	3
ZS	859 c	8,2 c	0,8
TA	556 d	4,9 c	0,4
Sorgho			
ZFP	1850a	76,6a	5,6
ZF	1196 b	49,1 b	3,5
ZCP	1158 b	44,8 b	3,9
ZC	1148 b	38,7 b	3,3
ZS	765 c	15,9 c	1,7
TA	412 d	2,7 c	0,3
Moyenne			
Niébé	1059 a	34 a	
Sorgho	1088 a	38 a	
ANOVA			
Niébé			
F pr.	<000,1	<000,1	
LSD	2583	10,8	
CV	13,4	17,4	
Sorgho			
F pr.	<000,1	<000,1	
LSD	298,6	20,9	
CV	15,1	30,3	
Niébé-Sorgho			
F pr.	<000,1	<000,1	
LSD	132	13,2	
CV	14,3	25,4	

Les traitements affectés de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% (Newman-Keuls). ZF: zaï + fumier ; ZFP: zaï + fumier + phosphate naturel; ZC: zaï + compost; ZCP: zaï + compost + phosphate naturel; ZS: zaï simple sans amendement; TA: témoin sans zaï ni amendement; F pr: niveau de signification au seuil 5%; LSD: plus petite différence significative; CV: coefficient de variation.

L'addition du phosphate naturel au compost (ZCP) n'a pas eu d'effet significatif par rapport à l'apport de compost uniquement (ZC). En revanche, l'addition du phosphate au fumier (ZFP) a entraîné une augmentation des quantités de CO₂ dégagé. Quelle que soit la culture, le dégagement cumulé de CO₂ était significativement plus intense dans le traitement ZFP par rapport à l'ensemble des autres traitements.

Biomasse microbienne

La biomasse microbienne variait de 0,03 à 0,56% du carbone total du sol sur l'ensemble des traitements (Tableau 2). Les moyennes de la biomasse microbienne du sol n'étaient pas significativement différentes entre les deux types de culture: 34 mg C.kg⁻¹ de sol sous cultures de niébé et 38 mg C.kg⁻¹ de sol en culture de sorgho. Le traitement ZS n'a pas eu d'effet significatif sur la biomasse microbienne par rapport au témoin TA que ce soit sous culture de niébé ou de sorgho. L'apport des matières organiques (ZC, ZF) a entraîné une augmentation significative de la biomasse microbienne du sol par rapport au traitement ZS: sous culture de niébé, l'augmentation par rapport à ZS est d'environ 6 fois avec ZF et 4 fois avec ZC; sous sorgho, elle est d'environ 3 fois pour ZF et 2 fois avec ZC. La différence entre les types de matière organique, compost et fumier n'était pas significative quelle que soit la culture. L'addition du phosphate naturel au compost (ZCP) n'a pas eu d'effet significatif par rapport au compost seul (ZC). Par contre, l'addition du phosphate au fumier (ZFP) a entraîné une augmentation significative de la biomasse microbienne du sol par rapport au traitement avec fumier seul: +26% sous niébé et +56% sous le sorgho. Sous les deux cultures, la biomasse microbienne du sol du traitement ZFP était significativement plus élevée par rapport à l'ensemble des autres traitements.

Discussion

Rendements des cultures

La technique du *zaï* est une pratique ancienne permettant de restaurer la capacité de production des sols dégradés et en condition climatique très aléatoire.

L'expérimentation conduite entre 2006 et 2012 a montré clairement qu'il était possible de produire une céréale ou une légumineuse sur des sols qui sans aménagement particulier n'étaient pas productifs. Cette situation pourrait s'expliquer par les effets conjugués de l'amélioration du profil hydrique engendrée par les trous de *zaï* et les apports de fumures organiques et minérales. En effet, le simple fait de casser la croûte du sol à travers les poquets de *zaï* sans aucun apport d'amendements permet déjà d'obtenir une production moyenne potentielle en graines de l'ordre de 254 kg.ha⁻¹ pour le niébé et de l'ordre de 402 kg.ha⁻¹ pour le sorgho. Ces rendements minima obtenus indiquent le premier effet du *zaï* qui consiste à maîtriser le ruissellement de l'eau et de permettre son infiltration au niveau de la rhizosphère. Il est à noter cependant qu'en année de mauvaise pluviosité (arrêt précoce des pluies notamment), la production de sorgho était pratiquement nulle même avec la pratique du *zaï*. La pratique du *zaï* comprend également un apport localisé au niveau du poquet de semis d'intrants organiques. Dans cette expérimentation deux produits organiques ont été testés. Les rendements obtenus avec les apports de composts étaient relativement plus faibles que ceux obtenus avec le fumier. Les composts utilisés sont produits à base de mélange de déchets ménagers, de restes des résidus de pailles ayant servi d'aliment de bétail et de fèces animaux. Leur qualité est liée à celle des substrats utilisés et des conditions de compostage. Ils sont en général moins riches que les fumiers de parc comme l'attestent les données d'analyse citées dans le paragraphe matériels et méthode. La qualité des composts mériterait d'être améliorée. Les rendements en grains les plus élevés mesurés pour le traitement ZC sont inférieurs aux rendements potentiels moyens des variétés en milieu paysan (757 kg.ha⁻¹ contre 800 kg.ha⁻¹ avec le niébé et 702 kg.ha⁻¹ contre 1000 à 1500 kg.ha⁻¹ pour le sorgho). Par contre, avec l'apport du fumier simple les rendements en grains des deux cultures atteignent les rendements potentiels moyens des variétés en milieu paysan. D'autres études menées dans la zone ont abouti à des résultats similaires (28, 29, 31).

Les résultats montrent que les meilleurs rendements en grains comme en fanes et paille ont été obtenus avec les apports combinés de fumier et de phosphate naturel. Les productions en grains atteignent lors des campagnes les mieux arrosées 1217 kg.ha⁻¹ avec le niébé et 2380 kg.ha⁻¹ pour le sorgho. Ces rendements étaient supérieurs aux rendements moyens enregistrés dans la région en 2012, considérée comme une année favorable avec des rendements de l'ordre 1038 kg.ha⁻¹ pour le niébé, 1287 kg.ha⁻¹ pour le sorgho blanc et 1380 kg.ha⁻¹ pour le sorgho rouge (24). De même, les apports en compost combiné au phosphate naturel ont donné pour le niébé des rendements supérieurs au rendement potentiel moyen de la variété en milieu paysan (930 kg.ha⁻¹ de rendement grains obtenu contre 800 kg.ha⁻¹ de rendement potentiel de la variété); avec le sorgho, les rendements obtenus dépassent la moyenne de la Province [1943 kg.ha⁻¹ de rendement grains obtenu contre 1287 kg.ha⁻¹ de rendement moyen provincial (24)]. Les meilleurs rendements obtenus avec l'application du phosphate naturel s'expliquent par la carence en phosphore des sols du Burkina en général et de la zone nord soudanienne en particulier (14) et le rôle du phosphore dans le développement des plantes et particulièrement dans la nodulation et le développement du niébé (26). Certains auteurs ont montré que les apports de phosphate naturel issu des mines de phosphate au Burkina Faso permettaient une augmentation des rendements des cultures (15, 23, 28, 31). Il est montré que les rendements peuvent être d'avantage améliorés en combinant le phosphate naturel au phosphate soluble (15). Toutefois, Compaoré *et al.* (13) ont remarqué que sur un sol ferrugineux faiblement acide (pH 6,2), le phosphate naturel n'a pas d'effet significatif sur la production du niébé et de maïs du fait de sa faible solubilité. A l'état finement broyé, la solubilité du burkinaphosphate dans l'eau est estimée 0,03% (13). Mais il est prouvé que dans les sols acides et en association avec les fumures organiques, la solubilité des phosphates naturels serait augmentée avec l'effet des acides organiques des fumures et de l'acidité du sol (7). De plus, les doses très élevées de phosphate appliquées dans

cette expérimentation, 2 t.ha⁻¹ contre 400 kg.ha⁻¹ recommandés par les services agricoles peuvent compenser l'effet de la faible solubilité.

Sur les six campagnes d'essai, la production en grains a été nulle pendant deux campagnes avec le sorgho en raison des aléas climatiques. Le niébé avec un cycle de développement plus court et avec un recouvrement du sol limitant l'évaporation et le ruissellement, semble plus adapté que le sorgho aux aléas de la pluviosité dans cette zone climatique. En plus, il répond de la même manière que le sorgho aux amendements appliqués dans le *zaï*.

Activité biologique du sol

Dans l'ensemble, la biomasse microbienne du sol, était relativement faible au niveau des deux cultures et pour l'ensemble des traitements. Les valeurs du carbone microbien du sol les plus élevées (ZFP) représentaient environ 0,5% et 0,6% du carbone total du sol respectivement sous culture de niébé et de sorgho; et les plus faibles, correspondant au témoin sans *zaï* ni amendement (TA) ne représentaient que 0,04% et 0,03% du carbone total du sol cultivé en niébé et en sorgho. Elles sont très faibles comparées aux valeurs de 1,6% mesurées par Chaussod *et al.* (12) dans des parcelles de prairie naturelle de zone tropicale considérée en équilibre sur le plan de stock en carbone. De même, les valeurs de biomasse microbienne les plus élevées obtenues ici (61 et 77 mg C.kg⁻¹ de sol) sont largement inférieures à celles observées par Assimi (2009) dans des systèmes de monoculture de sorgho (109 à 138 mg C.kg⁻¹ de sol) et de rotation sorgho-niébé (66 à 118 mg C.kg⁻¹ de sol), qui avait toutefois mesuré ces valeurs sur des sols avec des apports largement plus importants (5 et 40 t.ha⁻¹) que ceux qui ont été appliqués dans notre expérimentation (3 t.ha⁻¹). A l'inverse, Diallo (17) indiquait, dans une formation pédologique similaire, des biomasses microbiennes plus faibles que celles mesurées ici. De nombreuses études ont montré que l'abondance, la diversité et l'activité microbienne baissent, en général, en fin de campagne (à la récolte) ou après un long temps d'incubation dans des expérimentations en condition contrôlée au laboratoire (9, 17, 22).

Ces études révèlent que la communauté microbienne du sol est autant influencée par la période de la saison à laquelle la mesure a été réalisée que par les systèmes de culture (6, 10). L'abondance et l'activité microbienne dépendent en effet de la matière organique facilement minéralisable et des nutriments disponibles ou libérés par la minéralisation des amendements organiques ou minéraux, mais également de l'humidité du sol.

Ces paramètres évoluent au cours de la saison et finissent par baisser fortement, en général, en fin de campagne (à la récolte) et la biomasse microbienne de s'établir à un niveau relativement faible. Comme la biomasse microbienne, la respiration du sol qui traduit l'activité microbienne potentielle du sol était sensiblement de même intensité sous les deux types de culture. Dans les mêmes conditions pédoclimatiques, la masse microbienne et l'intensité de l'activité biologique sont fonction de la disponibilité des substrats carbonés, notamment la fraction facilement biodégradable pour satisfaire les besoins énergétiques des micro-organismes. La similitude de l'abondance et de l'activité microbienne du sol au niveau des deux cultures pourrait s'expliquer par une similitude des caractéristiques chimiques des sols, notamment les contenus en matière organique labile. La variation de l'activité biologique s'est révélée beaucoup plus liée aux traitements effectués dans les différentes parcelles. Sans travail de sol ni amendement (TA), l'activité biologique dans les sols «zipella» se révèle extrêmement faible. Le simple creusement des poquets de *zaï*, malgré la modification de la structure et l'acidité et l'amélioration de l'humidité et l'aération du sol qu'il induit, n'a pas influencé significativement la biomasse microbienne du sol; il a toutefois entraîné un relèvement sensible de l'activité biologique potentielle par rapport au témoin. Il est donc permis de faire l'hypothèse que la matière organique dans ces parcelles est insuffisante pour soutenir une augmentation significative de la biomasse microbienne du sol, mais renferme plus de substrats carbonés biodégradables exogènes piégés dans les poquets et/ou provenant des corps microbiens morts à la dessiccation du sol et pouvant relever l'intensité de la respiration du sol.

Les apports de fumures et le travail du sol sont reconnus comme jouant un rôle déterminant dans la dynamique de l'activité biologique du sol (2, 9, 17). Ils déterminent l'abondance, la diversité et l'activité des communautés microbiennes du sol. L'apport du fumier et du compost simples dans les *zaï* (ZF et ZC) a redynamisé sensiblement l'activité biologique du sol.

Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Zombré (30) qui a observé avec des traitements de *zaï* au compost (3 t.ha⁻¹) sur zippelé développé sur sol ferrugineux, des quantités cumulées de CO₂ dégagé de l'ordre de 120 mg de C-CO₂/100g de sol contre 30 mg de C-CO₂/100g de sol pour les témoins dans l'horizon de surface. La même observation a été faite sur un zippelé développé sur sol brunifié avec un effet plus prononcé (30). Le *zaï* permet, en effet, de casser la croûte de battance, d'améliorer l'humidité et l'aération du sol et les substrats organiques (fumier et compost) qui y sont apportés constituent une source d'énergie et de nutriments propices à la prolifération des communautés microbiennes.

L'addition du phosphate naturel finement broyé au fumier a amélioré d'avantage l'activité biologique du sol au niveau des deux cultures (biomasse microbienne et respiration du sol). En effet, il est montré que la fertilisation phosphatée influence l'abondance, l'activité et la structure des communautés microbiennes (6). Le phosphore est un élément majeur, capital pour le développement et le fonctionnement des organismes végétaux et animaux. Il représente la source d'énergie dans le métabolisme cellulaire et est un constituant essentiel des acides nucléiques et des phospholipides. C'est un élément indispensable au développement des microorganismes.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont révélé que sur un sol dégradé encrouté, induré, peu profond, en améliorant les conditions hydriques et la fertilité chimique par du *zaï* avec un amendement approprié, il est possible d'optimiser la production aussi bien avec une culture de légumineuse (niébé) que celle d'une céréale (sorgho).

La combinaison du phosphate naturel au fumier et compost dans le *zaï* améliore l'efficacité de la pratique et la productivité des zippela.

Sur le plan de la fertilité du sol, après six années de culture continue de niébé et de sorgho, les caractéristiques biologiques mesurées dans les poquets de *zaï* sous les deux cultures ne présentent pas de différences sensibles.

Elles ont été plutôt influencées par les amendements. L'apport de la fumure organique a permis une redynamisation de l'activité biologique du sol. L'addition de phosphate naturel au fumier a permis surtout d'améliorer l'activité biologique du sol. L'apport combiné du phosphate naturel et de la fumure organique dans le système *zaï* apparaît comme une alternative pour une restauration efficace de la productivité des zipella. Par un apport répété d'amendements organiques et minéraux au niveau de la plante cultivée, il est possible de créer

des îlots de fertilité au sein de la parcelle. Le *zaï* est basé sur une gestion locale des ressources nécessaires à la production des plantes, eau et nutriments. Ce principe de technique culturale permet d'assurer une production en limitant la surface cultivée et les quantités d'apports nécessaires, que ce soit pour une culture de céréales ou de légumineuses. Il est toutefois nécessaire de prendre en compte l'intégration de cette technique à l'échelle du bassin versant (nécessité des aménagements en cordons pierreux).

Remerciement

Les auteurs remercient le Projet FABATROPIMED de la Fondation Agropolis qui a soutenu financièrement les travaux. Ils sont reconnaissants à M. Barry, P. Sawadogo, techniciens au Laboratoire d'Agro-Ecologie, UMR Eco & Sols de l'IRD de Ouagadougou et à M. Ramde, technicien de laboratoire à l'INERA Kamboinsé pour leur assistance technique.

Références bibliographiques

1. Amato M. & Ladd J.N., 1988, Assay for microbial biomass based on ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soils, *Soil Biol. Biochem.*, **20**, 107-114
2. Assimi S., 2009, *Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité microbienne dans un système de cultures de longue durée au Burkina Faso*. Thèse de doctorat d'Etat ès-sciences naturelles. Université polytechnique de Bobo Dioulasso, 177.
3. Bado V. & Hien V., 1998, Efficacité agronomique des phosphates naturels du Burkina Faso sur le riz pluvial en sol ferrallitique, *Cah. Agric.*, **7**, 236-238.
4. Bado V., 2002, *Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso*. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation; Université Laval, Québec; 166.
5. Bagré J.T., 1987, *Ranawa/Burkina Faso : diguettes en pierres et poches d'eau*. pp 221-238, Rochette R. M. (Edit), In: Le sahel en lutte contre la désertification. GTZ-CILSS-PAC, 573.
6. Beauregard M.S., 2010, *Impacts de la fertilisation phosphatée sur la biodiversité microbienne de sols agricoles*. Thèse de doctorat. Université de Montréal, 168.
7. Bolan & Hedley, 1990, Dissolution of phosphate rocks in soils. Effect of pH on the dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge, *Fert. Res.*, **24**, 125-134.
8. Botoni & Reij, 2009, *La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au Sahel : Impacts des investissements publics et privés dans la gestion des ressources naturelles*, CILSS, 61.
9. Bouchenafa N., Oulbachir K. & Kouadria M., 2014, Effets du travail du sol sur le comportement physique et biologique d'un sol sous une culture de lentille (*Lens exculenta*) dans la région de Tiaret Algérie, *Eur. Sci. J.*, **10**, 3, 463-473.
10. Calbrix R., Barry S., Chabrierie O., Fourrie L. & Laval K., 2007, Impact of organic amendments on the dynamics of soil microbial biomass and bacterial communities in cultivated land, *Appl. Soil Ecol.*, **35**, 511-522.
11. Casenave A. & Valentin C., 1989, Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM. Paris, France, 229.
12. Chaussod R., Zuvia M., Breuil M. C. & Hetier J.M., 1992, Biomasse microbienne et statut organique des sols tropicaux: exemple d'un sol vénézuélien des Lianos sous différents systèmes de culture, *Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, **28**, 1, 59-67.
13. Compaore E, Grimal J.Y., Morel J.L. & Fardeau J.C. 1997, Efficacité du phosphate naturel de Kodjari (Burkina Faso), *Cah. Agric.*, **6**, 251-255.

14. Compaoré E., Grimal J.Y., Morel J.L. & Fardeau J.C, 2001, Le phosphore biodisponible des sols: une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest, *Cah. Agric*, **10**, 75-142.
15. CORAF ACTION, 2011, *Les phosphates, une richesse pour l'agriculture Ouest africaine*. CORAF ACTION N° 59 Avril-Juin 2011.
16. CPCS, 1967, *Classification des sols. Travaux de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (1963-1967)*. ENSA-Grignon, Laboratoire de Pédologie- Géologie, Paris, 96.
17. Diallo N.H., 2011, *Sols cultivés et fonctions microbiennes: la gestion des résidus organiques permet-elle de manipuler ces fonctions? Cas de l'Afrique de l'ouest*. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop De Dakar, Sénégal, 149.
18. FAO, 2006, World reference base for soil resources, Rome. 126.
19. Fontes J. & Guinko S., 1995, *Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Notice explicative*. Ministère de la Coopération Française, projet Campus, 67.
20. Hien F., Compaoré J.A. & Coulibaly-Somé O., 1996. *La dynamique de la dégradation des sols dans le bassin du Nakambé : une étude diachronique dans le secteur des forêt classées de Bissiga-Nakabé au Burkina Faso*, pp 523-530. In: Escadafal R., Mulders M.A. & Thiombiano L. (Edit), *Surveillance des sols dans l'environnement par télédétection et systèmes d'information géographiques*. Colloque, 06-10/02/1995, Ouagadougou, Burkina Faso; 619.
21. INSD, 2008, Recensement général de la population et de l'habitation (RGPH) de 2006 du Burkina Faso – Résultats Définitifs. MEF/CNR/ BCR, 56.
22. Jedidi N., Hassen A., Cleemput O. V. & M'Hiri A., 2004, Microbial biomass in a soil amended with different types of organic wastes, *Waste Manage. Res.*, **22**, 2, 93-99.
23. Lompo F., Sedogo M. P. & Assa A., 1994, Effet à long terme des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso) sur la production du sorgho. Bilans minéraux, *Rev. Res. Amélior. Prod. Agric. Milieu Aride*, **6**, 163-78.
24. MA/DNSA, 2013, Agristat, janvier 2013.
25. Roose E., Kaboré V. & Guenat C., 1993, Fonctionnement, limite et améliorations d'une pratique culturale africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano – sahélienne (Burkina Faso), *Cah. Orstom Sér. Pedol.*, **28**, 159-73.
26. Salam A.M., Osman A.Z. & Basiouny H., 1968, Interaction of the level and method of phosphorus fertilization on cowpea production in newly reclaimed soils. Isotope and radiation research, **1**, pp.33-39.
27. Sawadogo H., Zombré N. P., Bock L. & Lacroix D., 2008, Etude de l'évolution de l'occupation du sol de Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso) à partir de photographies aériennes, *Rev. Télédétection*, **8**, 1, 59-73.
28. Sawadogo H., Bock L., Lacroix D. & Zombré N. P., 2008, Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **12**, 3, 279-290.
29. Zombré N.P., 2003, *Les sols très dégradés "zipella" du centre nord du Burkina Faso: dynamique, caractéristiques morpho-bio-pédologiques et impacts des techniques de restauration*. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Ouagadougou, 327.
30. Zombré N.P., 2006, Variation de l'activité biologique dans les zipella (sols nus) en zone subsahélienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (techniques des poquets), *Biotechnol. Agron. Soc., Environ.*, **10**, 2, 139-148.
31. Zougmore R., Ouattara K., Mando A. & Ouattara B., 2004, Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso, *Sécheresse*, **15**, 1, 41-48.

D. Some, Burkinabè, DEA, Enseignant, Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre, Ouagadougou, Burkina Faso.

E. Hien, Burkinabè ,PhD, Enseignant chercheur, Université de Ouagadougou; Chercheur associé IRD, UMR Eco & Sols, Ouagadougou, Burkina Faso.

K. Assigbetse, Française, PhD, Ingénieur de recherche, IRD, UMR Eco & Sols, LEMSAT, Bel-Air, Dakar, Sénégal.

J.J. Drevon, Française, PhD, Chercheur, UMR Eco & Sols; Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agroécosystèmes, Montpellier, France.

D. Masse, Française, PhD, Chercheur, IRD, UMR Eco & Sols, LEMSAT, Bel-Air, Dakar, Sénégal.

Sélection des variétés de soja pour la résistance à la pustule bactérienne au Bénin

V.A. Zinsou^{1*}, F. Afloukou¹, E. Sekloka¹, F. Dannon¹, N. Zoumarou-Wallis¹, L.A.C. Afouda¹ & L. Dossou¹

Keywords: *Xanthomonas axonopodis* pv *glycines*- Artificial inoculation- Natural infection- Yield losses- Parakou- Benin

Résumé

La pustule bactérienne causée par Xanthomonas axonopodis pv. *glycines* est une maladie redoutable du soja qui induit d'énormes pertes de rendements à travers le monde. L'objectif de cette étude est de tester 16 variétés de soja pour leur résistance à la pustule bactérienne sous infection naturelle et sous inoculation artificielle. L'étude a été réalisée sous serre et au champ à la ferme expérimentale de l'Université de Parakou de juillet à octobre en 2013 et en 2014. Des résultats, il ressort que les variétés JUPITER, ISRA25/72, TGX1985-77F, TGX1910-2F et TGX1985-11F sont sensibles à moyennement sensibles. Les variétés TGX1448-2E, TGX1987-62F, TGX1990-15F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F et TGX1440-1E sont moyennement résistantes à résistantes. Les variétés TGX1988-5F, TGX1910-14F, TGX1989-21F et TGX1989-19F sont moyennement résistantes en serre et sensibles à moyennement sensibles au champ. En 2013, des pertes de rendement de l'ordre de 2,7 à 28,1% ont été enregistrées avec les variétés TGX1910-2F, ISRA25/72, JUPITER, TGX1910-2F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F. Les pertes de rendement ont été calculées pour chacune des variétés citées en prenant en compte le résultat de la différence entre le rendement de la variété soumise à l'infection naturelle et celui de la variété sous inoculation artificielle divisé par le rendement de la variété soumise à l'infection naturelle. En 2014, les variétés TGX1985-77F, TGX1740-2F, ISRA25/72, TGX1987-62F et TGX1910-14F ont montré des pertes allant de 4,7 à 21,4%. Les autres variétés ont présenté des gains de rendement de 2,7 à 26% en 2013 et de 2,2 à 36,6% en 2014. La variété TGX1985-11F n'a enregistré ni de gain, ni de perte au cours des deux années. Ainsi, parmi les 16 variétés testées, TGX1987-62F et TGX1990-15F les plus résistantes aux symptômes et TGX1989-19F,

Summary

Selection of Soybean Varieties for Resistance to Bacterial Pustule in Benin

Bacterial pustule caused by Xanthomonas axonopodis pv. *glycines* is a dreaded disease on soybeans inducing considerable yield losses worldwide. The aim of this study is to test 16 soybean varieties for resistance to bacterial pustule under natural infection and artificial inoculation. The study was conducted under greenhouse and field conditions at the experimental farm of the University of Parakou from July to October in 2013 and in 2014. The results show that the varieties JUPITER, ISRA25/72, TGX1985-77F, TGX1910-2F and TGX1985-11F are sensitive to moderately sensitive. The varieties TGX1448-2E, TGX1987-62F, TGX1990-15F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F and TGX1440-1E are moderately resistant to resistant. The varieties TGX1988-5F, TGX1910-14F, TGX1989-21F and TGX1989-19F revealed moderately resistant in the greenhouse, but sensitive to moderately sensitive in the field. In 2013, yield losses from 2.7 to 28.1% were recorded with the varieties TGX1910-2F, ISRA25/72, JUPITER, TGX1910-2F, TGX1987-10F, TGX1835-10F and TGX1740-2F. Yield losses were calculated for each variety considering the yield difference between the natural infection and the artificial inoculation conditions. The difference was then divided by the yield obtained in the natural infection conditions. In 2014, varieties TGX1985-77F, TGX1740-2F, ISRA25/72, TGX1987-62F and TGX1910-14F showed losses ranging from 4.7 to 21.4%. The other varieties showed yield increases from 2.7 to 26% in 2013 and from 2.2 to 36.6% in 2014. With variety TGX1985-11F neither yield loss nor gain were observed over the two years. For the 16 tested varieties, TGX1987-62F and TGX1990-15F are the most resistant; while

¹Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

*Auteur correspondant: Email: valerien.zinsou@fa-up.bj, valzinsou@gmail.com

Reçu le 26.02.15 et accepté pour la publication le 07.07.15

TGX1985-11F, TGX1440-1E, TGX1985-77F et TGX1910-14F à symptômes modérés et rendements élevés pourront être recommandées aux producteurs. Les deux variétés les plus résistantes pourront en outre être intégrées dans un programme d'amélioration.

TGX1989-19F, TGX1985-11F, TGX1440-1E, TGX1985-77F and TGX1910-14F are partially resistant. Those varieties have a high yield and could be recommended to the farmers. The two most resistant varieties can be integrated in a plant breeding programs.

Introduction

La pustule bactérienne causée par *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* est une des principales maladies du soja recensée dans le monde (16). Elle a une grande importance économique dans les grandes zones de productions de soja dans le monde (31). La maladie prévaut dans les champs de soja où des températures élevées et de fréquentes pluies subsistent (26). Le pathogène est une bactérie Gram négatif qui cause des maladies et symptômes sur au moins 124 monocotylédones et 268 dicotylédones (9). Il vit dans les résidus de récolte, sur la surface du sol, sur des graines, dans la rhizosphère de racines de blé. La maladie se répand dans le champ de soja par des ouvertures normales (stomates) de la plante et des blessures lorsque le feuillage est humide. Les bactéries se multiplient entre les cellules toutes les fois que les conditions chaudes et humides ou pluvieuses règnent. La pustule bactérienne est reconnue grâce aux symptômes incluent de petites taches vertes pales avec des pustules qui se développent en larges taches nécrotiques conduisant à une défoliation prématurée (19). En Afrique de l'Ouest, elle a été signalée au Nigeria, en Côte d'Ivoire (13). Au Bénin, les prospections réalisées ont montré que la pustule bactérienne était présente sur 33 des 35 champs prospectés dans la savane guinéenne et sur 13 des 18 champs visités dans la savane soudanienne (32). Les pertes de rendement dues à la maladie sont estimées à travers le monde jusqu'à 40% (21).

Au Bénin, la production de soja est en pleine augmentation et a atteint 11.000.tonnes en 2012 sur une superficie de 17500 ha (6).

Au nombre des variétés recommandées dans la savane guinéenne afin d'accroître la productivité et d'offrir de meilleures opportunités aux producteurs

on peut citer TGx1740-2F, TGx1987-10F, et TGx1987-62 (4), Jupiter, ISRA 44A/73, ISRA 25/72, TGx 536-02 D, TGx 1910-14F, TGx 1910-20E , TGx 1910-5F et TGx 1910-3F (2).

Avec l'augmentation de la production du soja, la présence de *X. axonopodis* pv. *glycines* peut limiter le rendement en grains. Pour contrôler la maladie des produits agrochimiques ont été appliqués durant la phase végétative. Cependant, ces produits pourraient avoir des effets négatifs sur l'environnement, les humains et les animaux (20). Aussi, la lutte biologique avec des promoteurs de croissance de plantes ou des bactéries productrices d'antibiotiques avait été considéré comme alternative (11, 15, 23). Une autre forme de lutte est le choix de la date de semis qui peut affecter directement ou indirectement la sévérité de la maladie (5, 10). Cette pratique culturale est facilement utilisable par les producteurs car il permet de réduire les coûts de production en supprimant les charges liées aux pesticides tout en préservant la santé des consommateurs et l'environnement. Cependant l'utilisation des variétés résistantes est une méthode pratique de contrôle de la maladie bien qu'elle soit encore limitée (29). En effet l'émergence de souches pathogènes de virulence diverse entre les saisons et les lieux engendrent également la résistance des plantes contre les pathogènes (25). Ainsi la disponibilité de variétés résistantes est nécessaire et plusieurs études ont également montré que ces variétés combinées avec la date de semis est efficace pour contrôler les maladies foliaires du soja dont la pustule bactérienne. Ainsi, l'objectif de la présente étude est de sélectionner des variétés résistantes à la pustule bactérienne dans la commune de Parakou au Nord-Bénin.

Matériel et méthode

Deux études ont été menées: un essai de criblage de variétés de soja avec trois souches de bactéries sélectionnées pour leur virulence en serre et un essai de criblage de variétés de soja avec une souche au champ.

Essai de criblage de seize variétés de soja avec trois souches de bactériose en serre

Matériel végétal

Le matériel végétal étudié est composé de quatorze variétés de soja améliorées 'TGX' basées sur la sélection de promiscuité provenant du croisement de variétés asiatiques et américaines développés par l'IITA-Ibadan, Nigeria (17) TGX 1910-2F, TGX 1984-77F, TGX 1910-14F, TG X1989-21F, TGX 1990-15F, TGX 1989-19F, TG X1448-2E, TGX 1740-2F, TGX1988-5F, TGX 1835-10F, TGX 1987-62F, TGX 1440-1E, TGX 1987-10F et TGX-1985-11F et des variétés locales ISRA25/72 et JUPITER fournis par le Centre de Recherches Agricoles- Nord à Ina au Bénin. Ces variétés sont recommandées pour la culture dans la savane soudano-guinéenne.

Dispositif expérimental

L'essai de criblage des variétés a été implanté en juillet 2012 selon un dispositif en split plot, avec comme facteur principal l'isolat et facteur secondaire la variété. Il est constitué de quatre blocs subdivisés en quatre sous blocs installés sous serre à 21,4-31,4 °C et 60-96% d'humidité relative. Chaque sous bloc comporte les 16 variétés à raison de 4 pots de 1,5 dm³ par ligne et d'un plant par pot. Le terreau utilisé a été stérilisé à 65°C pendant 72h.

Préparation de l'inoculum

Trois isolats bactériens virulents UP-BK-S1, UP-PE-S2 et UP-PK-S6 provenant respectivement de Banikoara, Pehunco et Parakou (32) et conservés au laboratoire de phytopathologie de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou ont été utilisés. Les inocula bactériens ont été préparés en cultivant les 3 isolats à 30°C pendant 48 h sur milieu de culture gélosé amendé de levure et de glucose (levure 10g/l, glucose 10g/l, peptone 10 g/l, agar 15 g/l), ensuite suspendus dans la solution de sulfate de magnésium pour obtenir une suspension aqueuse de cellules ($OD_{600} = 0.2$, $\approx 10^8$ CFU/ml).

Les suspensions sont ensuite infiltrées à l'aide d'une pompe dans des feuilles des variétés (2 feuilles/plant) de 3 semaines d'âge sous une serre. L'inoculation des plants par les 3 isolats a été effectuée à l'aide d'une pompe infiltrant 3 semaines après semis. Aucun produit insecticide n'a été utilisé dans la serre.

Collecte des données

L'évaluation de la sévérité a consisté à utiliser l'échelle de notation élaborée par Prathuangwong *et al.* (22). Elle a consisté à placer une carte en papier stencil de 4 x 7 cm² avec 9 cercles de 1 cm de diamètre sur la surface de la foliole infectée et à calculer le rapport entre nombre de cercles avec lésion et nombre total de cercles. L'évaluation a débuté 7 jours après l'inoculation en serre sur chaque plant inoculé et 4 fois à l'intervalle de 7 jours. Les valeurs de la sévérité de la bactériose à chaque date d'évaluation ont été utilisées pour calculer la surface sous la courbe d'évolution de la sévérité suivant la formule I:

$$AUSPC = \sum_i [(S_i + S_{i-1}) \times (t_i - t_{i-1})] / 2 \quad I$$

S_i = moyenne de la sévérité à la date t_i et t_i correspond aux différentes dates d'évaluation (14, 24).

Essai de criblage de seize variétés de soja avec une souche de bactériose au champ

Site expérimental

Les essais ont été effectués à la ferme expérimentale de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou situé dans la zone soudano-guinéenne (N 09°18' 908"; E 002°42' 106') de Juin à Octobre en 2013 puis répété en 2014. La pluviométrie totale de la période des essais est de 609,8 mm en 2013 et de 1008,3 mm en 2014. L'hygrométrie est comprise entre 58 et 95% en 2013 et entre 59 et 99% en 2013, et la température a varié de 21,1°C à 31,6°C en 2013 et de 21°C à 31,3°C en 2014. La saison pluvieuse s'étend de Mai à Octobre et la saison sèche de Novembre à Avril. Le sol repose sur le socle granito- gneissique où évoluent essentiellement les sols ferrugineux tropicaux.

Dispositif expérimental

L'essai a été conduit selon un dispositif en 'Augmented Randomised Complete Bloc Design' à sens unique d'hétérogénéité (8, 27, 30). Les trois (3) variétés: ISRA 25/72, JUPITER et TGX-1985-11F (sensibles à la pustule, essai serre 2012 de la présente étude) ont servi de témoins tandis que les treize variétés TGX 1910-2F, TGX 1984-77F, TGX 1910-14F, TG X1989-21F, TGX 1990-15F, TGX 1989-19F, TG X1448-2E, TGX 1740-2F, TGX1988-5F, TGX 1835-10F, TGX 1987-62F, TGX 1440-1E et TGX 1987-10F constituent les nouvelles entrées. Les variétés témoins ont été répétées trois fois. Les variétés ont été semées en condition naturelle (non inoculée) et artificielle (inoculée); les deux conditions étant séparées par un écran de sorgho à paille haute de six mètre de largeur. L'inoculum de l'isolat UP-PK-S6 de la bactérie en provenance de Parakou (32) a été préparé comme précédemment et utilisé pour l'inoculation grâce à un pulvérisateur manuel.

Le semis des graines a été fait selon des écartements de 50 cm entre les lignes et de 30 cm entre les poquets sur la ligne. Deux graines ont été semées par poquet soit une densité maximale attendue de 133333 plants à l'hectare. Les parcelles élémentaires mesuraient 3 m x 3 m soit une superficie de 9 m². La distance entre deux parcelles élémentaires adjacentes était de un mètre alors que les trois blocs (3 répétitions) ont été séparés par une allée de deux mètres. Une bordure de 2 m a été observée au niveau de chaque côté. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué durant tout le cycle de culture. Par contre, deux sarclages manuels ont été faits.

Collecte des données

Sévérité de la bactériose

Pour évaluer la sévérité, 10 plantes de chaque variété ont été respectivement choisies au hasard sur les deux diagonales de chaque parcelle. L'évaluation a été effectuée trois fois et a débuté une semaine après l'inoculation et à l'intervalle de 14 jours. Sur chaque variété, la sévérité a été notée sur les parties basses, moyennes et hautes des plantes et l'AUSPC a été calculé comme ci-dessus.

Rendement en grains

Les plants ont été prélevés dans 15 poquets occupant une superficie de 2,25 m² sur les parcelles élémentaires de 9 m², dans les différents blocs, et dans chaque répétition suivant les variétés. Ensuite le nombre total de graines des plants choisis sur les 9 m² a été séché jusqu'à un taux d'humidité de 10% puis pesé pour trouver le poids des graines sur 2,25 m² qui a été rapporté enfin à l'unité de surface qui est l'hectare.

Analyse des données

L'analyse de variance a été effectuée suivant la procédure du modèle linéaire général (GLM) de SAS version 7 sur les valeurs de sévérité transformées. Le test de Student-Newmann-Keuls a été ensuite utilisé pour comparer les moyennes ($p \leq 0,05$). Les valeurs des tableaux sont les moyennes réelles avec leurs erreurs Standards. Des classes de variétés sensibles (S) (AUSPC $\leq$ 40), moyennement résistants (MR) (40 < AUSPC $\leq$ 10) et résistants (AUSPC<10) sont formés.

Résultats

Sévérité des variétés à l'infection artificielle par différents isolats en serre

Les valeurs des AUSPC observées au niveau des variétés testées sont significativement différentes avec l'isolat UP-BK-S1 de Banikoara ($P=0,0001$) et ont varié de 13,8 à 519,2. Avec l'isolat UP-PE-S3 de Pehunco les valeurs des AUSPC ont significativement varié ($P=0,0048$) sur les variétés allant de 46,12 à 368,57 (Tableau 1).

L'isolat UP-PK-S6 de Parakou a eu un effet significatif ($P=0,0358$) sur les variétés testées pour des AUSPC variant de 6,96 à 70,25. Les isolats UP-BK-S1 et UP-PE-S₃ dont les valeurs d'AUSPC sont respectivement de 138,11 et de 136,44 sont plus virulents que l'isolat UP-PK-S6.

Ainsi, les variétés Jupiter ISRA 25/72, TGX1985-77F et TGX1910-2F ont montré une sensibilité plus élevée à l'infection avec l'isolat UP-BK-S1 (AUSPC respectif: 519,2; 378; 229,4; 227,9), mais la variété TGX1990-15F a développé moins de valeurs de sévérité après inoculation (13,8). Aussi, les variétés TGX1985-11F, TGX1910-2F et ISRA 25/72 ont montré une sensibilité à l'infection avec l'isolat

Tableau 1

Sévérité (AUSPC) de 16 variétés de soja à l'infection artificielle en serre de trois isolats de *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*.

Variétés	Isolat UP-BK-S1	Isolat UP-PE-S3	Isolat UP-PK-S6	Moy AUSPC	F	P
JUPITER	519,2±131,6aA	188,1±58,3abB	66,4±22,2aB	257,9±72,5a	7,75	0,011
TGX1910-2F	227,9±165,6bcA	222,6±51,8abA	70,2±35,9aA	173,6±57,8abc	0,77	0,4932
ISRA 25/72	378±172,1abA	314,2±168abA	46,1±14,7aA	246,1±84,6a	1,6	0,2541
TGX1985-11F	175,2±47,6bcB	368,5±20,2aA	21,6±20,9aC	188,4±45,9ab	29,05	0,0001
TGX1985-77F	229,4±27,5bcA	142,4±73,3abA	64,0±14,8aA	145,3±31,5abc	3,22	0,0879
TGX1910-14F	43,8±9,6bcA	118,9±46,1abA	42,6±19,5aA	68,4±18,7bc	2,2	0,1667
TGX1989-21F	31,4±14,8bcA	103,6±50,7abA	15,0±15,0aA	49,9±20,0bc	2,26	0,1605
TGX1990-15F	13,8±7,7cA	73,1±34,1bA	31,6±18,3aA	39,5±14,0c	1,78	0,2229
TGX1989-19F	51,8±40,4abcA	80,7±26,4bA	8,2±5,2aA	46,9±17,1bc	1,69	0,2377
TGX1448-2E	34,5±15,1bcA	90,0±35,6bA	9,5±5,6aA	44,7±15,5bc	3,32	0,0833
TGX1740-2F	168,9±13,4bcA	46,1±11,8bB	18,1±9,6aB	77,7±20,6bc	46,46	0,0001
TGX1988-5F	25,1±10,3bcB	111,0±10,7abA	6,9±2,9aB	47,7±14,4bc	40,09	0,0001
TGX1835-10F	149,2±33,2bcA	57,1±34,7bA	43,9±11,8aA	83,4±20,5bc	4,04	0,0561
TGX1987-62F	49,6±18,4bcA	48,8±17,4bA	12,9±4,31aA	37,1±9,3c	1,99	0,1921
TGX1440-1E	74,1±16,6bcA	102,3±20,2abA	15,4±5,5aB	63,9±13,5bc	8,22	0,0093
TGX1987-10F	37,9±12,5bcAB	115,0±42,2abA	9,8±6,8aB	54,2±18,9bc	4,47	0,0449
Moy AUSPC	138,11A	136,44A	30,20B			
F	4,04	2,69	2			
P	0,0001	0,0048	0,0358			

UP: Université de Parakou, BK: Banikoara, PE: Pehunco, PK: Parakou, S: Soja.

Les valeurs suivies de mêmes lettres minuscules en colonne et celles suivies de mêmes lettres majuscules dans les lignes ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

UP-PE-S3 alors que la variété TGX1740-2F a développé moins de valeurs de sévérité après inoculation (46,1). Toutes les variétés ont développé moins de symptômes avec l'isolat UP-PK-S6. Comparant les variétés, une réaction différente a été observée. Bien que les isolats UP-BK-S1 et UP-PE-S3 aient produit une moyenne générale d'AUSPC similaire (138,11 et 136,44), six variétés (TGX1910-14F, TGX1989-21F, TGX1990-15F, TGX1418-2E, TGX1988-5F, TGX1987-10F) sont résistantes à l'isolat UP-BK-S₁ et sensibles à l'isolat UP-PE-S₃, alors que le contraire s'observe pour deux autres variétés (TGX1740-2F et TGX1835-10F).

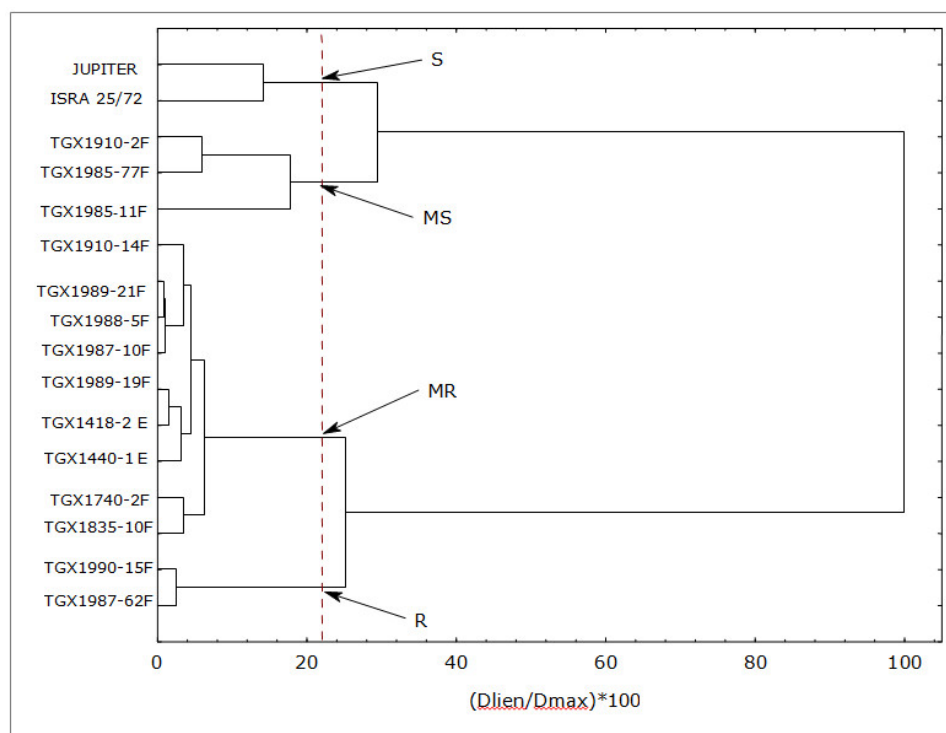
En somme les variétés testées se répartissent en quatre groupes (Figure 1, Tableau 1). Le groupe des variétés sensibles et qui se comportent de la même manière avec les trois isolats. Les deux groupes de variétés sensibles et moyennement sensibles ont des moyennes d'AUSPC supérieures à 100. Le

groupe des variétés moyennement résistantes, et qui se comportent différemment avec les trois isolats. Le groupe des variétés résistantes se comportant de la même manière avec les isolats UP-BK-S1, UP-PE-S3 et différemment avec l'isolat UP-PK-S6. Les deux groupes de variétés moyennement résistantes et résistantes ont des moyennes d'AUSPC inférieures à 100.

Sévérité des variétés à l'infection naturelle et artificielle de *X. axonopodis* pv. *glycines* au champ

L'analyse de variance de l'AUSPC montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les variétés en 2013 et 2014 (Tableau 2).

Elle n'est ni significativement différente en condition naturelle, ni en condition inoculée. Mais, une augmentation de la sévérité a été généralement observée au niveau des variétés seulement après



S: Sensible; MS: moyennement sensible; MR: moyennement résistant; R: résistant

Figure 1: Dendrogramme illustrant le niveau de sensibilité de 16 variétés de soja en serre face à 3 isolats de *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*.

inoculation au champ, mais pas dans les variétés sous infection naturelle. En condition naturelle, elle a varié de 0,6 à 41,6 en 2013 et de 0,8 à 32,7 en 2014. En condition inoculée, les valeurs de la sévérité sont comprises entre 1,8 et 73,1 en 2013 et entre 1,5 et 57,0 en 2014. Aussi, plusieurs variétés résistantes sous infection naturelle sont devenues sensibles après inoculation au champ (Tableau 3).

Ainsi, quatre variétés sont sensibles, cinq variétés moyennement résistantes et une variété résistante (TGX1440-1E) en condition inoculée au champ au cours des deux années, alors que six autres variétés sensibles en 2013 sont moyennement résistantes en 2014.

Sous infection naturelle, cinq variétés (TGX1990-15F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F, TGX1440-1E) sont résistantes, sept variétés moyennement résistantes, alors que deux autres variétés sensibles en 2013 sont moyennement résistantes en 2014 et deux autres variétés résistantes en 2013 sont moyennement résistantes en 2014.

Réaction des variétés à l'infection au champ et sous serre de *X. axonopodis* pv. *glycines*

Une comparaison des résultats enregistrés en condition inoculée au champ et sous serre permet de noter qu'une seule variété (TGX1910-2F) est sensible en serre sur les quatre sensibles au champ et les trois autres sont moyennement résistantes (Tableau 3). Sur les cinq variétés moyennement résistantes au champ, trois sont moyennement résistantes sous serre (TGX1987-10F, TGX1835-10F et TGX1740-2F) et les deux autres (TGX1987-62F et TGX1990-15F) sont résistantes. La seule variété résistante au champ (TGX1440-1E) est moyennement résistante sous serre.

Evaluation du rendement en grain des variétés sous infection naturelle et inoculation

Des pertes de rendement (2,7 à 28,1% en 2013; 4,7 à 21,4% en 2014) et aussi des regains de rendement (2,7 à 26% en 2013 et de 2,2 à 36,6% en 2014) sont observés en comparant l'infection naturelle avec généralement une faible valeur d'AUSPC à une inoculation au champ avec généralement une valeur élevée d'AUSPC.

Tableau 2

Sévérité (AUSPC) de 16 variétés de soja sous infection naturelle et inoculation au champ avec l'isolat UP-PK-S6 de *X. axonopodis* pv. *glycines* en 2013 et 2014.

Variétés	Infection naturelle	Inoculée	Infection naturelle	Inoculée
	2013		2014	
TGX1988-5F	41,6	73,1	24,6	57,0
TGX1910-14F	6,0	71,0	19,1	35,0
TGX1985-77F	37,0	66,7	28,9	30,8
TGX1989-21F	41,0	62,7	30,5	41,4
TGX1910-2F	10,9	59,7	21,1	50,3
ISRA 25/72	35,1	54,4	20,5	29,7
TGX1989-19F	14,3	54,2	32,7	38,0
TGX1985-11F	30,2	49,2	23,9	24,4
JUPITER	40,9	48,2	21,1	38,1
TGX1448-2E	39,8	41,6	13,0	46,1
TGX1987-62F	15,3	29,8	12,1	27,7
TGX1990-15F	9,6	29,5	9,8	23,7
TGX1987-10F	9,3	27,9	2,2	22,2
TGX1835-10F	9,5	12,1	7,2	12,1
TGX1740-2F	4,0	11,6	4,6	17,1
TGX1440-1E	0,6	1,8	0,8	1,5
ES T	5,5	11,9	4,4	10,2
ES X	13,7	29,2	0,4	10,8
P	0,1	0,7	0,4	0,5

ES= erreur standard X= Nouvelles entrées de variétés, non répétées dans chaque bloc.

T= Témoins répétées dans chaque bloc P= probabilité.

Tableau 3

Réaction de 16 variétés de soja sous infection au champ et sous serre avec *X. axonopodis* pv. *glycines*.

Variétés		Infection naturelle	Inoculée au champ	Infection naturelle	Inoculée au champ	Inoculée en serre
		2013		2014		2012
TGX1988-5F X	S	S	MR	S		MR
TGX1910-14F X	R	S	MR	MR		MR
TGX1985-77F X	MR	S	MR	MR		MS
TGX1989-21F X	S	S	MR	S		MR
TGX1910-2F X	MR	S	MR	S		MS
ISRA 25/72 T	MR	S	MR	MR		S
TGX1989-19F X	MR	S	MR	MR		MR
TGX1985-11F T	MR	S	MR	MR		MS
JUPITER T	S	S	MR	MR		S
TGX1448-2E X	MR	S	MR	S		MR
TGX1987-62F X	MR	MR	MR	MR		R
TGX1990-15F X	R	MR	R	MR		R
TGX1987-10F X	R	MR	R	MR		MR
TGX1835-10F X	R	MR	R	MR		MR
TGX1740-2F X	R	MR	R	MR		MR
TGX1440-1E X	R	R	R	R		MR

X= Nouvelles entrées de variétés, non répétées dans chaque bloc.

T= Témoins répétées dans chaque bloc.

S- Sensible (AUSPC≤40), MR- moyennement résistant (40 <AUSPC≤10), R- Résistant (AUSPC<10).

Tableau 4

Rendement (t/ha) de 16 variétés de soja sous infection naturelle et inoculation artificielle en 2013 et 2014.

Variétés	Rendement (t/ha)					
	Infection naturelle	Inoculée	Perte (%)	Infection naturelle	Inoculée	Perte (%)
	2013			2014		
TGX1988-5F X	2,3	2,6	13,0	2,2	3,0	36,6
TGX1990-15F X	3,5	3,7	5,7	3,3	3,7	12,1
TGX1910-2F X	3,6	3,5	-2,7	4,4	4,5	2,2
ISRA 25/72 T	3,6	3,5	-2,7	3,9	3,3	-15,3
TGX1985-77F X	3,6	3,7	2,7	4,2	4,0	-4,7
TGX1987-62F X	2,3	2,7	26,0	2,4	2,0	-16,6
JUPITER T	3,0	2,9	-3,3	3,2	3,8	18,7
TGX1985-11F T	3,9	3,9	0,0	3,7	3,7	0,0
TGX1835-10F X	2,9	2,2	-24,1	2,6	2,7	3,8
TGX1987-10F X	2,9	2,3	-20,6	2,8	2,9	3,5
TGX1740-2F X	3,2	2,3	-28,1	2,8	2,4	-14,2
TGX1448-2E X	3,7	3,4	-8,1	3,1	3,5	12,9
TGX1440-1E X	2,7	3,6	3,3	3,6	4,2	16,6
TGX1910-14F X	2,8	3,1	10,7	4,2	3,3	-21,4
TGX1989-21F X	2,8	3,4	21,4	2,6	3,0	15,3
TGX1989-19F X	3,6	4,2	16,6	2,6	3,3	26,9
ES T	0,23	0,16		0,39	0,41	
ES X	0,66	0,47		1,12	1,16	
CV	20,85	14,77		20,53	21,66	
P	0,03	0,00		0,19	0,01	

ES = erreur standard X= Nouvelles entrées de variétés, non répétées dans chaque bloc.

T= Témoins répétés dans chaque bloc CV : coefficient de variation P= probabilité.

Le rendement en grain est significativement différent sous infection naturelle en 2013 ($P=0,03$) et en 2014 ($p=0,01$). Il varie de 2,3 t/ha (TGX1987-62F) à 3,7 t/ha (TGX1448-2E) en 2013. En 2014, le rendement est passé de 2 t/ha (TGX1989-21F) à 4,4 t/ha (TGX1910-2F) (Tableau 4). En condition inoculée, la différence de rendement est significative en 2013 ($P= 0,009$). Le rendement varie en 2013 entre 2,2 t/ha (TGX1835-10F) et 4,2 t/ha (TGX1989-19F).

En 2014, il est passé de 2t/ha (TGX1740-2F) à 4,5 t/ha (TGX1910-2F).

Vu, les résultats obtenus entre l'infection naturelle et l'inoculation au champ qui ne montrent pas une différence assez grande entre les rendements, une perte de rendement assez claire due à la maladie ne pourrait être déterminée. Aussi, nous n'avons aucune donnée sur le rendement potentiel des variétés sans infection.

Ainsi, aucune corrélation claire entre l'infection et le rendement ne pourrait être trouvée dans ces conditions.

L'analyse de corrélation révèle qu'il y a une corrélation positive non significative entre sévérité de la pustule exprimée par les valeurs d'AUSPC et le rendement en condition inoculée au cours des deux années ($r= +0,35$ en 2013; $r= + 0,12$ en 2014).

Discussion

Seize variétés de soja sont soumises à une inoculation artificielle en serre et à une inoculation naturelle et artificielle pour évaluer leur réaction à la pustule bactérienne et leur rendement en 2013 et 2014.

Suite à l'inoculation artificielle en serre, 2 variétés sont sensibles, 3 variétés sont moyennement sensibles, 9 variétés sont moyennement résistantes et 2 variétés sont résistantes. La variation de la sensibilité observée au sein des variétés peut s'expliquer par les caractéristiques génétiques de chaque variété et de l'habileté du pathogène à surmonter les conditions environnementales spécifiques de l'hôte et à réguler l'expression des gènes de virulence (18).

Aussi les interactions spécifiques entre isolat et variété pourraient expliquer cette différence de sensibilité entre variété.

Les variétés TGX1988-5F, TGX1910-14F, TGX1989-21F et TGX1989-19F moyennement résistants, ont montré des valeurs d'AUSPC élevées en 2013 et 2014 se retrouvant dans le même groupe que des variétés sensibles et moyennement sensibles. Ceci pourrait être dû au fait que certaines maladies sont parfois difficiles à évaluer à cause du fait que certaines variétés avec une résistance adéquate dans une zone pourraient devenir sensibles dans une autre (1). En effet, (3) et (7) ont montré que la diversité des réactions obtenues sous différents environnements pour une même variété est due aux réponses différentielles d'un même groupe de gènes ou à l'expression de différents groupes de gènes. Cette fluctuation de la sévérité au champ pourrait également être due aux conditions environnementales et aux types de variétés. *Xanthomonas* est un genre dont le développement exige de fortes conditions d'humidité, avec une température comprise entre 30-33°C (12). Cette condition est bien caractéristique de la zone Nord. Les variétés témoins ISRA25/72, JUPITER, TGX1985-11F ont développé des valeurs d'AUSPC similaires montrant qu'elles appartiennent à un même groupe de variétés.

Des variétés moyennement résistantes et résistants TGX1740-2F, TGX1835-10F, TGX1987-10F et TGX1740-2F en 2013 et TGX1987-62F en 2014 ont enregistré un faible rendement soit 2-2,3t/ha. Ceci pourrait être dû à une activité photosynthétique intense à cause d'une forte expression du mécanisme de résistance au dépend de l'énergie nécessaire au remplissage des gousses.

Ceci a été démontré par les résultats de Smedegaard-Petersen et Tolstrup (28) dans les interactions incompatibles entre le l'orge et l'oïdium de l'orge.

Des regains de rendement de 2,7 à 26% en 2013 et de 2,2 à 36,6% en 2014 ont été observés au niveau de certaines variétés de soja.

Celles ayant développé de grandes valeurs d'AUSPC seront classées dans le groupe des variétés tolérantes et celles ayant développé de faibles d'AUSPC seront rangées dans le groupe des variétés moyennement résistantes à résistantes.

La nécessité de rechercher d'autres variétés résistantes de soja au sein du pool des variétés améliorées est nécessaire et l'utilisation ces variétés pourraient être combinées avec les dates de semis afin d'assurer un contrôle effectif de la pustule bactérienne du soja.

Conclusion

Il a été montré au cours de cette étude que les variétés TGX1987-62F et TGX1990-15F plus résistantes aux symptômes sont adaptées pour la sélection, et les variétés TGX1989-19F, TGX1985-11F, TGX1440-1E, TGX1985-77F et TGX1910-14F à symptômes modérés et rendements élevés pourront être recommandées aux producteurs. Ces variétés pourraient être explorées à une échelle plus grande dans d'autres centres de productions pour aussi bien leur mécanisme de durabilité que leur efficacité dans la lutte contre la pustule bactérienne du soja.

Remerciements

Les auteurs remercient le Conseil Scientifique de l'Université de Parakou pour le financement de la présente étude.

Références bibliographiques

- Bai G. & Shaner G., 1994, Scab of wheat: prospects for control, *Plant Disease*, **78**, 760-766.
- CaBEV, 2011, *Catalogue Béninois des Espèces Végétales*, 1^{er} éd septembre 2011. 34.
- Cockerham C.C., 1963, *Estimation of genetic variance components*, In: Statistical Genetics and Plant Breeding, Hanson W.D. & Robinson H.F., (eds.), Academic Science of National Research Council Publication, UK, 53-94.
- Dugje I.Y., Omoigui L.O., Ekeleme F., Bandyopadhyay R., Lava Kumar P. & Kamara A.Y., 2009, *Farmers' Guide to Soybean Production in Northern Nigeria*, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, 21.
- Egli D.B. & Bruening W., 1992, Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO, *Agric. & Forest Meteorol.*, **62**, 19-29.
- FAO, 2013, Disponible sur <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.
- Falconer D.S., 1990, Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance, *Genet. Res. Cambridge*, **56**, 57-70.
- Federer W.T., 1956, Augmented (or hoynuiaku) designs, *Hawaiian Plant Rec.*, **55**, 191-208.
- Hayward A. C., 1993, *The hosts of Xanthomonas*, Pages 1-17, In: *Xanthomonas*, Swings J.G. & Civerolo E.L., eds, Chapman & Hall, London.
- Hershman D.E., Hendrix J.W., Stuckey R.E., Bachi P.R. & Henson G., 1990, Influence of planting date and cultivar on soybean sudden death syndrome in Kentucky, *Plant Dis.*, **74**, 761-766.
- Hong J.K., Sung C.H., Kim D.K., Yun H.T., Jung W. & Kim K.D., 2012, Differential effect of delayed planting on soybean cultivars varying in susceptibility to bacterial pustule and wildfire in Korea, *Crop Prot.*, **42**, 244-249.
- Huang X., Zhai J., Luo Y. & Rudolph K., 2008, Identification of a highly virulent strain of *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*, *Eur. J. Plant Pathol.*, **122**, 461-469.
- Janse J.D., 2005, *Phytopathology: principles and practice*, CAB publishing, 360.
- Jeger M.J. & Viljanen-Rollinson S.L.H., 2001, The use of the area under the disease progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars, *Theor. Appl. Genet.*, **102**, 32- 40.
- Jung W.J., Park R.D., Mabood F., Souleimanov A. & Smith D.L., 2011, Effects of *Pseudomonas aureofaciens* 63-28 on defense responses in soybean plants infected by *Rhizoctonia solani*, *J. of Microbiol. Biotechnol.* **21**, 379-386.
- Kaewnum S., Prathuangwong S. & Burr T.J., 2005, Aggressiveness of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* isolates to soybean and hypersensitivity responses by other plant, *Plant Pathol.*, **54**, 409-415.
- Kueneman E.A., Root W.R., Dashiell K.E. & Hohenberg, 1984, Breeding soybean for the tropics capable of nodulating effectively with indigenous *Rhizobium* spp, *Plant Soil*, **82**, 387-396.
- Mekalanos J.J., 1992, Environmental signals controlling expression of virulence determinants in bacteria, *J. Bacteriol.*, **174**, 1-7.
- Narvel J.M., Jakkula L.R., Phillips D.V., Wang T., Lee S.H. & Boerma H.R., 2001, Molecular mapping of Rxp conditioning reaction to bacterial pustule in soybean, *J. Heredity*, **92**, 267-70,
- Ochoa-Acuña H.G., Bialkowski W., Yale G. & Hahn L., 2009, Toxicity of soybean rust fungicides to freshwater algae and *Daphnia magna*, *Ecotoxicol.*, **18**, 440-446.
- Prathuangwong S. & Amnuaykit K., 1987, Studies on tolerance and rate reducing bacterial pustule of soybean cultivars/lines, *Kasetsart J. Nat. Sci.*, **21**, 408-420.
- Prathuangwong S., Preecha C. & Thaveechai N., 1993, *Development standard method and format for measuring severity of soybean bacterial pustule*, In: Proceedings of the 6th International Congress of Plant Pathology 1993, Montreal, Canada, Abstract **6,4.1**.
- Sang M.K., Kim J.D., Kim B.S. & Kim K.D., 2011, Root treatment with rhizobacteria antagonistic to *Phytophthora* blight affects anthracnose occurrence, ripening, and yield of pepper fruit in the plastic house and field, *Phytopathol.*, **101**, 666-678.

24. Shaner G. & Finney R.E., 1977, The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in known wheat, *Phytopathol.*, **67**, 1051-1056.
25. Sharma A., Nair P.M., Pawar S.E., 1993, Identification of soybean strains resistant to *X. campestris* pv. *glycines*, *Euphytica*, **67**, 95-99.
26. Sinclair J.B., 1999, *Bacterial pustule*, In: Hartman G.L., Sinclair J.B. & Rupe, J.B., (Eds.), Compendium of Soybean Disease, *Am. Phytopathol. Soci.*, St. Paul, MN, 6-7.
27. Scott R.A. & Milliken G.A., 1993, A SAS program for analyzing augmented randomized complete-block designs, *Crop Sci.*, **33**, 865-867.
28. Smedegaard-Petersen V. & Tolstrup K., 1985, The limiting effect of disease resistance on yield, *Annual Rev. Phytopathol.*, **23**, 475-490.
29. Suryadi Y., Suhendar M.A., Akhdiya A., Manzila I., Wawan, 2012, Evaluation of soybean germplasm for its resistance to several foliar pathogens in Indonesia, *J. Agric. Technol.*, **8**, 761-773.
30. Wolfinger R.D., Federer W.T. & Cordero-Brana O., 1997, Recovering information in augmented designs using SAS PROC GLM and PROC MIXED, *Agron. J.*, **89**, 856-859.
31. Wrather J.A., Anderson T.R., Arsyad D.M., Tan Y., Ploper L.D., Porta-Puglia A., Ram H.H. & Yorinori J.T., 2001, Soybean disease loss estimates for the top ten soybean-producing countries in 1998, *Can. J. Plant Pathol.*, **23**, 115-121.
32. Zinsou V., Afouda L., Zoumarou-Wallis N., Pate-Bata T., Dannon F., Götz M. & Winter S., 2013, *Présence et caractérisation de Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, agent causal de la pustule bactérienne dans les savanes guinéenne et soudanienne du Bénin, CAMES – Premières journées scientifiques – Abidjan, 5, 6 et 7 décembre 2013, Communication 5.15, 55.

V.A. Zinsou, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

F. Afloukou, Béninois, Ingénieur Agronome, Assistant de Recherche, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

E. Sekloka, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

F. Dannon, Béninois, Ingénieur Agronome, Assistant de Recherche, Université de Parakou, Parakou, Bénin.

N. Zoumarou-Wallis, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

L.A.C. Afouda, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Bénin.

L. Dossou, Béninois, Ingénieur Agronome, Assistant de Recherche Université de Parakou, au LAReM3P, Parakou, Bénin.

Intégration des marchés ruraux et urbains de la banane à cuire dans le sud-est de la Province du Sud du Rwanda

F. Niyitanga^{1*}

Keywords: Rural and urban markets- Cooking banana- Price transmission- Markets integration- Rwanda

Résumé

Ce travail consiste à analyser l'intégration spatiale des marchés ruraux et urbains de la banane à cuire dans le Sud-est de la province du Sud du Rwanda. Il utilise des séries de prix chronologiques allant de 2001 à 2006 constituées à partir d'une enquête sur la commercialisation des produits agricoles sur les marchés ruraux et urbains. L'analyse se fait à l'aide des méthodes de cointégration accompagnées d'un modèle à correction d'erreur (ECM). Les résultats de l'étude montrent qu'il n'y a généralement pas de transmission de prix entre les marchés ruraux et urbains de la banane à cuire. Par conséquent, leur intégration spatiale est faible. Cette faible intégration signifie qu'il existe des opportunités d'arbitrage non exploitées qui auraient conduit à la création de «monopoles géographiques» car, il y a sur chaque marché rural, des commerçants qui collectent la banane à cuire pour la commercialiser uniquement localement. Cette faible intégration spatiale de ces marchés ruraux et urbains peut être liée aux infrastructures commerciales pauvres (routes et infrastructures pour la communication) et au manque d'information sur les forces du marché (offre, demande et prix). Il serait ainsi nécessaire de développer et d'améliorer les infrastructures commerciales pour améliorer l'intégration des marchés de la banane à cuire dans le Sud-Est de la province du Sud du Rwanda. L'intégration des marchés peut à son tour conduire à la spécialisation de producteurs de la banane à cuire et à l'augmentation de la production de cette denrée.

Summary

Integration of Rural and Urban Cooking Banana Markets in the South-East of Rwanda Southern Province

This study consists of the analysis of spatial integration of rural and urban markets of cooking banana in the South-East of Southern province of Rwanda. It uses time series of 2001-2006 period resulting from a survey on agricultural products commercialization in rural and urban markets. The analysis used the methods of co-integration and error correction model (ECM). The results of the study show that there is, in general, weak price transmission between rural and urban markets of cooking banana. Hence rural and urban markets of cooking banana are weakly integrated. The weak integration of markets means that there exist unexploited opportunities of arbitration that would have led to the creation of "geographical monopolies" because, on each rural market, there are traders who collect the cooking banana to sell it only on the same market. This weak spatial integration of rural and urban markets can result from poor commercial infrastructures (roads and communication infrastructures) and the lack of information on market (supply, demand and price). It would be necessary to develop and improve the commercial infrastructures for improving the spatial integration of cooking banana rural and urban markets in the South-East of the Southern province of Rwanda. Market integration can in turn lead to the specialization of producers of cooking banana and to the increase of cooking banana production.

¹Université du Rwanda, Ecole d'Agriculture, Développement rural et Economie agricole, Busogo, Rwanda.

*Auteur correspondant: E mail: fniyitanga@yahoo.fr

Reçu le 17.03.15 et accepté pour publication le 05.07.15

Introduction

Le Rwanda envisage d'être un pays à revenu moyen à l'horizon 2020 (10). D'après le MINECOFIN, ceci exige que l'agriculture contribue à 6.3% à la croissance annuelle du PIB (11). C'est dans ce cadre que le gouvernement recommande l'utilisation de l'engrais chimique et des variétés améliorées, la régionalisation des cultures et le développement des filières agricoles en fonction des marchés (10). Ces derniers stimulent la production agricole et facilitent son écoulement et le transfert du surplus agricole aux autres secteurs de l'économie, condition d'une croissance rapide (6).

Les marchés agricoles domestiques consistent en marchés urbains et ruraux. Ces derniers se trouvent, comme ailleurs au monde, dans des milieux ruraux où ils jouent le rôle fondamental «en tant que structures commerciales de proximité où les petits paysans vendent leurs produits et achètent des biens de consommation» (12). Ils sont donc en amont des filières agricoles qui solidarisent tous les intermédiaires le long d'elles et qui contribuent ainsi à faire progresser le produit vers le consommateur et la rémunération monétaire vers le producteur. Par conséquent, l'écart entre le prix d'achat en amont de la filière et le prix de vente en aval importante implique une diminution des débits des flux ascendants des biens de consommation et des flux descendants des rémunérations (7). Autrement dit, les biens de consommation deviennent plus chers; ce qui implique la diminution des rémunérations des producteurs agricoles qui vendent des produits agricoles pour acheter des biens de consommation. Ce fonctionnement de marché débouche à la démotivation des fermiers, au désinvestissement agricole (c'est-à-dire que le secteur agricole est moins considéré comme un secteur d'investissement rentable) et le retour des fermiers à l'agriculture d'autosubsistance (3 et 4). Les produits agricoles doivent alors circuler des zones de production vers les zones de consommation et chaque opération doit être rétribuée à sa juste valeur pour une commercialisation agricole efficiente (3 et 4); une des conditions pour le développement agricole. Il est donc nécessaire que le bon fonctionnement des

marchés agricoles aille de pair avec le développement des filières agricoles axées sur le marché.

Dans cette optique, le Gouvernement rwandais s'est engagé à promouvoir les systèmes de commercialisation agricoles à travers le développement des filières agricoles d'exportation (internationale et régionale) et de réduction des importations (demande intérieure), la transformation des produits agricoles et le développement des infrastructures économiques (10). Parmi les filières de réduction des importations figurent la filière des bananes composée de trois sous-filières notamment la banane à bière (vin), la banane à cuire et la banane dessert. Le gouvernement a décidé de transformer et de moderniser la filière des bananes en mettant, d'une part, l'accent sur la production de la banane à cuire et dessert pour augmenter les revenus des agriculteurs à travers la commercialisation de la récolte et en décourageant, d'autre part, la production de la banane à bière pour lutter contre l'alcoolisme (9). Ainsi, la production de la banane à cuire devrait passer de 30% à 45%; celle de la banane dessert de 10% à 25% tandis que celle de la banane à bière de 60% à 30% (9). En plus, le gouvernement recommande l'utilisation massive d'engrais minéral et de rejets de banane améliorés, la mise en place de plantations bananières (banane à cuire ou banane dessert) pures et la considération des caractéristiques agro-écologiques et de conditions climatiques favorables au développement de culture de la banane pour mettre en place les plantations bananières.

L'intégration des marchés est l'un des aspects important du bon système de commercialisation des produits agricoles. En effet, elle accroît les revenus des producteurs grâce à une meilleure exploitation des économies d'échelle et des avantages comparatifs et stabilise les prix agricoles en protégeant les marchés intérieurs des chocs; contribuant ainsi à la sécurité alimentaire (8). Son absence empêche, par contre, la transmission des signaux de prix des régions à excédent alimentaire aux régions à déficit alimentaire et la spécialisation des producteurs agricoles selon la théorie de l'avantage comparatif à long terme (8).

Elle implique aussi plus de volatilité de prix et la réalisation difficile des gains du commerce (8). Autrement dit, l'absence d'intégration empêche la spécialisation et de profiter adéquatement les gains du commerce notamment la meilleure application des ressources, l'augmentation rapide des possibilités d'innovation et de changements techniques, le développement d'une économie plus florissante, etc. Par conséquent, cet article vise à analyser l'intégration spatiale des marchés ruraux et urbains de la banane à cuire dans le Sud-Est de la province du Sud du Rwanda.

Matériel et méthodes

Cette étude utilise les séries de prix hebdomadaires de la banane à cuire pour la période 2001-2006 extraites de la base de données du Centre de Recherche et d'Information en Socio-Economie Rurale (CRISER) de l'ancienne Université Nationale du Rwanda. Elles sont traitées à l'aide du logiciel « Eviews 7 » et analysées à l'aide des tests de stationnarité et de cointégration et du modèle à correction d'erreur; les méthodes plus appropriées pour analyser l'efficacité des marchés quand les prix sont les seules données disponibles (1).

Test de stationnarité

Une série chronologique y_t est stationnaire si: -sa moyenne est constante et indépendante du temps (Equation I):

$$(y_t) = \sum (y_{(t+m)}) = \mu \quad \forall t \text{ et } \forall m \quad \text{I}$$

-sa variance est finie et indépendante du temps (Equation II):

$$\text{var}(y_t) < \infty \quad \forall t, \quad \text{II}$$

-sa covariance est indépendante du temps (Equation III):

$$\text{cov}(y_t, y_{(t+k)}) = E[(y_t - \mu)(y_{(t+k)} - \mu)] = \gamma_t \quad \text{III}$$

Le test de stationnarité est utile pour connaître précisément les moments d'une série à étudier et de la rendre stationnaire le cas échéant (2). Les tests de Dickey-Fuller augmentés (ADF) suivants sont appliqués à cette fin (Equations IV, V et VI):

$$\Delta(y_t) = \rho y_{(t-1)} - \sum_{j=2}^p \Phi_j \Delta y_{(t-j+1)} + \varepsilon_t \quad \text{IV}$$

$$\Delta(y_t) = \rho y_{(t-1)} - \sum_{j=2}^p \Phi_j \Delta y_{(t-j+1)} + c + \varepsilon_t \quad \text{V}$$

$$\Delta(y_t) = \rho y_{(t-1)} - \sum_{j=2}^p \Phi_j \Delta y_{(t-j+1)} + c + bt + \varepsilon_t \quad \text{VI}$$

Avec $\varepsilon_t \rightarrow i.i.d$

On estime par les MCO les trois modèles et on teste l'hypothèse $H_0: |\rho| = 1$ contre l'hypothèse $H_1: |\rho| < 1$. Si H_0 est retenue dans l'un de ces trois modèles, la série est non stationnaire (2).

Test de cointégration des variables

On étudie d'abord l'ordre de l'intégration des séries. Une série est intégrée d'ordre d (notée $x_t \rightarrow I(d)$, s'il faut la différencier d fois pour la rendre stationnaire. La cointégration exige que les séries soient intégrées de même ordre. On estime ensuite par les MCO l'équilibre de long terme entre les variables: $y_t = a_1 x_t + a_0 + \varepsilon_t$.

Cette estimation dégage un résidu $e_t = y_t - \hat{a}_1 x_t - \hat{a}_0$ qui doit être stationnaire pour que la relation de cointégration soit acceptée (2).

Estimation du modèle à correction d'erreur (ECM)

On estime d'abord par les MCO la relation de long terme et on calcule le résidu e_t (Equations VII et VIII):

$$y_t = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x_{(1t)} + \hat{a}_2 x_{(2t)} + \dots + \hat{a}_k x_{(kt)} + e_t \quad \text{VII}$$

$$e_t = y_t - \hat{a}_0 - \hat{a}_1 x_{(1t)} - \hat{a}_2 x_{(2t)} - \dots - \hat{a}_k x_{(kt)} \quad \text{VIII}$$

Ensuite, on estime par les MCO l'ECM (Equation IX):

$$\Delta(y_t) = \beta_1 \Delta x_{1t} + \beta_2 \Delta x_{2t} + \dots + \beta_k \Delta x_{kt} + \lambda_1 e_{(t-1)} + \rho y_{(t-1)} + \mu_t \quad \text{IX}$$

$\lambda_1 < 0$.

Le coefficient λ qui est une force de rappel vers l'équilibre doit être significativement négatif. Dans le cas contraire; il faut rejeter la spécification ECM car le mécanisme de correction d'erreur irait dans le sens contraire et s'éloignerait de la cible de long terme (2).

Résultats et discussion

Echange de la banane à cuire entre marchés urbains et ruraux

Il y a deux principaux blocs de commercialisation de la banane à cuire dans le Sud-Est de la province du Sud du Rwanda. Le premier bloc est celui du Nord qui est constitué du marché urbain de Nyanza et des marchés ruraux de Ntyazo et de Rugogwe. Le deuxième bloc est celui du Sud constitué du marché urbain de Ngoma (ville de Butare) et des marchés de production de Nyaruteja et de Viro. Les marchés de Ngoma et de Nyanza s'approvisionnent aussi auprès d'autres zones de production de la banane à cuire. C'est dans ce cadre que le marché de Nyanza s'approvisionne souvent auprès du secteur de Rukondo du district de Nyamagabe (ex-province de Gikongoro). Le marché de Ngoma accueille par contre la banane à cuire provenant du district de Rusizi (ex-province de Cyangugu), de la RDC. Notons que l'analyse économétrique de la transmission de prix entre les marchés urbains et ruraux de la banane à cuire se base sur ces deux blocs d'échange de la banane à cuire.

Transmission de prix entre les marchés urbains et ruraux de la banane à cuire

Etude de la stationnarité des séries

Les séries de prix sur lesquelles porte le test de la stationnarité sont *pnyanza*, *pntyazo*, *pngoma*, *prugogwe*, *pnaruteja* et *pviro*. La Lettre «p» signifie le prix; elle est suivie du nom du marché sur lequel la banane à cuire est commercialisée. Les marchés de Ngoma et Nyanza sont urbains alors les marchés de Viro, Nyaruteja, Rugogwe et Ntyazo sont ruraux.

On constate que pour chacune des séries étudiées, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse d'une racine unitaire quels que soient le modèle et le seuil de décision. Les séries de prix en niveau sont toutes non-stationnaires.

Etude de la relation de long terme entre les marchés ruraux et urbains

Toutes les séries de prix en différences premières n'ont pas de racine unitaire et sont intégrées d'ordre 1 (Tableau 1).

Par conséquent, il y a un risque de la cointégration entre les marchés urbains et ruraux de la banane à cuire. La condition nécessaire à la cointégration étant vérifiée, nous estimons la relation de long terme entre les marchés. Les séries sont transformées en logarithme pour pouvoir interpréter les coefficients des estimations de la relation de long terme comme des élasticités de transmission de prix si les marchés sont intégrés (13). L'estimation se fait en double sens car les marchés peuvent s'influencer mutuellement sur la formation de prix.

Estimons d'abord la relation de long terme entre les marchés du Nord. Les modèles à estimer sont spécifiés comme suit:

$$\text{Modèle 1: } \ln pnyanza_t = \beta_1 + \beta_2 \ln pntyazo_t + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 2: } \ln pntyazo_t = \beta_1 + \beta_2 \ln pnyanza_t + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 3: } \ln pnyanza_t = \beta_1 + \beta_2 \ln prugogwe_t + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 4: } \ln prugogwe_t = \beta_1 + \beta_2 \ln pnyanza_t + \varepsilon_t$$

L'étude de la stationnarité de la série de résidus issus de chaque estimation montre que les résidus sont tous stationnaires quelque soient le modèle et le seuil considérés (Tableau 2). Par conséquent, il existe la relation de long terme entre les marchés de Nyanza et de Ntyazo d'une part; et de Rugogwe d'autre part.

Etudions ensuite la relation de long terme entre les marchés du Sud. Les modèles à estimer sont spécifiés comme suit:

$$\text{Modèle 1: } \ln pnaruteja_t = \beta_1 + \beta_2 \ln pngoma_t + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 2: } \ln pngoma_t = \beta_1 + \beta_2 \ln pnaruteja_t + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 3: } \ln pviro_t = \beta_1 + \beta_2 \ln pngoma_t + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 4: } \ln pngoma_t = \beta_1 + \beta_2 \ln pviro_t + \varepsilon_t$$

L'étude de la stationnarité de la série de résidus issue de chaque estimation montre que les résidus sont tous stationnaires quelque soient le modèle et le seuil considérés (Tableau 3). Il existe alors la relation de long terme entre les marchés de Ngoma et de Nyaruteja d'une part; et de Viro d'autre part.

Tableau 1

Tests ADF sur les séries de prix en niveau.

Series de prix	ADF		
	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3
$pngoma_t$	0.02	-0.99	-2.49
$pnyanza_t$	-0.17	-1.72	-2.54
$pntyazo_t$	-0.29	-1.78	-3.06
$prugogwe_t$	-0.35	-2.18	-3.23
$pnyaruteja_t$	0.47	-1.19	-2.68
$pviro_t$	0.71	-1.14	-3.04

Source: Nos calculs avec Eviews

Seuils	1,00%	5,00%	10,00%
Modele1	-2.57	-1.94	-1.61
Modèle 2	-3.45	-2.87	-2.57
Modèle 3	-4.00	-3.43	-3.13

Tableau 2

Résultats de l'estimation des dynamiques de court terme de prix sur les marchés du Nord.

Paramètres de la régression	Equation 1	Equation 2	Equation 3	Equation 4
γ	-0.20 [0.00]	-0.21 [0.00]	-0.14 [0.00]	-0.31 [0.00]
β_1	0.13 [0.06]	0.07 [0.16]	0.07 [0.11]	0.08 [0.30]
β_2	-0.16 [0.00]	-0.21 [0.00]	-0.26 [0.00]	-0.04 [0.49]
R ² ajusté	0.13	0.17	0.15	0.17

Source: Nos calculs avec Eviews, Seuil : 5%, []: Probabilité.

Tableau 3

Résultats de l'estimation des dynamiques de court terme de prix sur les marchés du Sud.

Paramètres de la régression	Equation 1	Equation 2	Equation 3	Equation 4
γ	-0.11 [0.00]	-0.42 [0.00]	0.004 [0.86]	-0.41 [0.00]
β_1	0.08 [0.00]	0.30 [0.01]	0.03 [0.31]	-0.05 [0.61]
β_2	-0.36 [0.00]	-0.04 [0.50]	-0.39 [0.00]	-0.07 [0.23]
R ² ajusté	0.20	0.20	0.16	0.24

Source: Nos calculs avec Eviews, Seuil: 5%, []: Probabilité.

Les résultats de l'étude de la relation de long terme entre marchés urbains et ruraux de la banane à cuire appellent à analyser les dynamiques de court terme de prix sur les marchés ruraux et urbains.

Dynamiques de court terme de prix ruraux et urbains

Analysons d'abord les dynamiques de court terme de prix sur les marchés du Nord. Les équations à estimer sont spécifiées comme suit:

$$1: \Delta \ln pntyazo_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pnyanza_t + \beta_2 \Delta \ln pntyazo_{t-1}$$

$$2: \Delta \ln pnyanza_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pntyazo_t + \beta_2 \Delta \ln pnyanza_{t-1}$$

$$3: \Delta \ln pnyanza_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln prugogwe_t + \beta_2 \Delta \ln pnyanza_{t-1}$$

$$4: \Delta \ln prugogwe_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pnyanza_t + \beta_2 \Delta \ln prugogwe_{t-1}$$

À la lecture du tableau 3, on voit que le terme à correction d'erreur (ECT_{t-1}) est bien significativement négatif pour toutes équations estimées.

Il apparaît aussi que la dynamique de court terme de $\ln pnyanza_t$ dépend de l'erreur (ECT_{t-1}) observée sur la relation de cointégration et de ses propres variations passées ($\Delta \ln pnyanza_{t-1}$)

La dynamique de court terme de $\ln pntyazo_t$ dépend de l'erreur (ECT_{t-1}) observée: sur la relation de cointégration et de ses propres variations passées ($\Delta \ln pntyazo_{t-1}$).

La dynamique de court terme $\ln prugogwe_t$ ne dépend que de l'erreur (ECT_{t-1}) observée sur la relation de cointégration. Aucun coefficient de la relation de long terme n'est significatif. Ceci met en cause l'intégration de marchés de Nyanza et de Ntyazo d'une part, et de Rugogwe d'autre part.

Etudions ensuite les dynamiques de court terme de prix sur les marchés du Sud. Les équations à estimer sont spécifiées comme suit:

$$1: \Delta \ln pngoma_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pnyaruteja_t + \beta_2 \Delta \ln pngoma_{t-1}$$

$$2: \Delta \ln pnyaruteja_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pngoma_t + \beta_2 \Delta \ln pnyaruteja_{t-1}$$

$$3: \Delta \ln pngoma_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pviro_t + \beta_2 \Delta \ln pngoma_{t-1}$$

$$4: \Delta \ln pviro_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pngoma_t + \beta_2 \Delta \ln pviro_{t-1}$$

À la lecture du tableau 3, on s'aperçoit que le terme à correction (ECT_{t-1}) est bien significativement négatif pour toutes les équations estimées à l'exception de l'équation 3. La dynamique de court terme de $\ln pngoma_t$ ne dépend que de l'erreur observée (ECT_{t-1}) sur la relation de cointégration et de ses propres variations passées ($\Delta \ln pngoma_{t-1}$) ainsi que de variation de $\ln pnyaruteja_t$. La dynamique de court terme de $\ln pnyaruteja_t$ ne dépend que de l'erreur observée ECT_{t-1} sur la relation d'équilibre de long terme et de variation de $\ln pngoma_{t-1}$. Les coefficients de la relation de cointégration sont significatifs. Ceci permet de conclure que les marchés de Ngoma et de Nyaruteja sont intégrés. L'élasticité de transmission de prix entre ces marchés est plus ou moins parfaite. La vitesse d'ajustement du marché de Ngoma au marché de Nyaruteja est de 42% dans une période de 7 jours alors que celle du marché de Nyaruteja au marché de Ngoma est de 11% dans une période de 7 jours. Ces vitesses d'ajustement sont faibles étant donné la distance qui sépare ces deux marchés qui peut exiger une heure à deux heures de voyage en camionnette. La dynamique de court terme de $\ln pviro_t$ dépend seulement de l'erreur observée sur la relation de cointégration. Il n'y a aucun coefficient de la relation de long terme qui est significatif. Ceci met en cause l'intégration de marchés de Ngoma et de Viro. La dynamique de court terme de prix sur chaque marché dépend généralement de l'erreur observée sur la relation de cointégration et de ses propres variations passées.

Conclusion

L'analyse de la transmission de prix entre marchés ruraux et urbains de la banane à cuire montre qu'il n'y a généralement pas de transmission de prix entre les marchés ruraux et les marchés urbains à l'exception de marchés de Nyaruteja et de Ngoma pour lesquels l'élasticité de transmission de prix est plus ou moins parfaite. La vitesse d'ajustement de prix sur ces marchés de Nyaruteja et de Ngoma est par contre faible. Ces résultats montrent que les marchés ruraux et urbains de la banane à cuire fonctionnent presque indépendamment les uns des autres.

Les marchés ruraux et urbains de la banane à cuire sont donc faiblement intégrés. Cette faible intégration peut montrer qu'il existe des opportunités d'arbitrage non exploitées. Ces dernières auraient conduit à la création de «monopoles géographiques» qui se traduisent par les commerçants collecteurs basés sur chaque marché rural pour y commercialiser la banane à cuire. Ces commerçants s'intéressent peu donc à la collecte de la banane à cuire pour l'approvisionnement des marchés urbains. La faible intégration des marchés ruraux et urbains peut être liée aux infrastructures commerciales pauvres

(routes et infrastructures pour la communication) et au manque d'information sur les conditions du marché (offre, demande et prix).

Il serait ainsi inévitable de développer et d'améliorer les infrastructures commerciales pour promouvoir et faciliter l'intégration spatiale des marchés de production et de consommation de la banane à cuire dans le Sud-Est de la province du Sud du Rwanda et les échanges commerciaux de la banane à cuire éventuels entre ces marchés. L'intégration spatiale et le développement des échanges commerciaux peuvent à son tour conduire à la spécialisation de producteurs de la banane à cuire et à l'augmentation de la production de la banane à cuire.

Références bibliographiques

1. Barrett C.B. & Li J.R., Distinguishing between Equilibrium and integration in spatial price analysis. In: *Am. J. Agric. Econ.*, **84**, 2, 2002, 292-307.
2. Bourbonnais R., 2005, *Econométrie, manuel et exercices corrigés*, 6^e Edition, DUNOD, 352.
3. Degand J., 2004, *Marchés défaillants ou paysans trop prudents*, communication au séminaire du CRISER, UNR, Butare, 12.
4. Degand J., 2003, *Problématique du fonctionnement des marchés ruraux dans le contexte d'autosuffisance et de sécurité alimentaire*. Communication au séminaire sur l'Étude des marchés des produits agricoles dans la région des grands lacs: cas du Burundi et du Rwanda. Ngozi, 13.
5. Fackler P.L. & Goodwin B.K., 2001, *Spatial price analysis*. In: *Handbook of Agricultural Economics*, 971-1024. Department of Agricultural & Resource Economics, North Carolina State University.
6. Hayami Y. & Ruttan V.W., 1998, *Agriculture et développement, une approche internationale*, Editions INRA, France.
7. Leplaideur A., 1998, *Conflits et alliances entre les marchés internationaux et locaux: riz et légumes dans cinq pays africains*, 473-490. In: *Prix, produits et acteurs. Méthodes pour analyser la commercialisation agricole dans les pays en développement*. Editions KARTHALA- CIRAD - CIP, France.
8. Mabaya E., 2004, *L'intégration spatiale de marchés et échange discontinu: une analyse des marchés spot urbains pour la tomate au Zimbabwe*. In: *Économie rurale*, **283**, 62-71.
9. MINAGRI, 2005, *Programme national pour le développement de la banane*, Kigali, 19.
10. MINAGRI, 2004, *Plan Stratégique pour la Transformation de l'Agriculture au Rwanda*, Kigali, 71.
11. MINECOFIN, 2000, *Vision 2020 du Rwanda*, Kigali, 29.
12. Porter G., 1998, *Méthodes de terrain pour l'étude du rôle des marchés ruraux périodiques dans les PVD*, 175-200. In: *Prix, produits et acteurs. Méthodes pour analyser la commercialisation agricole dans les pays en développement*. Editions KARTHALA-CIRAD- CIP, France.
13. Simioni M., 2003, *Étude sur les liens entre prix agricoles à la production et prix alimentaires*, INRA, 146.

Caractéristiques des sols sous savane et sous forêt naturelle sur le plateau des Batéké en République Démocratique du Congo

B.M. Nsombo^{1*}, R.S. Lumbuenamo¹, J. Lejoly³, J.K. Aloni⁴ & P.M-M. Mafuka⁵

Keywords: Sandy soils- Savanna- Forest- Fertility- Bateke- DR Congo

Résumé

Le raccourcissement continu des jachères dans le système traditionnel de culture sur brûlis figure parmi les contraintes majeures pour la reconstitution naturelle de la fertilité des sols sableux des savanes, qui représentent le tiers des terres arables de la RDC. Au plateau des Batéké, l'agroforesterie en savane figure parmi les alternatives pour l'amélioration de la productivité des sols. La présente étude fait une évaluation préliminaire du cortège de nutriments dans les 120 premiers cm du sol, afin de caractériser la parcelle de savane et de forêt évoluant sur le même matériel parental, ayant la kaolinite comme argile dominante, et de vérifier l'opportunité de soutenir l'agroforesterie en savane. Quatre-vingt-dix échantillons composites ont été prélevés et analysés. La comparaison des moyennes et l'analyse discriminante ont été utilisées. Les résultats d'analyses n'ont pas montré de différences significatives des teneurs en nutriments sous savane et sous forêt. Les meilleurs rendements des cultures sur brûlis en forêt s'expliqueraient plus par la contribution de la matière organique qui produit des grandes quantités de cendre en améliorant la balance nutritionnelle du sol. L'agroforesterie se justifierait alors car elle constitue non seulement une source importante de matière organique, mais permettrait également d'écourter le temps de la jachère.

Summary

Soil Characteristics Under Savanna and Natural Forest on the Bateke Plateau in the Democratic Republic of Congo

One of the major constraints for the natural replenishment of the fertility of savanna sandy soils is the continual shortening of fallow in the traditional slash and burn system. On the Bateke plateau, agroforestry appeared as one of the alternative systems to cope with soils poverty. This study is a preliminary assessment of soil nutrient contents up to 120 cm deep, under natural savanna and forest, developed on the same parent material with kaolinite as dominant clay and to assess the opportunity to support agroforestry. Ninety composite soil samples were collected and analyzed. Mean comparisons and discriminate analyses were used for statistical purpose. The result of statistical analysis did not show significant differences in soil composition. The high yields in shifting cultivation after forest clearance could be explained by the contribution of organic matter, due to large quantities of ashes that improves the nutrient balances in the soil. Agroforestry is then justified not only because of its high supply of organic matter, but also because it can really shorten the fallow duration.

¹Ecole régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux, Kinshasa, RD Congo.

²Professeur Émérite Université libre de Bruxelles, Bxuxelles, Belgique.

³Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, Kinshasa, RD Congo.

⁴Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles, Kinshasa, RD Congo.

*Auteur correspondant: E mail: blnsombo@gmail.com

Introduction

En République Démocratique du Congo (RDC) comme dans toute l'Afrique centrale, les sols sous forêt constituent la cible des agriculteurs qui les préfèrent aux sols de savane, ces derniers donnant des rendements des cultures moins élevés, et ils sont majoritairement sablonneux.

De ces sols sablonneux qui représentent le tiers des terres arables du pays, il y a ceux du plateau des Bateke qui sont issus des sables de recouvrement du groupe de Kalahari (> 90% de sable). Ce sont des sols acides (pH eau moyen inférieur à 5.5), secs, lessivés, et à faible capacité d'échange cationique. Les contraintes majeures pour la reconstitution naturelle de la fertilité du sol sont entre autres dues à un raccourcissement continu des jachères et au système traditionnel de culture sur brûlis, entraînant à brève échéance la dégradation de l'environnement productif; on y pratique que 2 cultures successives au maximum. Les facteurs limitant la mise en valeur de ces sols sont ainsi leur faible fertilité biochimique, leur sécheresse et leur acidité (12).

Pour relever le niveau de fertilité des sols de savane en vue d'une agriculture durable, plusieurs solutions ont été tentées. Parmi celles-ci figure l'usage d'engrais chimiques qui, dans le contexte actuel de l'agriculture rurale paysanne, est fortement limité d'une part, par les coûts élevés d'acquisition et/ou l'inaccessibilité pour les agriculteurs, et d'autre part, l'irrégularité de l'approvisionnement en intrants agricole (5, 8). C'est ainsi que l'utilisation des plantes améliorantes à usages multiples telles que les légumineuses ligneuses, figure parmi les alternatives de premier ordre (15, 17).

C'est dans ce cadre que l'agroforesterie avec *Acacia auriculiformis* Benth. et *Acacia mangium* Willd. prend de l'ampleur au plateau des Bateke. Les plantations de ces essences exotiques sont ainsi établies en remplacement de la savane qui est le couvert végétal dominant de la zone, afin de recréer plus ou moins les conditions de fertilité des sols sous forêt, grâce à l'abondante biomasse produite et incorporer au sol, et leur aptitude à fixer l'azote atmosphérique.

La présente étude est une évaluation préliminaire du cortège des nutriments sous deux parcelles couvertes d'une savane à *Loudetia* sp, couvert végétal dominant du plateau des Bateke et d'un bosquet à *Milletia laurentii* De Wild, relique et témoin des forêts qui recouvraient autrefois le plateau des Bateke. Ces deux couverts qui sont situés à Ibi village ont plus de 10 ans, se développent sur le même *substratum* et sous les mêmes conditions climatiques. L'étude se veut entre autres de vérifier l'opportunité de développer l'agroforesterie avec *Acacia* sp pour l'amélioration de la productivité des sols sableux (du plateau des Bateke), dont les effets sont diversement interprétés. De ces effets il y a l'augmentation des rendements agronomiques des cultures et la diversification des sources de revenu pour les exploitants (11, 23); l'augmentation substantielle de la quantité de litière (12, 21); la diminution du pH du sol sous les plantations d'*Acacias* sp d'au moins 10 ans d'âge (12); la création d'un micro climat aux effets positifs sur l'environnement (19, 22).

Milieu, matériels et méthodes

Le plateau de Bateke est constitué de sols sableux où la kaolinite est l'argile dominante, classés selon le système WRB comme Ferralic Arenosol (Dystric) (2, 10). Son relief monotone est parsemé des dépressions subcirculaires et des rivières encaissées dans les vallées profondes (> 150 m) spécialement dans la partie ouest. La strate herbacée qui constitue la formation végétale la plus étendue est dominée par les *Loudetia demeusei* (De Wild.) C.E. Hubb et *Loudetia simplex* (Nees) C.E. Hubb sur le plateau, et par l'*Hyparrhenia diplandra* (Hack.) Stapf sur les sols des dépressions. La strate arbustive est très discontinue, les arbustes tel que *Hymenocardia acida* Tul. et *Combretum psidioides* Welw. se mêlant aux arbres avec *Pterocarpus angolensis* DC parmi les plus communs. Les forêts galeries semi-sempervirentes et les forêts édaphiques liées aux sols hydro-morphes occupent les berges des cours d'eau, les vallées et les versants des rivières.

Les forêts initiales qui recouvraient essentiellement ces versants sont fortement réduites à des jachères de différents âges en dégradation continue. Des rares îlots forestiers subsistent çà et là, avec des espèces reliques telles que *Millettia laurentii* De Wild., *Dracaena nitens* Welw., *Pentaclethra eetveldeana* De Wild et Th. Dur et bien d'autres (14, 25); ils témoignent de la végétation d'autre fois.

Parmi ces rares îlots figure un bosquet d'une superficie de plus de 10 hectares, protégé depuis plus de 10 ans, qui a suscité un grand intérêt pour la recherche pédologique dans la présente étude. Il est situé sur le plateau des Bateke, à ± 150 km au nord-est dans l'hinterland de la ville de Kinshasa. Ce plateau s'étend sur environ 7.948 km²; dans cette partie de la RDC, le sol est lessivé, profond et sec car bien drainé, la nappe phréatique s'y trouve à plus de 180 m de profondeur (selon les données sur le forage de Mampu). Le climat y est de type Aw₄ selon la classification de Köppen; c'est un climat tropical humide avec 4 mois de saison sèche bien marquée (13).

Des échantillons des sols ont été prélevés autour de deux points géographiquement localisés à 04,32617° S - 16,11630° E en savane et à 04,33022° S - 16,12401° E en forêt. Ces deux sites évoluant côte à côte n'ont pas été mis en culture et ont été protégés des feux de brousse les 10 dernières années (Figure 1).

Chaque échantillon était un composite issu de 3 prélèvements, effectués jusqu'à une profondeur de 120 cm, subdivisée en 3 tranches [de 0 - 30 cm (Pr1); 30 - 60 cm (Pr2) et 60 - 120 cm (Pr3)]. Pour chaque site, il y avait 3 répétitions spatiales et 5 répétitions temporelles (février 2012 - juillet 2012 - novembre 2012 - février 2013 - juillet 2013), suivant la pluviométrie du terroir qui se présente comme repris sur la figure 2.

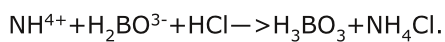
Le nombre total d'échantillons analysés est de 90, soit 45 échantillons par site (2 sites * 3 répétitions spatiales * 3 profondeurs de prélèvement * 5 temps de prélèvement).

Après une semaine de séchage à l'ombre et à l'air libre, les échantillons ont été conditionnés et expédiés au laboratoire «Crop Nutrition Laboratory Services» de Nairobi.

Les caractéristiques suivantes ont été déterminées: le pH, les macros nutriments (N, P, K, Ca, Mg, S); la capacité d'échange cationique (CEC) et les micros nutriments (Na, Zn, B, Cu, Mn, Fe).

Les méthodes de dosage de ces éléments sont décrites par Morgan (18), Mehlich, (16) Anderson & Ingram (1), Faithfull (7) et Okalebo *et al.* (24): Le pH a été mesuré dans une suspension sol/eau, dans un rapport de 1:2, après une agitation magnétique et un temps d'équilibrage de 10 minutes.

L'azote a été déterminé par la méthode Kjeldahl qui a consisté en une minéralisation à l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, suivie d'une distillation par entraînement à la vapeur et enfin la titration de l'ammonium par l'acide chlorhydrique 0.05N en présence d'indicateur suivant la réaction:



Le phosphore a été dosé au spectrophotomètre d'absorption atomique par la méthode d'Olsen dans un rapport de 1:10 (sol/solution d'extraction d'Olsen).

Le potassium, le calcium, le magnésium, le fer, le bore, le soufre, le zinc, le manganèse, le cuivre et le sodium ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique en utilisant l'extrait de Mehlich 3 qui est composé d'acide acétique (C₂H₄O₂) 0.2N, nitrate d'ammonium (NH₄NO₃) 0.25N, fluorure d'ammonium (NH₄F) 0.015N, acide nitrique (HNO₃) 0.013N et d'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA) (C₁₀H₁₆N₂O₈) 0.001M.

Les analyses statistiques (Analyse discriminante et boîtes à moustaches) ont été conduites grâce aux logiciels SPSS 21 et Minitab 16. Il a s'agit d'abord d'une comparaison des moyennes deux à deux pour chaque variable pris isolément (au niveau de signification de 0,05); et d'une analyse discriminante proprement dite (méthode Lambda de Wilks) servant à déterminer les quels des nutriments qui, pris dans l'ensemble, sont les plus différenciant des sols évoluant sous savane de ceux sous forêt.

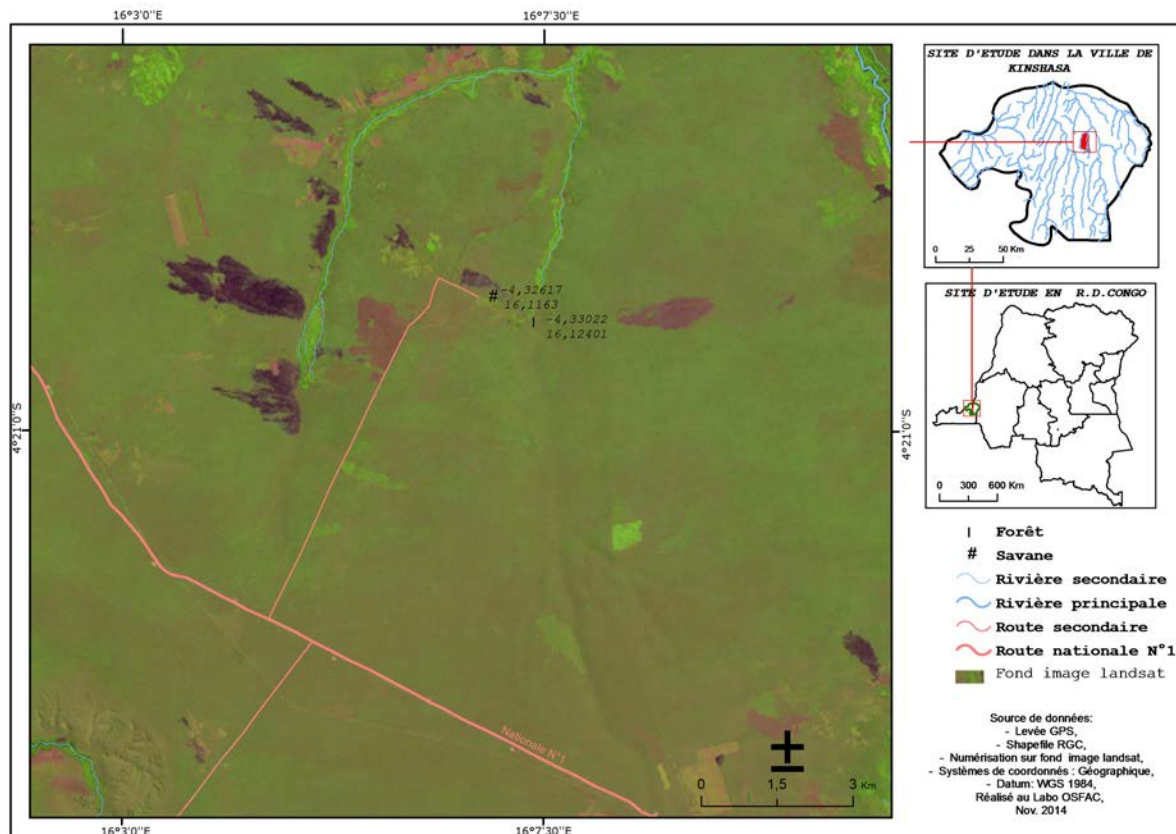


Figure 1: Localisation des sites d'échantillonnage dans la ville de Kinshasa.

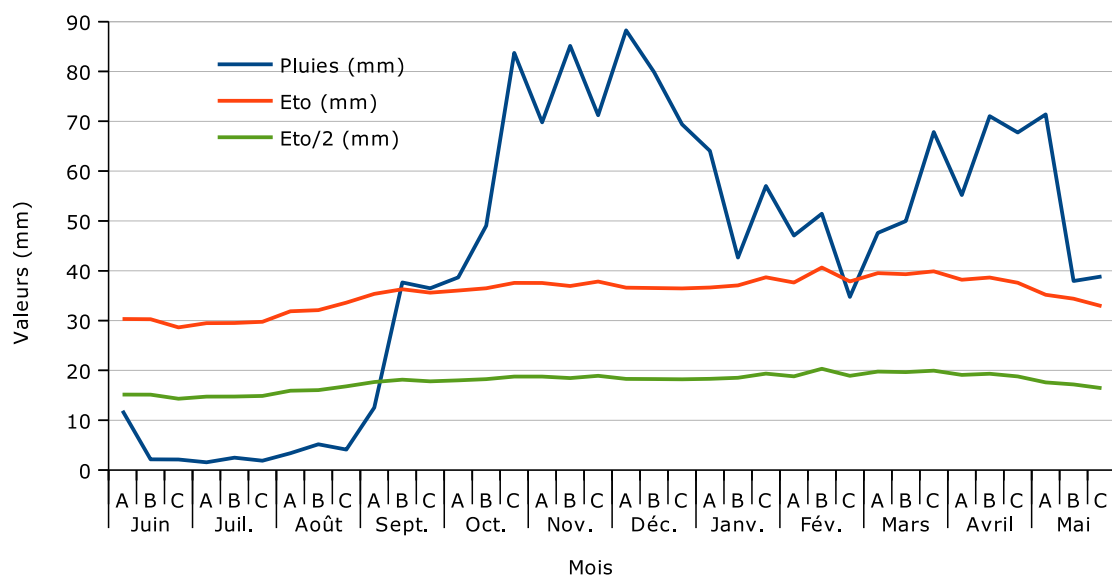


Figure 2: Configuration de la Pluviométrie annuelle du plateau des Bateke.

Résultats et discussion

Caractérisation des écosystèmes et comparaison des moyennes

De 0 à 30 cm de profondeur (Pr1) (Tableau 1), seuls le manganèse ($P_{\text{value}} = 0,001$) et le cuivre ($P_{\text{value}} = 0,004$) présentent des moyennes statistiquement différentes entre la savane et la forêt, les valeurs trouvées en forêt étant les plus basses. Cette supériorité relative de la savane résulterait de l'aération plus importante des sols (le sol étant plus meuble), et de la grande quantité de matière organique dans le sol forestier de surface, affectant négativement la disponibilité du manganèse (27). Le cuivre étant positivement corrélé au manganèse (3), il apparaît logique qu'il présente la même tendance que ce dernier. Les pH des sols sous les deux couverts sont du même ordre de grandeur, ils ont donc la même influence sur la disponibilité des nutriments et les organismes vivants du sol. En effet, selon Bradly (6), les sols ayant des pH de l'ordre 5 à 6 sont classés comme ayant une acidité modérée. En arrondissant à l'unité, les valeurs moyennes des pH en savane (5.16) et en forêt (4.89) se retrouvent dans la gamme des pH autour de 5, en dehors de la gamme optimale (6-7) (6), pour la mobilisation de tous les macronutriments et pour un bon développement et une bonne activité d'un bon nombre de bactéries et d'actinomycètes du sol. Le fer est l'élément le plus abondant, caractéristique pour les sols fortement altérés avec la kaolinite comme argile dominante des Ferralic Arenosols qui forment les sols du plateau des Bateke.

A l'instar des valeurs moyennes de pH, celles des macronutriments (N, P, K, Ca, Mg, S et C), sont de même ordre de grandeur en savane comme en forêt. Les sols sous les deux couverts végétaux sont carencés en K (< 20 g/kg), Mg (< 25 g/kg) et S (< 20 g/kg), mais présentent une suffisance en N (> 2 %), P (> 30 g/kg), Ca (> 40 g/kg) et C (> 1,7 %). De même, sauf le fer, la CEC (<< 15 cmol(+)/kg sol) et les autres micronutriments, ont des valeurs déficitaires (27), authentifiant la nature du substratum en place.

Selon Bradly (6) aux pH inférieur à 5.5, les micronutriments (Zn, Cu et Mn) se retrouvent en abondance dans la solution du sol, pouvant devenir toxiques pour les cultures.

Cependant, dans les sols sous étude, les pH bien qu'inférieur à 5.5, les micronutriments excepté le fer, sont en quantités inférieures aux valeurs minimales recommandées (Tableau 1). Les carences ainsi notées, pour les sols sous savane et sous forêt confirment donc la pauvreté des Ferralic Arenosols du plateau des Bateke, quel que soit le couvert végétal sous le quel ils se trouvent.

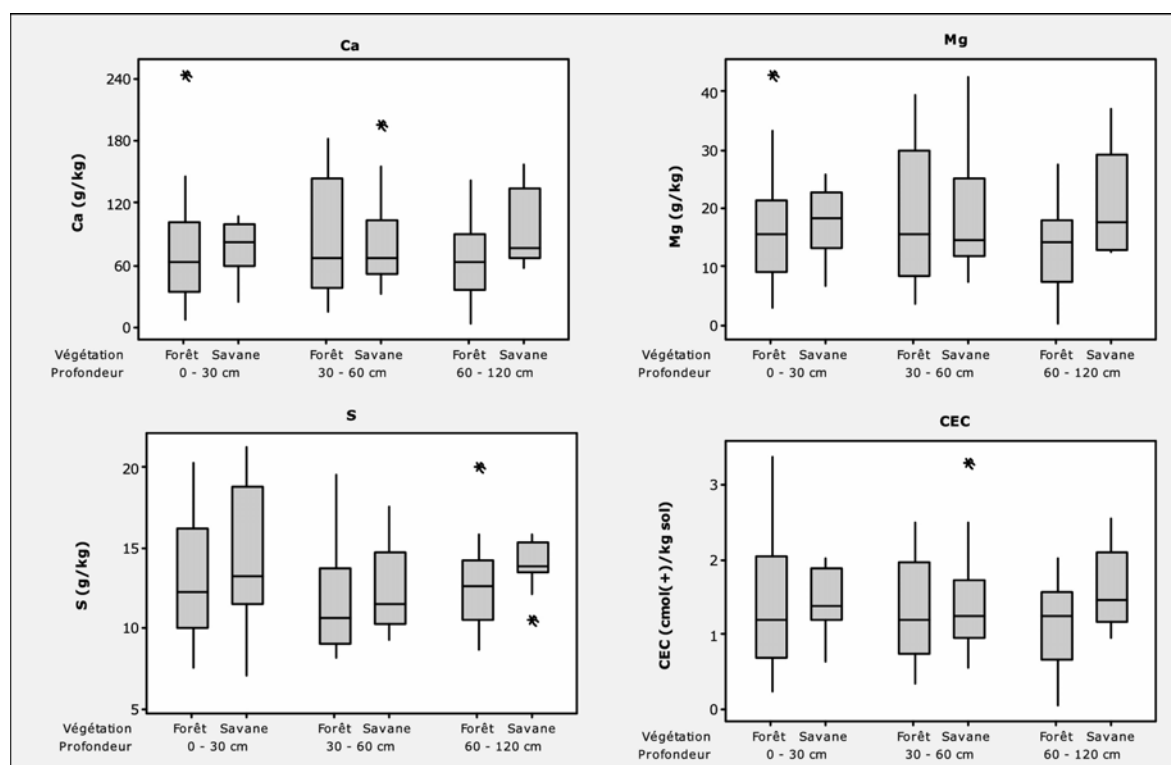
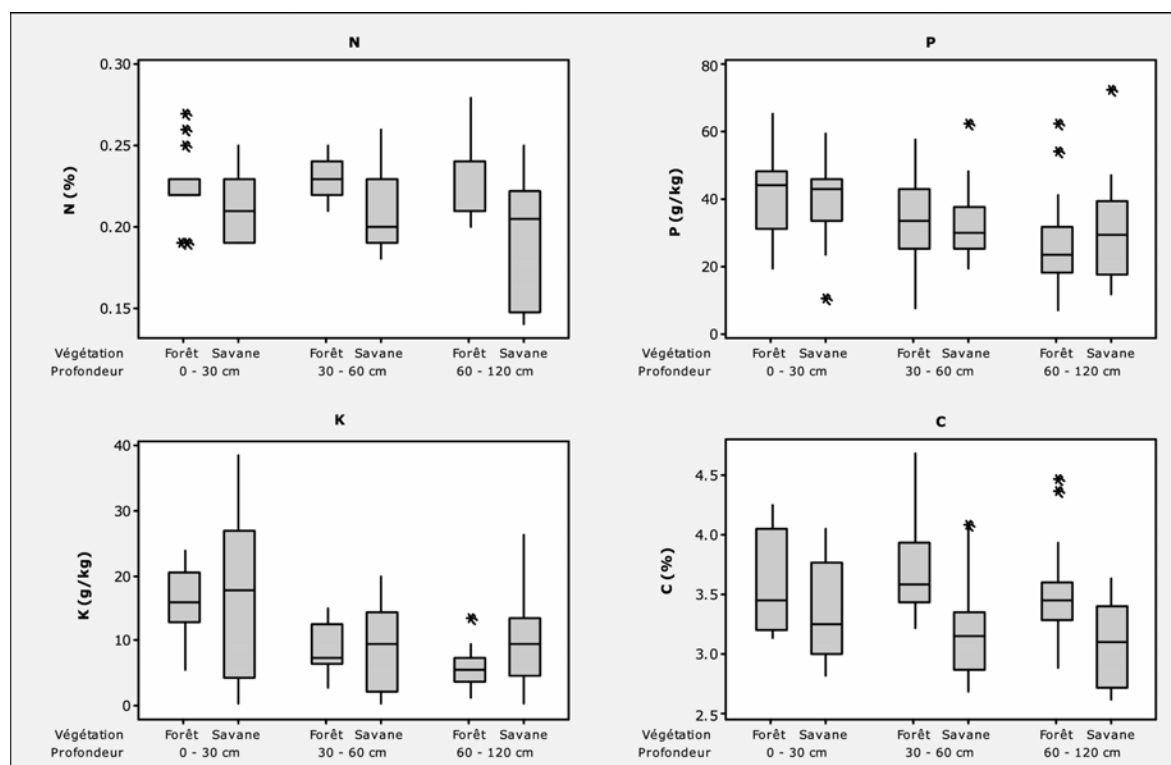
De 30 à 60 cm (Pr2) et de 60 à 120 cm (Pr3), les ressemblances et les différences de la Pr1 se confirment. Les diagrammes en boîtes à moustaches (Figure 3) entre le couvert végétal et la profondeur d'échantillonnage présentent des allures quasi similaires entre la savane et la forêt. Ainsi, les quantités de N, P et K diminuent avec la profondeur, le N diminuant plus vite en savane qu'en forêt; les quantités de P et de K sont plus élevées à la Pr3 en savane qu'en forêt. La même tendance est observée pour le Ca, Mg et S; les concentrations en profondeur sont relativement plus élevées en savane qu'en forêt.

Les diagrammes en boîtes à moustaches couvert végétal – profondeur d'échantillonnage pour les micronutriments (Figure 3) montrent une tendance générale des valeurs moyennes plus élevées sous savane que sous forêt. Les racelles plus abondantes et plus actives dans les horizons supérieures sous forêt peuvent expliquer en partie la consommation plus grande des nutriments rendus disponibles. Ainsi les quantités libérées par la décomposition de la matière organique sont immédiatement récupérées par le système racinaire comme cela a lieu dans toutes les forêts tropicales humides, pour faire la luxuriance de celle-ci. Les quantités de carbone (Tableau 1), et de l'azote sont relativement plus élevées à toutes les profondeurs sous forêt. Ceci confirmerait la présence des grandes quantités de matières organiques produites et en décomposition sous forêts, qui migrent en partie vers les profondeurs.

Tableau 1

Comparaison des moyennes des caractéristiques chimiques des sols sous végétation naturelle sur le plateau des Bateke ($P_{\text{value}} = 0,05$).

Caractéristiques des sols	Profondeur (cm)	Végétation		P_{value}
		Forêt	Savane	
PH (6 - 7)	0 - 30	4,89 ± 0,23	5,16 ± 0,14	0,353
	30 - 60	5,12 ± 0,20	5,30 ± 0,13	0,514
	60 - 120	5,20 ± 0,18	5,19 ± 0,16	0,427
N (%) (0,2 - 0,5)	0 - 30	0,21 ± 0,02	0,20 ± 0,01	0,05
	30 - 60	0,22 ± 0,01	0,21 ± 0,03	0,001
	60 - 120	0,23 ± 0,03	0,17 ± 0,04	0,001
C (%) (2 - 4)	0 - 30	3,61 ± 0,41	3,38 ± 0,45	0,152
	30 - 60	3,72 ± 0,43	3,24 ± 0,44	0,005
	60 - 120	3,37 ± 0,41	3,08 ± 0,34	0,055
P (g/kg) (30 - 100)	0 - 30	42,05 ± 11,84	40,17 ± 6,04	0,571
	30 - 60	26,51 ± 11,10	27,52 ± 6,26	0,694
	60 - 120	22,87 ± 4,43	28,32 ± 12,51	0,4
K (g/kg) (20 - 200)	0 - 30	14,82 ± 5,24	23,73 ± 8,71	0,221
	30 - 60	8,10 ± 3,51	10,99 ± 5,48	0,681
	60 - 120	7,74 ± 1,44	5,52 ± 4,36	0,18
Ca (g/kg) (40 - 400)	0 - 30	36,80 ± 28,70	64,70 ± 24,50	0,471
	30 - 60	42,17 ± 19,97	77,50 ± 59,80	0,29
	60 - 120	45,45 ± 15,48	68,18 ± 8,34	0,148
Mg (g/kg) (25 - 400)	0 - 30	9,68 ± 6,12	15,03 ± 5,54	0,479
	30 - 60	9,63 ± 4,91	16,95 ± 12,88	0,315
	60 - 120	9,34 ± 3,50	15,00 ± 2,33	0,138
S (g/kg) (20 - 200)	0 - 30	17,03 ± 2,62	17,07 ± 3,41	0,982
	30 - 60	15,65 ± 3,15	16,03 ± 1,81	0,843
	60 - 120	12,94 ± 2,40	14,68 ± 1,14	0,239
CEC (cmol(+)/kg sol) (15 - 30)	0 - 30	0,86 ± 0,49	1,22 ± 0,37	0,502
	30 - 60	0,85 ± 0,44	1,33 ± 0,98	0,352
	60 - 120	0,86 ± 0,29	1,25 ± 0,22	0,197
Zn (g/kg) (2 - 20)	0 - 30	0,77 ± 0,38	1,11 ± 0,49	0,306
	30 - 60	0,79 ± 0,34	1,36 ± 0,65	0,174
	60 - 120	0,35 ± 0,27	0,77 ± 0,09	0,004
Cu (g/kg) (2 - 10)	0 - 30	0,19 ± 0,01	0,36 ± 0,08	0,004
	30 - 60	0,19 ± 0,02	0,26 ± 0,11	0,267
	60 - 120	0,26 ± 0,12	0,18 ± 0,00	0,23
Mn (g/kg) (60 - 250)	0 - 30	1,37 ± 0,37	4,53 ± 0,24	0,001
	30 - 60	1,09 ± 0,18	1,73 ± 0,73	0,139
	60 - 120	1,24 ± 0,29	1,16 ± 0,14	0,64
Fe (g/kg) (60 - 350)	0 - 30	266,50 ± 49,40	316,50 ± 26,60	0,121
	30 - 60	205,50 ± 29,60	231,50 ± 18,63	0,188
	60 - 120	178,90 ± 49,40	237,30 ± 51,20	0,152



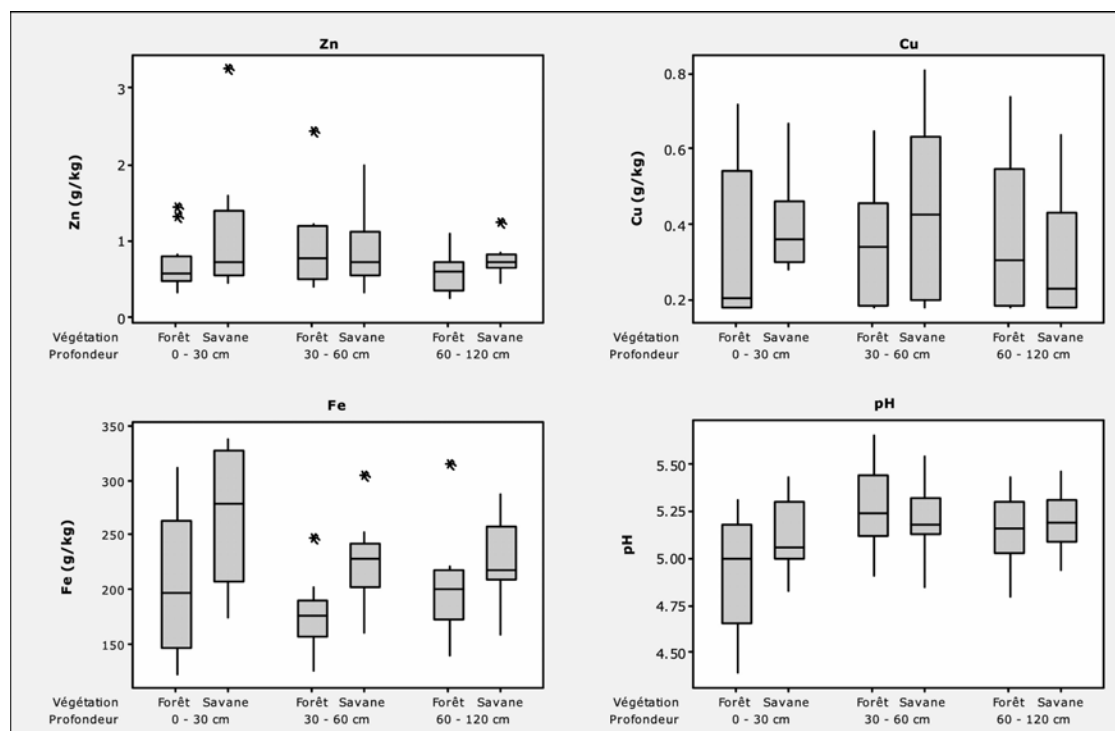


Figure 3: Boîtes à moustaches des caractéristiques chimiques des sols analysés en fonction du couvert végétal et de la profondeur d'échantillonnage.

Éléments discriminants la savane de la forêt

À la Pr1, le fer ($P_{\text{value}} = 0.023$) est le premier nutriment qui différencie les sols sous savane ($270,30 \pm 59,50$ g/kg) des sols sous forêt ($208,80 \pm 63,90$ g/kg). Il est associé ensuite avec le Cu ($0,40 \pm 0,13$ g/kg sous savane et $0,35 \pm 0,21$ g/kg sous forêt) ($P_{\text{value}} = 0,012$) et le P ($39,26 \pm 11,80$ g/kg sous savane et $40,17 \pm 13,04$ g/kg sous forêt) ($P_{\text{value}} = 0.003$).

Les sols du plateau de Bateke sont tous des Ferralic Arenosols; le fer est l'un des éléments caractéristiques dans ce type de sol. Que ce dernier soit l'élément discriminant à priori la savane de la forêt dans les 30 premiers cm de profondeur, peut s'expliquer par une plus grande formation de complexe «fer-matière organique» sous forêt. Ce complexe migre en profondeur, appauvrissant quelque peu l'horizon superficiel du sol en cet élément. Bien que le cuivre et le phosphore soient aussi introduits comme éléments différenciant les deux couverts dans la première profondeur, le cuivre comme oligoélément est déficitaire sous les deux couverts tandis que les valeurs moyennes, tout comme les minimums et les maximums de phosphore sont quasi les mêmes.

À la Pr2 (Tableau 2), l'azote ($P_{\text{value}} = 0,001$) et le cuivre ($P_{\text{value}} = 0,001$) différencient les deux couverts, avec une accumulation plus prononcée du cuivre sous savane et une migration plus efficace du Pr1 vers le Pr2, de l'azote (ou du moins du complexe organo-minéral) sous forêt.

À la Pr3 (Tableau 2), c'est le magnésium ($P_{\text{value}} = 0,001$), l'azote ($P_{\text{value}} = 0,005$), le soufre ($P_{\text{value}} = 0,001$) et le cuivre qui discriminent les sols de la savane de ceux du couvert forestier.

Tableau 2

Résultats de l'analyse discriminante par la méthode Lambda de Wilk.

Profondeur (cm)	Variables	Signification
0 - 30	Fe	0,02
	Cu	0,01
	P	0
30 - 60	N	0
	Cu	0
60 - 120	Na	0,01
	Mg	0
	N	0
	S	0
	Cu	0

À l'instar du phosphore à la Pr1, les teneurs en azote à la Pr2 et en soufre à la Pr3 sont quasi les mêmes sous savane et sous forêt; par contre, les différences sont nettement marquées pour le cuivre dans les deux premières profondeurs et pour le magnésium à la Pr3.

Ainsi, en considérant la disponibilité en nutriments des sols sous savane et sous forêt, les teneurs moyennes de la couche allant de 0 à 30 cm de profondeur de tous les macronutriments et de la majorité des micronutriments sont similaires. Les différences minimales des teneurs, par ailleurs statistiquement non significatives dans la majorité des cas, ne peuvent justifier les différences des rendements observées dans les cultures pratiquées en savane ou en forêt, après la coupe et le brûlis de l'un ou l'autre couvert végétal. L'obtention des meilleurs rendements après la coupe de la forêt pourrait être attribuable à une présence plus abondante de la matière organique (4, 9), libérant dans la cendre, les nutriments que contenaient la litière et autres débris venant de l'abattage des arbres. L'agroforesterie sous toutes ses formes, les cultures de couverture, etc., sont autant d'alternative à la production de grandes quantités de matière organique (21, 26) pour compenser la pauvreté chimique des sols, sur des vastes étendues des sols arables mais pauvres de savane.

Conclusion

Ce travail sur les propriétés chimiques (pH, N, P, K, Ca, Mg, S, C, Na, Zn, Cu, Fe) des sols des parcelles à couvert végétal naturel, s'était proposé de trouver les caractéristiques spécifiques susceptibles de différencier les sols sous une végétation savannicole et forestière évoluant sur un substratum sableux (> 90% de sable), afin de justifier la nécessité ou non de soutenir l'agroforesterie sur le plateau des Bateke en RDC.

L'interprétation des résultats issus des différentes analyses a permis de conclure qu'il est difficile à partir des analyses des sols, de trouver des différences agronomiques significatives sous des couverts végétaux naturels évoluant sur le même substrat sableux, sous les mêmes conditions climatiques.

Ainsi, les meilleurs rendements obtenus après culture sur brûlis en forêt sur ce substrat sableux, résulteraient de l'apport élevé en matière organique provenant de l'abondante biomasse de la litière et autres matières organiques issues directement de l'abattage des arbres lors de la préparation du terrain de culture. Ceci par le fait que la grande quantité de cendre produite, améliore la balance en éléments fertilisants du sol, du moins pour les premières semaines, avant que le lessivage et le ruissellement n'interviennent. Il y a aussi le rôle même de la matière organique sur les propriétés biologiques et physiques du sol. L'agroforesterie se justifierait alors bien car non seulement qu'elle va constituer une source non contestée de la matière organique, mais elle permet aussi d'écourter le temps de la jachère à 5-8 ans au lieu de 10 à 15 ans. C'est le cas depuis plus de 20 ans au centre agroforestier de Mampu; bien qu'on y pratique toujours une rotation de culture après la jachère améliorée avec *Acacia* sp., la rotation spatio-temporelle est de maximum 8 ans. Les fermiers ont vu les rendements fréquemment obtenus pour le manioc passé de 9 à 15 t/ha, et celui du maïs passé de 0,5 à environ 1,5 t/ha. En plus, la part de leur revenu total venant de la carbonisation et de l'apiculture (les principales activités découlant des plantations d'*Acacia* sp.) est d'environ 40% (23).

Références bibliographiques

1. Anderson J.M. & Ingram J.S.I., 1993, *Tropical soil biology and fertility: A Handbook of methods*. CABI International, Wallingford, Oxon, England. 240.
2. Baert G., Van Ranst E., Ngongo M.L., Kasongo E.L., Verdoodt A., Mujinya B.B. & Mukalay J.M. 2009, Guide des sols en R.D. Congo. Tome II: *Description et données physico-chimiques de profils types*. Imprimerie Salama Don-Bosco, Lubumbashi, R.D. Congo. 321.
3. Baize D., 1997, *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols* (France). Éditions Quae, France, 408.
4. Bakele-Tesemma A., 2007, *Profitable agroforestry innovation for Eastern Africa: Experiences from 10 agroclimatic zones of Ethiopia, India, Kenya, Tanzania and Uganda*. World Agroforestry Center (ICRAF), Eastern Africa region. 358.
5. Bekunda M.A., Bationo A. & Ssali H., 1997, *Soil fertility management in Africa : A review of selected research trials*. In Replenishing soil fertility in Africa. SSSA special publication, n° 51.
6. Brady N.C., 1974, *The nature and properties of soils*, 8th Edition. Macmillan Publishing CO., INC. 639
7. Faithfull N.T., 2002, *Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook*. CABI publishing Wallingford UK. 206
8. FAO, 2007, *Management of tropical sandy soils for sustainable agriculture. A holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics*. FAO, Rome, 536.
9. FAO, 2005, *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food and production*. FAO, Rome, 95.
10. IUSS Working Group WRB., 2014, World Reference Base for Soil Resources 2014. *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome Italie, 191.
11. Kalaba K.F., Chirwa P., Syampungani S. & Ajayi C.O., 2010, Contribution of agroforestry to biodiversity and livelihoods improvement in rural communities of Southern African regions. 461 – 476 in Tschardt T., Leuschner C., Veldkamp E., Faust H., Guhardja E., Bidin A. (Eds.), *Tropical Rainforests and Agroforests under Global Change*, Environmental Science and Engineering. Springer. 519.
12. Kasongo K., 2010, *Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau des Batéké (RD Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux*. Thèse de doctorat; Université de Gant, 400.
13. Köppen W., 1931, *Grundriss der Klimakunde. Handbuch*. 2nd eds., Berlin, Walter de Gruyter. 388 p.
14. Lubini A., 1988, *Les sols de jachères et les pâturages du Centre agricole de Mbankana*. Fondation Hanns-seidel, Kinshasa, 38.
15. Mboukou-Kimbatsa I.M.C., Bernhard-Reversat F. & Loumeto J.J., 1998, Change in soil macrofauna and vegetation when fast-growing trees are planted on savanna soils. *Forest Ecology and Management* 110, *Elsevier Sci. B.V.*, 1 -12.
16. Mehlich A., 1984, Mehlich-3 soil test extractant. A modification of mehlich -2 extractant, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **15**, 12, 1409 – 1416.
17. Mlambo D., Nyathi P. & Mapaure I., 2005, Influence of *Colophospermum mopane* on surface soil properties and understorey vegetation in a southern African savanna. *Forest Ecology and Management* 212, *Elsevier B.V.*, 394–404
18. Morgan M.F., 1941, Chemical soil diagnosis by the universal soil testing system. [New Haven] Connecticut Agricultural Experiment Station; Bulletin 450, *Revision Bull.*, **392**, 579 – 626.
19. Nair P.K.R. & Garrity D., 2012, *Agroforestry: The future of global land use*, *Adv. Agrofor.*, **9**, Springer, 541.
20. N'Goran K.E., Kassim K.E., Zohouri G.P. & Yoro G.R., 2012, Gestion améliorée de la jachère dans le système de culture à base d'igname par l'utilisation de légumineuse de couverture, *J. Appl. Biosci.*, **52**, 3716 - 3724.
21. N'Goran A., 2005, *Amélioration de la fertilité chimique des sables quaternaires en Côte d'Ivoire dans l'association cocotier/Acacia spp.* Thèse de doctorat; Université de Gant, Faculté des sciences en Bio – ingénierie, 193.

22. Nsombo M.B., Thomas T.S., Kyotalimye M. & Waithaka M., 2013, *Democratic Republic of Congo*, Pp 89–119. In: Waithaka M., Nelson G.C., Thomas T.S., & Kyotalimye M.: East African Agriculture and climate change: A comprehensive analysis. IFPRI, Washington DC; USA. 402.
23. Nsombo M.B., 2005, *Utilisation actuelle des terres dans le Rayon du centre d'appui au Développement Intégré de Mbankana au Plateau des Bateke*. Mémoire de DESS, ERAIFT, 71.
24. Okalebo J.R., Gathua K.W. & Woomer P.L., 2002, Laboratory methods of soil and plant analysis: A working Manual 2nd edition. TSBT-CIAT and SACRED Africa, Nairobi, Kenya, 128.
25. Pauwels L. & Nzayilu N'ti, 1993, Guide des arbres et arbustes de la région de Kinshasa – Brazzaville. Jardin Botanique national de Belgique, 495.
26. Schroth G. & Sinclair F.L., 2003, Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods. CABI Publishing, 437.
27. Wolf B., 2000, The fertile triangle: The Interrelationship of Air, Water, and Nutrients in Maximizing Soil Productivity. Food products press. 463.

B.M. Nsombo, Congolaise (RDC), Doctorant, Ecole régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux, Kinshasa, RD Congo.

R.S. Lumbuenamo, Congolais (RDC), PhD, Professeur, Ecole régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux, Kinshasa, RD Congo.

J. Lejoly, Belge, PhD, Professeur Émérite, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique; Professeur, Ecole régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux, Kinshasa, RD Congo.

J.K. Aloni, Congolais (RDC), PhD, Professeur à l'Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la terre, Kinshasa, RD Congo.

P.M-M. Mafuka, Congolaise (RDC), PhD, Professeur, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles, Kinshasa, RD Congo.

Dynamique des populations du puceron *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) sur le cotonnier en conditions de fertilisation minérale et rhizobacteriologique

G.D. Fayalo^{1, 2}, A. Aouco¹ & T.B.C. Alavo^{1*}

Keywords: Aphids- *Aphis gossypii*- Rhizobacteria- *Bacillus amyloliquefaciens*- Crop protection- Benin

Résumé

Pour améliorer le rendement agricole, on est amené à établir des programmes de fertilisation des sols et de protection phytosanitaire souvent basés essentiellement sur l'utilisation des intrants chimiques. Cependant, l'utilisation des engrais chimiques peut entraîner la dégradation des sols et favorise le développement des insectes ravageurs piqueurs-suceurs. Il est donc nécessaire de rechercher des méthodes de fertilisation alternatives qui permettraient de limiter la prolifération des insectes. La rhizobactérie *Bacillus amyloliquefaciens* est connue comme bio-fertilisant. Le présent travail vise à évaluer la dynamique des populations du puceron *A. gossypii* Glover sur le cotonnier en fonction du matériel de fertilisation utilisé, à savoir la souche de *B. amyloliquefaciens* FZB 42 et l'engrais minéral (NPKSMgB: 21-17-10-4,5-3,5-0,75). A cet effet, trois variantes ont été testées: trempage des semences dans la suspension de la rhizobactérie, application de NPKSMgB et un témoin (sans apport de fertilisant). Les résultats ont montré que les cotonniers fertilisés avec de l'engrais minéral ont de façon significative attiré plus de pucerons que les plantes fertilisées avec *B. amyloliquefaciens*. Sur la base de ces résultats et de données obtenues dans d'autres essais menés en plein champ qui montraient un effet positif de l'application de *B. amyloliquefaciens* sur le rendement du cotonnier, on peut conclure que l'utilisation de cette rhizobactérie peut constituer une solution intéressante pour la fertilisation du cotonnier.

Summary

Population dynamics of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on cotton under mineral and rhizobacteria fertilization conditions

The intensive use of chemical fertilizers might lead to soil degradation and promotes the proliferation of sucking insect pests. It is therefore necessary to look for alternative crop fertilization system enabling reduction of such insect pests' proliferation. The rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* is known as bio-fertilizer. The present work aimed at assessing the population dynamics of the aphid *Aphis gossypii* Glover on cotton based on different fertilization treatments, namely: *B. amyloliquefaciens* FZB42 and mineral fertilizers (NPKSMgB: 21-17-10-4, 5-3, 5-0,75). Three treatments were tested: soaking cotton seeds in the rhizobacterium suspension, application of mineral fertilizers, and control (no fertilizer). The results showed that the cotton plants fertilized with NPKSMgB attracted significantly more aphids than plants which were fertilized with *B. amyloliquefaciens* FZB 42. Based on these results and data obtained in other trials in the field that showed a positive effect of the application of *B. amyloliquefaciens* on cotton yield, one can conclude that the use of this bacterium may be an interesting solution for fertilizing cotton crops.

¹ Université d'Abomey Calavi, Laboratoire d'Entomologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques, Godomey, Bénin.

² Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres, Godomey, Bénin.

*Auteur correspondant: Email: thieryalavo@hotmail.com

Introduction

Le puceron *Aphis gossypii* Glover est un insecte piqueur-suceur polyphage très répandu dans les régions chaudes du monde. De par sa reproduction rapide (par parthénogenèse), cet insecte ravageur se rencontre en nombre impressionnant sur plusieurs cultures. *A. gossypii* occasionne la déformation du feuillage tout en produisant du miellat sur lequel se développe une fumagine; il transmettrait une cinquantaine de virus (3).

Au Bénin, les programmes de fertilisation du cotonnier sont exclusivement minéraux et recommandent l'utilisation annuelle d'environ 200 kg/ha d'engrais NPKSMgB. Ces programmes de fertilisation en plus d'être onéreux pourraient favoriser la prolifération des pucerons du fait de l'augmentation de la teneur en azote des plantes qu'ils induisent. Une concentration élevée en azote accélère en effet la multiplication de ces insectes (9, 10, 16). Il est donc nécessaire de mettre au point un système de fertilisation qui permettrait de réduire la vulnérabilité des plantes par rapport à ces insectes ravageurs.

On trouve les bactéries dans le sol, à raison de 6.10^8 cellules/g en moyenne. Avec un poids vif d'environ 10.000 kg/ha (5), les bactéries représentent les microorganismes les plus fréquents dans les échantillons de sol. Les espèces de bactéries les plus fréquemment isolées des échantillons de sol appartiennent au genre *Bacillus* (7).

Déjà en 1897, un biofertilisant rhizobactériologique a été commercialisé sous le nom de 'Alinit' par la compagnie allemande Bayer AG pour l'inoculation des céréales. Ce produit était composé de spores d'une bactérie connue aujourd'hui sous le nom de *Bacillus subtilis*. L'utilisation d'Alinit a permis d'obtenir une augmentation de 40% du rendement des céréales. Au milieu des années 90, on a commencé par utiliser massivement *Bacillus subtilis* aux Etats-Unis pour le traitement des semences sur plus de 2 millions d'hectares (4).

B. subtilis FZB24® est commercialisé en Allemagne depuis 1999 et est utilisée principalement pour le traitement des semences de pomme de terre. *B. subtilis* FZB24® s'établit à titre provisoire dans la rhizosphère de la plante cultivée.

De nombreux travaux ont décrit les mécanismes d'action bénéfique de cette souche sur la plante cultivée (7,8,19).

Des travaux conduits sur le cotonnier au Tadjikistan ont révélé que l'inoculation des semences du cotonnier avec *B. subtilis* FZB 24® a permis d'obtenir un rendement similaire à ce qu'on obtient avec une fertilisation minérale complète (18). RhizoVital® 42 I est un produit naturel contenant des spores de la rhizobactérie *Bacillus amyloliquefaciens* FZB 42, un microorganisme non pathogène qui existe naturellement dans les sols.

Cette rhizobactérie stimule la croissance des plantes et augmente la tolérance au stress abiotique et le rendement des plantes (1). Au Bénin, l'effet de *B. amyloliquefaciens* FZB 42 combinée avec des doses réduites d'engrais minéraux pour la fertilisation du cotonnier a été étudié. Les résultats ont montré que, combinée à 50% de la dose d'engrais minéraux recommandée, cette rhizobactérie permet d'obtenir un rendement en coton-graine comparable à celui obtenu en conditions de fertilisation minérale pleine (2).

La présente étude vise à évaluer la dynamique des populations du puceron *A. gossypii* Glover sur le cotonnier, sous l'effet de l'application de la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* FZB42 et d'engrais minéraux, en vue de déterminer si la fertilisation basée sur l'utilisation de cette rhizobactérie permettrait de limiter la prolifération de ce ravageur.

Matériel et méthodes

Milieu d'étude

Les travaux ont été conduits à la station expérimentale de la Faculté des Sciences Agronomiques (Université d'Abomey-Calavi) (06° 24'N, 02° 20'E). Le climat dans la zone d'étude est de type subéquatorial et caractérisé par deux saisons de pluies et deux saisons sèches.

Application du biofertilisant *Bacillus amyloliquefaciens* et d'engrais minéraux

Le matériel végétal utilisé est le cotonnier (*Gossypium hirsutum*) (variété H279-1). Les plants ont été cultivés dans des pots de sept litres de volume arrosés régulièrement pour éviter l'apparition de stress hydrique.

Trois variantes ont été testées, à savoir:

- trempage des semences dans la suspension de la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens*,
- fertilisation avec de l'engrais minéral composé (NPKSMgB: 21-17-10-4,5-3,5-0,75) et
- le témoin (sans apport de fertilisant).

L'essai a été réalisé selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets (blocs de Fisher) avec 6 blocs composés chacun de 12 plants. Pour pouvoir tirer des conclusions fiables, cet essai a été répété 3 fois dans le temps; le semis a eu lieu respectivement le 16 juillet, le 14 novembre et le 3 décembre 2013 pour la première, deuxième et troisième répétition.

Nous avons utilisé la souche FZB 42 de la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* (formulation commerciale dénommée "*Rhizo Vital*") (ABITEP GmbH, Allemagne). "*Rhizo Vital*" est un produit contenant $2,5 \cdot 10^{10}$ cfu /ml.

Pour réaliser les essais, les semences ont été traitées avec la suspension de rhizobactéries à la concentration de 10^7 spores/ml.

Pour ce faire, 10 ml de '*RhizoVital*' ont été dilués dans 1 L d'eau potable. Les semences ont été trempées dans la préparation ainsi obtenue pendant 30 min puis séchées à l'ombre durant 15 minutes, avant d'être semées aussitôt après.

Quant aux engrais minéraux, ils ont été appliqués 3 fois, à intervalles de 10 jours à raison de 5 g de granulés par pot et par application.

A cet effet, 5 g de granulés d'engrais minéraux ont été dissous dans un litre d'eau et la solution ainsi obtenue a été appliquée au pied de la plante. La première application d'engrais a eu lieu 14 jours après semis.

La composition chimique de l'engrais utilisé est la suivante:

N (21%): P_2O_5 (17%): K_2O (10%): S (4,5%): MgO (3,5%): B_2O_3 (0,75%).

Cet engrais est fabriqué par la firme YARA (France) et est commercialisé au Bénin pour la production cotonnière.

Détermination de la dynamique des populations d'*Aphis gossypii* sur les plants expérimentaux

Pour déterminer la dynamique des populations des pucerons, nous les avons comptés un à un sur chaque plant tous les trois jours ($n = 72$ pour chaque traitement).

On arrête ces observations au moment où les populations de pucerons deviennent trop denses et difficiles à compter. Cela se produit en général 26 jours après le semis.

Analyse statistique

Pour l'analyse statistique des données, nous avons réalisé des tests non paramétriques (Mann-Whitney test), étant donné que les résultats ne remplissent pas les critères pour subir les tests paramétriques (ANOVA).

Le seuil de signification utilisé était de 5%. Le progiciel de statistique SPSS version 16.0 a été utilisé.

Résultats

Dynamique des populations d'*Aphis gossypii* au cours de la première répétition

La figure 1 montre l'évolution des populations du puceron *A. gossypii* selon les variantes testées. La densité des pucerons a augmenté rapidement au niveau de la variante "NPK" (engrais minéraux) et a atteint un nombre moyen de 128,99 individus par plant au 24^{ème} jour après semis, contre respectivement 31,64 et 49,06 individus par plant au niveau des variantes "*Bacillus*" (bio-fertilisant) et "*Témoin*" (sans traitement).

A la fin de l'expérience, le nombre moyen de pucerons par plant se chiffre respectivement à 50,71; 104,82 et 40,82 individus pour les variantes "*Témoin*", "NPK" et "*Bacillus*".

L'analyse statistique a révélé qu'il y a une différence significative au seuil de 5% entre les trois variantes.

Dynamique des populations d'*A. gossypii* au cours de la deuxième répétition

Les résultats obtenus au cours de la deuxième répétition de l'essai sont présentés dans la figure 2.

Au niveau de la variante "NPK" les pucerons se sont rapidement multipliés et leur nombre a atteint une moyenne de 74,27 par plant à la fin de l'essai. Au niveau des autres variantes, la densité des pucerons a lentement augmenté pour atteindre, à la fin de l'essai, une moyenne de 6,5 et 24,33 individus par plant, respectivement pour les variantes "*Témoin*" et "*Bacillus*".

L'analyse statistique des données a révélé qu'il y a une différence significative au seuil de 5% entre les trois variantes.

Dynamique des populations d'*A. gossypii* au cours de la troisième répétition

Les résultats obtenus ici sont présentés dans la figure 3.

Comme dans le cas des deux premières répétitions, les pucerons se sont rapidement multipliés au niveau de la variante "NPK" et leur nombre a atteint une moyenne de 96,73 par plant à la fin de l'essai.

Au niveau des autres variantes, la densité des pucerons a lentement augmenté pour atteindre au dernier jour de l'essai une moyenne de 32,06 et 6,56 individus par plant, respectivement pour les variantes "*Témoin*" et "*Bacillus*".

L'analyse statistique des données a révélé qu'il y a une différence significative au seuil de 5% entre les trois variantes.

Discussion

La présente étude a montré que pour les trois répétitions dans le temps de l'essai, les plants traités avec la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* FZB42 ont attiré considérablement moins de pucerons que les plants ayant été fertilisés avec de l'engrais minéral. D'après Strong *et al.* (16), l'azote serait la principale composante des tissus d'une plante qui soit essentielle aux espèces d'insectes piqueurs-suceurs. De même, Leclant (9) et Maltais (10) ont montré que l'azote contenu dans la sève est nécessaire à la croissance et à la reproduction des pucerons. Il est donc probable que les plants ayant reçu l'engrais minéral (NKPSMgB) ont une sève plus riche en azote. En conséquence, les pucerons se sont moins multipliés sur les plants traités avec la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* FZB42 probablement parce que leur sève contient moins d'azote et serait donc peu favorable à la reproduction de ces insectes.

Dans la troisième répétition de l'essai, la densité des pucerons est considérablement moins élevée dans la variante '*Bacillus*' en comparaison au '*Témoin*'. Au cours de cette répétition, nous avons observé un nombre important de larves et d'adultes de coccinelles du genre *Cheilomenes* dans un bloc de la variante '*Bacillus*'. Nous pensons que la faible densité des pucerons dans cette variante est due à la présence des coccinelles dans ce bloc.

En effet, *Cheilomenes* spp. est un genre de coccinelle connu comme prédateur des pucerons dans les régions tropicales; ces espèces de coccinelle pouvant consommer une cinquantaine de pucerons par jour (12-15).

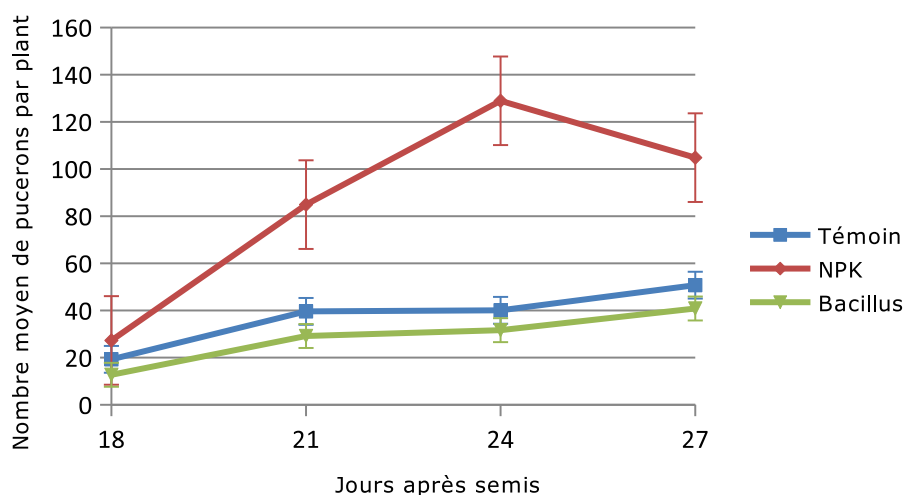


Figure 1: Dynamique des populations d'*Aphis gossypii* dans les variantes testées au cours de la première répétition (semis le 16 juillet 2013- n=72 pour chaque point) (Barre d'erreur= Erreur standard).

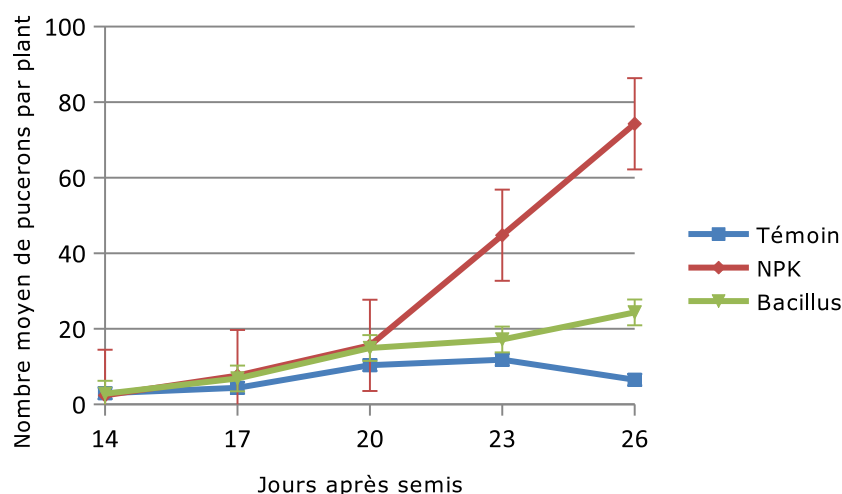


Figure 2: Dynamique des populations d'*Aphis gossypii* dans les variantes testées au cours de la deuxième répétition (semis le 14 novembre 2013- n=72 pour chaque point) (Barre d'erreur= Erreur standard).

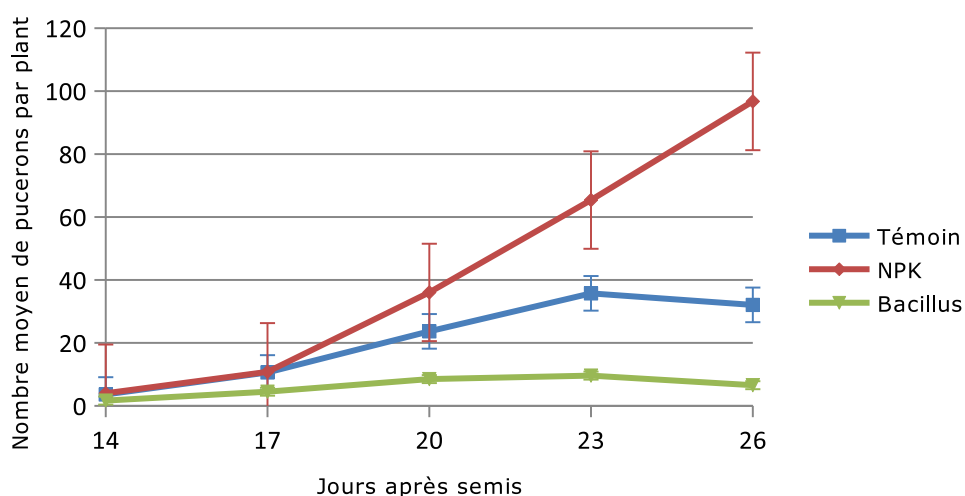


Figure 3: Dynamique des populations d'*Aphis gossypii* dans les variantes testées au cours de la troisième répétition (semis le 3 décembre 2013- n=72 pour chaque point) (Barre d'erreur= Erreur standard).

Des essais menés au champ ont montré qu'en plus d'être peu favorable à la prolifération des pucerons, la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* FZB42 permettait d'améliorer le rendement en coton-graine.

En effet, dans une étude qui visait à comparer l'effet de cette rhizobactérie avec celui du compost dans un système de production de coton biologique, on a pu obtenir une augmentation de rendement en coton graine de l'ordre de 39% au niveau des plants traités avec *B. amyloliquefaciens* FZB42 (5).

De plus, la combinaison de la rhizobactérie avec une dose réduite d'engrais minéraux a également permis d'obtenir un rendement en coton-graine comparable à celui de la fertilisation minérale pleine (2,11).

Conclusion

La rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* FZB 42 constitue un moyen non seulement de fertilisation du cotonnier mais aussi de gestion intégrée des pucerons. Elle peut être utilisée pour la production de coton biologique mais aussi servir pour la réduction des doses d'engrais minéraux en production cotonnière classique.

Références bibliographiques

1. ABITEP GmbH, 2015, *RhizoVital*® 42 l. *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 liquid a plant growth-promoting rhizobacteria. <http://www.abitep.de>. Consulté le 27/03/2015
2. Aboudou M.A., 2014, *Utilisation de la rhizobactérie Bacillus amyloliquefaciens et de l'huile de colza pour la production cotonnière au Nord-Bénin: Impact sur l'entomofaune*. Mémoire de Master en Entomologie Appliquée. Université d'Abomey-Calavi, Bénin. 41.
3. Appert J. & Deuse J., 1982, *Les Ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques*. Edition G. P. Maisonneuve et Larose. ISBN. Paris, France. 2-7068-0814-4. 137-138.
4. Backmann P.A., Brannen P.M. & Mahaffe W.F., 1994, *Plant response and disease control following seed inoculation with Bacillus subtilis*. In: Improving plant productivity with Rhizosphere Bacteria, Ryder M. H. et al. (eds.), CSIRO Division of soils, Glen Osmond
5. Boukari S., 2011, *Biodiversité et dynamique des populations des ravageurs et des entomophages dans un système de production de coton biologique: impact sur le rendement en coton-graine*. Mémoire de Master en Entomologie Appliquée. Université d'Abomey-Calavi, Bénin. 40.
6. Islam A.A., Sarosh B. & Johan M., 2014, Improved heat stress tolerance of wheat seedlings by bacterial seed treatment, *Plant Soil*, **379**,337-350,
7. Kilian M., Steiner U., Krebs B., Junge H., Schmiedeknecht G. & Hain R., 2000, FZB24® *bacillus subtilis* - mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 1/00, **1**, 72-93.
8. Krebs B., Hoding B., Kubart S., Alemayehu M., Junge H., Schmiedeknecht G., Grosch R., Bochow H. & Hevesi M., 1998, Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent. I. activities and caraterization of *Bacillus subtilis* strains, *Z. Pflanzenkh. Pflanzenschutz*, **105**, 181-197.
9. Leclant F., 1982, *Les effets nuisibles des pucerons sur les cultures*. In journée d'étude et d'information sur les pucerons des cultures, Association de coordination technique agricole (A.C.T.A), Paris, 37-56.
10. Maltais J.B., 1951, The nitrogen content of different varieties of peas as a factor affecting infestations by *Macrosiphum pisi* (Kltb.) (Homoptera: Aphididae). A preliminary report, *The Can. Entomol.*, **83**, 02, 29-33.
11. Monir M.E.H., Bochow H. & Junge H., 2012, The biofertilising effect of seed dressing with PGPR *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 combined with two levels of mineral fertilising in African cotton production, *Arch. Phytopathol. Plant Prot.*, DOI:10.1080/03235408.2012.67325.

12. Ofuya T.I., 1986, Predation by *Cheilomenes vicina* (Coleoptera: Coccinellidae) on the cowpea aphid, *Aphis craccivora* (Homoptera: Aphididae): Effect of prey stage and density, *Bio Control*, **31**, 4, 331-335.
13. Ofuya T. I. 1995, Studies on the capability of *Cheilomenes lunata* (Fabricius) (Coleoptera: Coccinellidae) to prey on the cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) in Nigeria, *Agric. Ecosyst. Environ.*, **52**, 1, 35-38.
14. Pandi G.G., Bishwajeet P, Shah V. & Shankarganesh K., 2012, Feeding potential and biology of coccinellid predator *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius) (Coleoptera) on aphid hosts. *Indian J. Entomol.*, **74**, 4, 388-393.
15. Prabhakar A.K. & Roy S., 2010, Evaluation of the consumption rates of dominant coccinellid predators on aphids in North- East Bihar, *Bioscan.*, **5**, 3, 491-493.
16. Strong D.R., Lawton J.H. & Southwood R., 1984, Insect of plant community pattern and mechanisms. Black well scientific publications. Oxford. 313.
17. Wedad A.K., Mohammed E.O., Mohammed N.O, Islam A.A., Sarosh B. & Johan M., 2013, Control of Drought Stress in Wheat Using Plant-Growth-Promoting Bacteria, *J. Plant Growth Regul.*, **32**, 122-130.
18. Yao A.V., Bochow H., Karimov S., Boturov U., Sanginboy S. & Sharipov A.K., 2006, Effect of FZB 24 *Bacillus subtilis* as biofertilizer on cotton yields in field tests, *Arch. Phytopathol. Plant Pathol.*, **39**, 4, 323-328.
19. Zimmer J., Issoufou I., Schmiedeknecht G. & Bochow H., 1998, Population dynamics of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent Under controlled conditions, *Med. Fac. Lan.*, **29**, 17-26.

G.D. Fayalo, Béninois, Ingénieur agronome, Responsable des activités Agronomiques de Antenne Nord CRA-CF/ INRAB, Université d'Abomey Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire d'Entomologie Appliquée, Godomey, Bénin.

A. Aouco, Béninoise, Master, Université d'Abomey Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire d'Entomologie Appliquée, Godomey, Bénin.

T.B.C. Alavo, Béninois, Ph.D., Assistant Professeur, Université d'Abomey Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire d'Entomologie Appliquée, Godomey, Bénin.

Annonces **Announcements**

Koninklijke Academie
voor
Overzeese Wetenschappen



Aankondigingen **Anuncios**

Academie Royale
des
Sciences d'Outre-Mer

JAARLIJKSE WEDSTRIJDEN

Om het wetenschappelijk onderzoek van goede kwaliteit i.v.m. problemen eigen aan de overzeese gebieden te bevorderen, organiseert de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen (KAOW) jaarlijkse wedstrijden.

a) Opstellen van de vragen en indiening van de werken

Art. 1. Elke klasse schrijft jaarlijks een wedstrijd uit over een vraag die verband houdt met de door haar behandelde materies.

Tijdens haar februarizitting bepaalt elke klasse het thema waarover de vraag zal handelen en duidt zij twee leden aan om ze op te stellen. Tijdens haar maartzitting legt elke klasse de tekst van de vraag definitief vast. Deze vraag moet voldoende ruim geformuleerd worden zodat het tot een echte competitie kan komen.

Art. 2. De wedstrijd is toegankelijk voor wetenschappers wereldwijd zonder enige leeftijdsbeperking. De leden van de Academie mogen niet deelnemen.

Art. 3. Elk door de Academie voor de jaarlijkse wedstrijd bekroonde werk krijgt een prijs in speciën (2 500 EUR).

Art. 4. Het voor de jaarlijkse wedstrijd van de Academie ingediende werk moet een origineel en recent (max. drie jaar oud) wetenschappelijk manuscript zijn: een doctoraal proefschrift of een werk van ten minste hetzelfde niveau.

Het werk mag niet uitgegeven zijn vóór de bekendmaking van de vraag. Het indienen van een werk voor de jaarlijkse wedstrijd impliceert dat de potentiële laureaat instemt met de voorwaarden die aan het aanvaarden van de prijs verbonden zijn.

Art. 5. De Academie neemt werken in het Nederlands, het Frans, het Duits, het Engels en het Spaans in overweging.

Art. 6. De auteurs van de voor de wedstrijd ingediende werken mogen anoniem blijven. In dat geval voegen zij bij hun werk een verzegelde enveloppe met daarin hun naam en adres en voorzien van een duidelijk herkenbaar devies dat ook aan het begin van hun werk terug te vinden is. Deze enveloppe wordt opengemaakt na de toekenning van de prijs.

Art. 7. De voor de wedstrijd ingediende werken moeten in vijf exemplaren op het secretariaat van de Academie toekomen vóór 1 maart van het tweede kalenderjaar dat op de publicatie van de vragen volgt.

b) Beoordeling van de ingediende werken

Art. 1. Tijdens hun maartzitting duiden de klassen voor elk werk drie lezers aan om het te onderzoeken en er voor de jury een verslag over op te stellen.

Art. 2. De jury wordt voorgezeten door de Voorzitter van de Academie en is samengesteld uit zes gewone of eregewone leden, nl. twee per klasse, hetzij een per taalrol. Zij worden voor twee jaar aangeduid door de klasse. Elk jaar tijdens de maartzitting wordt de helft van de jury hernieuwd.

Art. 3. De prijzen worden in de maand mei door de klasse toegekend nadat zij het verslag van de jury gelezen en goedgekeurd heeft. De auteur van het bekroonde werk zal de titel van « Laureaat van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen » dragen.

Art. 4. Na toekenning van de prijzen blijven de werken op het secretariaat van de Academie ter beschikking van de leden.

CONCOURS ANNUELS

En vue de promouvoir la recherche scientifique de haute qualité relative à des matières propres aux régions d'outre-mer, l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer (ARSOM) organise des concours annuels.

a) Rédaction des questions et introduction des travaux

Art. 1. Chaque classe met annuellement au concours une question sur les matières qui lui sont spécifiques.

En sa séance de février, chaque classe détermine le thème sur lequel portera la question et désigne deux membres chargés de la rédiger. En sa séance de mars, chaque classe arrête définitivement le texte de la question. Cette question doit être formulée de manière suffisamment large pour susciter une vraie compétition.

Art. 2. Le concours est accessible aux scientifiques du monde entier sans aucune restriction d'âge. Les membres de l'Académie ne peuvent y prendre part.

Art. 3. Chaque travail couronné par l'Académie au concours annuel est doté d'un prix en espèces (2 500 EUR).

Art. 4. Le travail soumis au concours annuel de l'Académie doit être un manuscrit scientifique, original et récent (max. trois ans): une thèse de doctorat ou un travail de niveau au moins équivalent. Le travail ne peut avoir été publié avant la diffusion de la question. L'introduction d'un travail au concours annuel implique de la part du lauréat potentiel qu'il souscrive aux conditions liées à l'acceptation du prix.

Art. 5. Seront pris en considération par l'Académie les travaux rédigés en français, en néerlandais, en allemand, en anglais et en espagnol.

Art. 6. Les auteurs des travaux présentés au concours peuvent garder l'anonymat. Dans ce cas, ils joindront à leur travail un pli cacheté contenant leur nom et adresse et portant une devise clairement identifiable reproduite en tête de leur ouvrage. Ce pli sera ouvert après l'attribution du prix.

Art. 7. Les travaux présentés au concours doivent parvenir au secrétariat de l'Académie en cinq exemplaires avant le premier mars de la deuxième année civile qui suit celle de la diffusion des questions.

b) Appréciation des travaux introduits

Art. 1. En leur séance de mars, les classes désignent pour chaque travail trois lecteurs chargés de les examiner et d'en faire rapport auprès du jury.

Art. 2. Le jury est présidé par le Président de l'Académie et est constitué de six membres titulaires ou titulaires honoraires, à savoir deux par classe, dont un par régime linguistique. Ils sont désignés pour deux ans par la classe. Chaque année, lors de la séance de mars, le jury est renouvelé de moitié.

Art. 3. Les prix sont attribués par la classe au mois de mai après lecture et approbation du rapport du jury. L'auteur de l'ouvrage couronné portera le titre de «Lauréat de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer».

Art. 4. Après attribution des prix, les travaux restent au secrétariat de l'Académie à la disposition des membres.

Yearly Competitions

In order to stimulate high-quality scientific research regarding problems inherent to overseas regions, the Royal Academy for Overseas Sciences (RAOS) organizes yearly competitions.

a) Writing the questions and submitting the works

1. Every year, each Section of the Academy puts one question forward on specific subjects.

In its February meeting, each Section sets the theme on which the question will be focused and appoints two members in charge of writing it. In its March meeting, each Section approves the final text of the question. Each question should be worded as broadly as possible in order to generate a real competition.

2. The competition is open to all scientists worldwide without any age restriction. Academy members are not allowed to take part.

3. Each award-winning work in the yearly competition is granted a cash prize (2,500 EUR).

4. The work submitted to the Academy's yearly competition should be an original and recent (max. three years old) scientific manuscript: a PhD thesis or a work of at least the same level. The work may not have been published before the announcement of the question.

Submitting a work to yearly competition implies that the potential laureate subscribes to the conditions linked to the acceptance of the prize.

5. Only the works written in English, French, Dutch, German and Spanish will be taken into consideration by the Academy.

6. The authors of works intended for the competition may remain anonymous. In this case, they should add to their submission a sealed envelope containing their name and address and bearing a distinctive sign or motto reproduced at the beginning of their work. This envelope is opened after awarding the prize.

7. The works submitted to the competition should reach the Academy's secretariat by 1 March of the year following that of the announcement of questions. Five copies are required.

b) Assessment of the works submitted

1. In their March meeting, the Sections appoint for each work three readers in charge of inspecting them and making a report to the jury.

2. The jury is chaired by the President of the Academy and includes six fellow or honorary fellow members, i.e. two per Section, one per linguistic community. These are appointed by the Section for two years. Every year, in the meeting of March, half of the jury is re-elected.

3. Prizes are awarded by each Section in May after reading and approving the jury's report. The author of the award-winning work will be conferred the title of "Prizewinner of the Royal Academy for Overseas Sciences".

4. After awarding the prizes, the works remain at the Academy's secretariat where they are made available to members.

Concursos anuales

Con el fin de promover la investigación científica de alta calidad sobre temas propios de las regiones de ultramar la Real Academia de Ciencias de Ultramar organiza concursos anuales.

a) Formulación de las cuestiones y presentación de las obras

1. Cada Sección de la Academia formula cada año una cuestión sobre asuntos que le son específicos.

En su sesión de febrero, cada Sección determina el asunto al que se referirá la cuestión y nombra a dos miembros encargados de formularla. En su sesión de marzo, cada Sección aprueba el texto final de la cuestión. Esta cuestión debe ser formulada de manera suficientemente amplia para suscitar una competición verdadera.

2. El concurso está abierto a los científicos del mundo entero sin ninguna restricción de edad. Los miembros de la Academia no pueden participar en él.

3. Cada obra galardonada por la Academia en el concurso anual está dotada de un premio en metálico (2 500 EUR).

4. La obra sometida al concurso anual de la Academia debe ser un manuscrito científico, original y reciente (máx. tres años): una tesis de doctorado o una obra que alcance al menos el mismo nivel.

La obra no puede haber sido publicada antes de la difusión de la cuestión.

La presentación de una obra para el concurso anual implica que el laureado potencial suscriba a las condiciones relacionadas con la aceptación del premio.

5. Sólo tendrá en cuenta la Academia las obras escritas en español, inglés, francés, neerlandés y alemán.

6. Los autores de las obras presentadas para el concurso pueden conservar el anónimo. En este caso, adjuntarán a su trabajo su nombre y su dirección dentro de un sobre sellado. El sobre llevará una señal o una divisa que estará reproducida en el encabezamiento de su obra.. El sobre será abierto después de la selección de la obra premiada.

7. Las obras sometidas al concurso deben llegar a la secretaría de la Academia antes del primero de marzo del año siguiente de la difusión de las cuestiones. Se requieren cinco ejemplares.

b) Evaluación de las obras presentadas

1. En su sesión de marzo, las Secciones nombran para cada obra a tres lectores encargados de examinarlas y de hacer un informe para el jurado.

2. El jurado está dirigido por el Presidente de la Academia y constituido por seis miembros titulares o titulares honorarios, sea dos por Sección, de quienes uno por comunidad lingüística. Están nombrados para dos años por la Sección. Cada año, en la sesión de marzo, la mitad del jurado está reelegida.

3. Los premios son otorgados por la Sección correspondiente en el mes de mayo tras lectura y aprobación del informe del jurado. El autor de la obra premiada llevará el título de «Laureado de la Real Academia de Ciencias de Ultramar».

4. Después del otorgamiento de los premios, las obras permanecen en la secretaría de la Academia a la disposición de los miembros.



Questions du concours 2017

Première question. - On demande une étude sur les conséquences du tourisme international dans un (ou plusieurs) pays en développement.

2^e question. - On demande une application de la génétique des populations, et en particulier de la génomique, pour la compréhension de l'épidémiologie d'une maladie parasitaire ou infectieuse.

3^e question. - On demande une étude sur les possibilités d'une amélioration des plantes cultivées orphelines basée sur la caractérisation de leur diversité génétique, afin de résoudre des problèmes tels que la sécurité alimentaire, la pauvreté ou l'adaptation au changement climatique.

Les ouvrages présentés au concours doivent parvenir au secrétariat de l'Académie avant le **1^{er} mars 2017**.

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

Tél.- en Belgique 02.538.02.11

Tél.- 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: kaowarsom@skynet.be

Web: <http://www.kaowarsom.be>

Vragen voor de wedstrijd 2017

Eerste vraag. - Men vraagt een studie over de impact van het internationale toerisme in één (of meerdere) ontwikkelingslanden.

2^{de} vraag. - Men vraagt een studie over het gebruik van populatiegenetica, en meer bepaald van genomics, voor een beter begrip van de epidemiologie van een parasitaire of een infectieuze ziekte.

3^{de} vraag. - Men vraagt een studie naar mogelijkheden voor de veredeling van ondergewaardeerde plantensoorten, die een antwoord moeten bieden op problemen zoals voedselzekerheid, armoede of aanpassing aan klimaatverandering, op basis van de karakterisering van hun genetische diversiteit.

De werken die voor de wedstrijd ingediend worden, moeten op het secretariaat van de Academie toekomen vóór **1 maart 2017**.

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: kaowarsom@skynet.be

Web: <http://www.kaowarsom.be>

University Curricula and Research on Water Management and Agriculture for Climate Change Responses

A regional NUFFIC-NICHE science conference

Venue: Vietnam National University of Agriculture, Gia Lam campus, Hanoi
24 to 26 August 2016

The goals of the conference are to disseminate:

1. Approaches of developing competency oriented learning in BSc and MSc curricula related to Agriculture and Water Management considering Gender and Climate Change in SE Asia.
2. Methods for developing national strategies of Integrated Water Resources Management, Coastal Engineering and Management and Disaster Management, in view of Climate Change.
3. Approaches to, and results of, assessment and planning for Climate Change responses of agriculture and water management at local level.

The expected outcomes of the conference are to acquire:

- Broader insights of institutional and structural conditions, advantages and methods of professional competency oriented and student centred learning based upon the market demand, in particular of Vietnamese Universities and in general at Asian Universities.
- Increased know-how on developing curricula and plans for climate smart agriculture and water related disaster prevention and management, at national and local level.

The targeted audiences of the conference:

The targeted audiences of the conference are, next to the partners* of the organising projects, staff of universities, ministries, agencies and projects aiming at curriculum innovation and climate change responses. To be invited are agencies such ADB, AUSAID, DED, EU and USAID, projects focussing on academic education, ministries of Higher Education, Science & Technology, Agriculture and Rural Development, and Vietnamese universities in the field agriculture and water management.

Program:

24-08 afternoon: Interactive learning workshops (both in Vietnamese and English) with keynote speakers and submitted cases to discuss the methods of (1) curriculum development, (2) course programming and (3) student centred teaching, and (4) the constraints of the implementation of student centred curricula.

Targeted participants: partners and other SEA universities, and other Niche projects.

25-08 morning: Opening of the Niche VietNam symposium:
8:30 Welcome by VNUA and ACCCU.
8:40 General introduction of the Niche program in Vietnam (MOET & NUFFIC).
9:00 Results of the Niche/VNM projects at the three partner universities at the level of institutions, strategies, education, research and technology transfer.
10:00 Break
10:30 Keynote of Dr. Arjen Wals, Professor at Universities of Stockholm, UNESCO and Wageningen, government advisor and author on education for sustainability.

11:00 Overview of results from POHE and other Vietnamese Niche projects.

11:40 General discussion.

12:00 Closing of Niche Viet Nam Symposium by NL embassy and other VNM ministry.

12:15 Lunch

25-08 afternoon: 14:00 to 17:00 with break at 15:15. Parallel sessions to present research on:

- o Coastal engineering and management of disasters related to water and CC;
- o Assessment of climate change impact on safety and food production;
- o Research on and planning for responses to climate change.

26-08 morning: Know-how Exchange on Innovation and Business Incubation at Universities.

CALL FOR PAPERS

The scientific committee of the regional NUFFIC-NICHE science conference University Curricula and Research on Water Management and Agriculture for Climate Change Responses calls for the submission of abstracts for oral presentations. A limited number of abstracts may be published in a special issues of Tropicultura and/or writing a full paper. The presenters of the accepted Abstracts and Papers may submit a request for a travel grant.

Deadlines: Submit abstracts before 26 May 2016

- Communication of selection for oral presentations and full-papers: 20 June 2016.
- Deadline for submission of registration forms: 30 June 2016.
- Submission deadline of selected full-papers: 18 July 2016.
- Each oral presenter shall be entitled to 15 minutes for presenting, plus 5 minutes for questions.
- Oral presentations should use Power Point type of files; no other projectors will be allowed.
- Presenters and other participants are required to pay their own travel and hotel costs.

All abstracts must be in English - the official language of the conference

A Book of abstracts will be printed by VNUA's publication office. A limited number of full papers and abstracts can be published in a special issue of Tropicultura. Please indicate your interest in the latter when submitting the abstract.

INSTRUCTIONS FOR PREPARATION OF ABSTRACTS

Expanded Abstract Format

1. **TITLE OF PAPER:** The paper title is printed in bold, with the exception of scientific names which should be italicized. Scientific names should not be preceded or followed by commas or parentheses or other markings.
2. **AUTHOR(S):** The first name should be the presenting author. Use * after the presenting author. Type in upper/lower case.
3. **ADDRESS AND EMAIL:** Type only the presenting author's institution, address and email.
4. **MAXIMUM LENGTH:** One Page.
5. **PAGE SIZE:** Standard A4, orientation portrait (210mm x 297mm = 8.27" x 11.69").
6. **MARGINS:** Top and bottom: 2.5 cm, Left and right 3 cm.

7. SPACING: Single spaced.
8. PARAGRAPHS: Paragraphs should be separated by a blank line and should not be indented.
9. FONTS: Character fonts should be 12 point type Times New Roman.
10. PHOTOS, FIGURES & TABLES: Photo, figures and tables are recommended. Make sure that the graph formats match a black & white printing also. They should be reduced to a size fitting the one page abstract (see example at the right) and still be clearly readable.

PLEASE SUBMIT YOUR ABSTRACT TO: NicheVNM105-conference@vnu.edu.vn

Présentation

Tropicultura est une revue multidisciplinaire qui publie des articles originaux, des notes de recherche et de synthèse, des résumés de livres et de thèses, des annonces ainsi que des comptes rendus de films et de supports audiovisuels concernant tous les domaines liés au développement rural et à la gestion durable de l'environnement outre-mer.

Parrainage scientifique

Tropicultura est éditée par l'asbl AGRI-OVERSEAS et bénéficie du patronage scientifique de l'Académie Royale des Sciences d'Outre Mer de Belgique (ARSOM : www.kaowarsom.be).

Tropicultura remplit le rôle joué avant 1963 par le Bulletin agricole du Congo belge et du Ruanda- Urundi. Le premier volume de Tropicultura a été publié en 1983 sur support papier (ISSN 0771-3312). Une version électronique a pris le relais depuis 2013 (eISSN 2295-8010).

Domaines scientifiques

Tropicultura publie les articles liés au développement rural et à la gestion durable de l'environnement dans les pays chauds: productions végétales et animales, sciences vétérinaires, sciences forestières, sciences du sol et de la terre, génie rural, sciences de l'environnement, pêches et pisciculture, bio-industries, agroalimentaire, sociologie et économie.

Soutien financier

Tropicultura est éditée avec le soutien financier de la région Bruxelles Capitale (be.brussels.be) et de l'Ecole Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion intégré des Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIFT: www.eraift-rdc.cd).

Tropicultura et le CAMES

Les publications dans Tropicultura sont reconnues par le Conseil africain et malgache pour l'enseignement Supérieur pour la promotion et l'avancement des enseignants - chercheurs (CAMES: <http://www.lecames.org/>).

Membres de l'asbl Agri-Overseas

Agri-Overseas asbl se compose de membres individuels et de représentants des institutions belges suivantes: les quatre facultés en sciences agronomiques de Belgique (Gembloux - GxABT/ULg, Gent - UGent, Leuven - KULeuven et Louvain-La-Neuve - UCL), les deux facultés en médecine vétérinaire (Gent - UGent et Liège - ULg), les unités de santé animale du Département de Sciences biomédicales de l'Institut de Médecine tropicale d'Anvers - IMTA, la Section interfacultaire d'Agronomie de l'Université libre de Bruxelles - ULB, l'Université de Namur (Namur - UNamur), le Département des Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université de Liège (Arlon - DSGE ULg), et l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer (KAOW - ARSOM).

Régularité

Tropicultura est édité trimestriellement en mars, juin, septembre et décembre.

Publication en Open Access

Tous les articles de Tropicultura depuis sa création en 1983 sont publiés avec accès libre. Le texte intégral et les résumés sont gratuits. Les articles sont diffusés sous la licence Creative Commons (CC BY-NC 4.0 - <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fr>).

Indexation dans les principales bases de données

Tropicultura est indexé dans les bases de données AGRICOLA, AGRIS, CABI, SESAME et DOAJ. Une demande d'indexation de Tropicultura dans la base de données SCOPUS a été introduite.

Facteur d'impact

Les démarches sont en cours pour l'obtention d'un facteur d'impact.

Diffusion de Tropicultura

Tropicultura a été publié en version imprimée de 1983 à 2012. La version papier était tirée à 2.650 exemplaires et diffusée dans 110 pays différents).

Tous les articles, depuis le premier fascicule, sont accessibles en texte intégral sur le site web (<http://www.tropicultura.org/content/>) et sur le DOAJ (<https://doaj.org/toc/0771-3312>).

En 2014, Google analytics a comptabilisé 8.648 visites en provenance de 141 pays et régions. Le nombre de téléchargement de la revue Tropicultura était de 2.173 téléchargements en provenance de 101 pays en 2014.

Tropicultura est également accessible sur les sites EBSCO et Bielefeld (<http://www.basesearch.net/Search/Results?lookfor=dcoll%3Aftdoaj%20tropicultura.org&refid=dclink>) et via google scholar (<https://scholar.google.be/scholar?q=Tropicultura>).

Coordonnées

Comité de rédaction

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

Rédacteur en chef : Prof. Dr. Ir. G. Mergeai (GxABT/ULg)

Membres : Prof. Dr. Ir. P. Bertin (UCL), Prof. Dr. Ir. E. Tollens (KULeuven), Prof. Dr. Ir. Ch. De Cannière (ULB), Prof. Dr. B. Losson (ULg), Prof. Dr. J.-C. Micha (FUNDP), Prof. Dr. Ir. B. Tychon (DSGE ULg), Prof. Dr. P. Dorny (IMTA), Prof. Dr. Ir. P. Van Damme (UGent), Prof. Dr. S. Geerts (KAOW -ARSOM), Dr. G. Akoda (EISMV), Dr. Ir. A. Dieng (ENSA), Prof. Dr. Ir. P. Mobambo (UNIKIN), Dr. C. Ly (ILRI) et Prof. Dr. J. Vercruysse (UGent).
Assistants du rédacteur en chef: Dr. Ir. Germain Harelimana, Mme Caroline Louvet.

Le conseil d'administration est composé de : Prof. Dr. J. Bogaert (président), Prof. Dr. Ir. G. Mergeai (administrateur-délégué), Prof. Dr. B. Losson (trésorier), Dr Eric Thys (secrétaire), Prof. Dr. J. Vercruysse (membre), Prof. Dr. S. Geerts (membre).

Invités permanents: le Secrétaire perpétuel de l'ARSOM et le directeur de l'ERAIFT.

Editeur

Agri-Overseas
Avenue Louise, 231
B-1050 Bruxelles (Belgique)
tél. 32(0)2-540 88 60, 32(0)2-540 88 61
fax 32(0)2-540 88 59
e-mail ghare.tropicultura@belgacom.net, clouvet.tropicultura@belgacom.net
<http://www.tropicultura.org>

Guide des auteurs

Langues de publication

Tropicultura publie les articles écrits en anglais, espagnol, français et néerlandais. Les résumés sont publiés en anglais et en français (espagnol ou néerlandais si les manuscrits sont soumis dans cette langue).

Contenu des manuscrits

La priorité est donnée aux articles présentant des sujets originaux, ayant une portée la plus large possible, c'est-à-dire dont le contenu concerne surtout des aspects méthodologiques transposables dans une large gamme d'environnements et de régions du monde. Un accent tout particulier est également mis sur la fiabilité des informations publiées, c'est-à-dire, quand il s'agit de résultats expérimentaux, sur le nombre de répétitions des essais, dans le temps et dans l'espace, qui sont à l'origine des données obtenues.

Les manuscrits seront inédits et n'auront pas été soumis pour publication simultanément à une autre revue scientifique.

Procédure de soumission

Les manuscrits sont à adresser au rédacteur en chef par la poste, en trois exemplaires, sous forme de document papier, ou, de préférence, directement à l'adresse électronique du secrétariat de rédaction sous forme de fichiers attachés.

Dans la mesure du possible, après acceptation de l'article pour publication, l'auteur fournira sa dernière version, revue et corrigée, sous format électronique. Le logiciel Word est recommandé mais une version ASCII ou RTF des fichiers est acceptée.

Style

Les manuscrits seront rédigés en simple face, en double interligne, police de caractères times new Roman 11, avec une marge de 2,5 cm autour de la plage imprimée. Ils comporteront au maximum vingt pages de texte (page de couverture non compris). La page de couverture portera : le titre, le titre abrégé (maximum 55 caractères), les noms et prénoms complets des auteurs, le diplôme, la fonction, la nationalité, l'adresse professionnelle complète et l'adresse électronique de chacun d'eux, les remerciements éventuels. Le nom de l'auteur correspondant sera marqué d'un "*" et son adresse sera complétée par son numéro de téléphone.

Les pages suivant la page de couverture présenteront:

- (i) les résumés (max. 200 mots) dans la langue du manuscrit et en anglais, précédés du titre traduit et suivis de maximum six mots-clés dans chacune des deux langues;
- (ii) le corps du texte;
- (iii) la bibliographie;
- (iv) les tableaux numérotés au moyen de chiffres arabes;
- (v) les illustrations identifiées sans ambiguïté par un numéro au verso si elles ne sont pas envoyées électroniquement;
- (vi) les légendes des tableaux et des illustrations.

Toutes les pages seront numérotées en continu.

Le texte sera divisé en grands chapitres (généralement: Introduction, Matériel et méthodes, Résultats, Discussion, Conclusions) et sa subdivision ne dépassera pas deux niveaux (un seul niveau en dessous de celui des chapitres). Les titres des chapitres et les sous-titres des paragraphes, très concis ne seront jamais soulignés.

Les références seront citées dans le texte au moyen de nombres placés entre parenthèses. En cas de citation de plusieurs références, leurs nombres se succéderont par ordre croissant.

Les figures seront dessinées de façon professionnelle. Les photographies seront fournies non montées, bien contrastées sur papier brillant.

Les photos fournies en format jpg doivent être de bonne qualité et avoir au minimum 300 pixels par pouce (dpi).

Les fichiers Excel des données de tableaux et graphiques doivent être fournis lors de la soumission du manuscrit.

Les références bibliographiques seront données par ordre alphabétique des noms d'auteurs et par ordre chronologique pour un auteur donné.

Elles seront numérotées en continu en commençant par le chiffre 1.

Le nombre de références bibliographiques ne dépassera pas cinquante.

Pour les articles de revues, les références comprendront : les noms des auteurs suivis des initiales des prénoms, l'année de publication, le titre complet de l'article dans la langue d'origine, le nom de la revue, le numéro du volume souligné, les numéros de la première et de la dernière page séparés par un tiret.

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

Pour les monographies, les éléments suivants sont essentiels : les noms des auteurs suivis des initiales des prénoms, l'année de publication, le titre complet de l'ouvrage, le nom de l'éditeur, le lieu d'édition, la première et la dernière page du chapitre cité, le nombre total de pages de l'ouvrage.

Les comptes rendus de conférences sont traités comme des monographies; de plus, ils mentionneront si possible le lieu, la date de la réunion et le(s) éditeur(s) scientifique(s).

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

Droits de reproduction

En soumettant l'article, les différents auteurs associés donnent à Tropicultura l'autorisation, non exclusive, de diffusion en accès libre. L'auteur conserve ses droits d'auteur.

Attestation de publication

Afin de s'assurer de l'originalité du manuscrit et de l'accord de sa publication par les organismes de tutelle des auteurs, il est demandé à l'auteur principal de signer une attestation sur l'honneur.

Participation aux frais de publication

Le montant de la participation des auteurs aux frais de publication de l'article s'élève à 200 euros. Lors de la soumission, l'auteur correspondant doit accepter ces frais. La participation aux frais est à payer lorsque le manuscrit est accepté pour publication.

Détecteur de Plagiat

Tous les manuscrits sont soumis à un test de plagiat avant d'être transmis aux lecteurs.

Comité de lecture

Le comité de lecture de Tropicultura est composé de lecteurs bénévoles appartenant à la communauté scientifique internationale, spécialisés dans tous les domaines concernant le développement rural et la gestion durable de l'environnement dans les pays d'outre-mer.

Les auteurs devront proposer trois lecteurs de renommée internationale, lors de la soumission.

Les articles sont soumis à un ou plusieurs lecteurs sélectionnés par le comité de rédaction.

Ces lecteurs restent anonymes pour les auteurs. Les auteurs restent également anonymes pour les lecteurs.

Le comité de rédaction se réserve le droit de refuser tout article non conforme aux prescriptions de la revue.

Le taux d'acceptation des articles soumis à Tropicultura entre 2010 et 2015 est de 32%.

Aides à la rédaction

Le secrétariat de rédaction peut conseiller les auteurs pour l'amélioration de leur manuscrit. Il peut également mettre en contact les lecteurs qui le souhaitent avec les auteurs dont ils évaluent le manuscrit.

Texte français dans le n°1

English text in Nr.2

Texto Español en el N°4

TROPICULTURA

2016 Vol. 34 N°1

Trimestriel (janvier-février-mars)

Driemaandelijks (januari-februari-maart)

Trimestral (enero-febrero-marzo)

Quarterly (January-February-March)



Elevage de porcs - Ibi village - Plateau des Batéké - Rép. Dém. du Congo

Crédit: Guy Mergeai

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/EDITORIAAL/EDITORIAL

Will Future Developments in the World of Agriculture Lead to the Disappearance of Family Farms?

Le futur de l'agriculture passe-t-il par la disparition des exploitations familiales ?

Hangt de toekomst van de landbouw af van het verdwijnen van familiebedrijven?

¿ El futuro de la agricultura pasa por el desaparecimiento de las explotaciones familiares?

G. Mergeai

1

ARTICLES ORIGINAUX/OORSPRONKELIJKE ARTIKELS/ARTICULOS ORIGINALES

Evaluation de la teneur en protéines et en chlorophylle dans les feuilles de cinq variétés locales de manioc infectées par la mosaïque en République Centrafricaine

Evaluatie van de proteïne- en chlorofylgehalte van vijf lokale variëteiten van maniok geïnfecteerd door het mozaïek virus in Centraal Afrikaanse Republiek

Evaluación del contenido en proteína y en clorofila en hojas de cinco variedades locales de la mandioca infectadas por el mosaico en la República Centroafricana

I. Zinga, R.D. Longue, E.K. Komba, C. Beaumont & S. Semballa

3

Rôle et place de la chèvre dans les ménages du Sahel burkinabé

Papel y la posición de la cabra en las hogares del Sahel Burkinabé

Rol en plaats van de geit in het leven van de huishoudens van de Burkinese Sahel

B.I. Gnanda, A. Wereme N'Diaye, H. O. Sanon, J. Somda & J.A. Nianogo

10

Understanding Market Participation Choices and Decisions of Maize and Cowpea Farmers in Northern Nigeria

Compréhension des choix et des décisions de participation au marché des producteurs de maïs et de niébé du nord du Nigeria

Het begrijpen van keuzes en beslissingen in de deelname aan het vermarkten van producenten van maïs en zwartogenboon in het noorden van Nigeria

Comprensión de las elecciones y decisiones de los productores de maíz y frijol del norte de Nigeria a participar al mercado

D.B. Mignouna, T. Abdoulaye, A.A. Akinola, A.Y. Kamara & M. Oluoch

26

Croyances locales et stratégies d'adaptation aux variations climatiques à Korhogo (Côte d'Ivoire)

Lokale overtuigingen en aanpassingsstrategieën aan klimaatverandering in Korhogo (Ivoorkust)

Creencias locales y estrategias de adaptación a las variaciones climáticas en Korhogo (Costa de Marfil)

A.N.N. Boko, G. Cisse, B. Kone & S.F. Dedy

40

Effet de l'application d'engrais minéral complet NPK et de biochar sur les performances de la culture pure du manioc et de l'association manioc - maïs dans les conditions du plateau des Batéké en République Démocratique du Congo (RDC)

Effect van de toepassing van complete minerale meststof NPK en biochar op de prestaties van de reincultuur van maniok en van maniok- maïs combinatie in de omstandigheden van het Batéké-Plateau/ Democratische Republiek van Congo (DRC)

Efecto de la aplicación de abono mineral completo NPK y de biochar sobre el desempeño del cultivo puro de la mandioca y de la asociación « mandioca – maíz » en las condiciones de la meseta de los Batéké / República Democrática del Congo (RDC)

B. Lele, J. Lejoly & C. Kachaka

47

Culture d'une légumineuse et d'une céréale dans le système <i>zaï</i> avec différents amendements organo-minéraux -productivité et impact sur les propriétés biologiques d'un sol ferrugineux dégradé dénudé en Région nord soudanienne au Burkina Faso. Cultuur van een peulvrucht en een graangewas in het <i>Zaï</i> systeem met verschillende organo-minerale grondverteringen productiviteit en impact op de biologische eigenschappen van een ijzerhoudende gedegradeerde en onbegroeide bodem in de noord-Soedanese regio van Burkina Faso Cultivo de una leguminosa y de un cereal en el sistema <i>zaï</i> con diferentes enmiendas organo-minerales-productividad e impacto sobre las propiedades biológicas de un suelo ferruginoso degradado desnudado en Región norte sudanese de Burkina Faso D. Some, E. Hien, K. Assigbetse, J.J. Drevon & D. Masse	56
Sélection des variétés de soja pour la résistance à la pustule bactérienne au Bénin Selección de las variedades de soja para la resistencia a la pústula bacteriana en Benin Selectie van sojabonen variëteiten voor resistentie tegen bacteriële pestel in Benin V.A. Zinsou, F. Afloukou, E. Sekloka, F. Dannon, N. Zoumarou-Wallis, L.A.C. Afouda & L. Dossou	69
Intégration spatiale des marchés ruraux et urbains de la banane à cuire dans le Sud-Est de la Province du Sud du Rwanda Ruimtelijke integratie van de landelijke en stedelijke markten van kookbare banaan in het zuidoosten van de zuidelijke provincie van Rwanda Integración espacial de los mercados rurales y urbanos de Banano de cocción en el Sudeste de la Provincia del Sur de Rwanda F. Niyitanga	80
Caractéristiques des sols sous savane et sous forêt naturelle sur le plateau des Batéké en République Démocratique du Congo Bodemeigenschappen in savanne en natuurlijke bos percelen op het Bateke plateau in de Democratische Republiek Congo Características de los suelos en parcelas de sabana y de bosque natural en el meseta de los Batéké en la República Democrática del Congo B.M. Nsombo, R.S. Lumbuenamo, J. Lejoly, J.K. Aloni & P.M-M. Mafuka	87
Dynamique des populations du puceron <i>Aphis gossypii</i> Glover (Homoptera: Aphididae) sur le cotonnier en conditions de fertilisation minérale et rhizobacteriologique Populatiedynamiek van de bladluis <i>Aphis gossypol</i> Glover (Homoptera: Aphididés) op de katoenplant onder omstandigheden van minerale en rhizobacteriologische bemesting Dinámica de las poblaciones del pulgón <i>Aphis gossypii</i> Glover (Homoptera: Aphididae) sobre el algodón en condiciones de fertilización mineral y rhizobacteriologica G.D. Fayalo, A. Aouco & T.B.C. Alavo	98
ANNONCES/ AANKONDIGINGEN/ ANUNCIOS	
ARSOM: Yearly Competitions	105
R. Bosma: University Curricula and Research on Water Management and Agriculture for Climate Change Responses	108

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
--

Will Future Developments in the World of Agriculture Lead to the Disappearance of Family Farms?

In this editorial, we would like to highlight the World Forum on Access to Land, which will be held in Valencia (Spain) from 31 March - 2 April 2016. This event is especially important, as it aims to guarantee the long-term survival of family farms in the tropical regions. It will address major problems linked to unequal access to land and natural resources.

The human race is currently facing a critical situation, which is marked by the persistence of hunger and major population growth in the poorest countries, as well as exclusion, mass unemployment, an unprecedented environmental crisis and the loss of food sovereignty. The large-scale land grabbing that accompanies this crisis compels us to return to the question of access to land and productive resources.

Is it necessary to sacrifice the interests of the affected populations and future generations for the profitability of financial investments, which only benefit a minority? If this strategy is taken to its logical conclusion, this will result in the destruction of an increasingly large proportion of family farms and only benefit major companies that produce a small number of food products. The latter are major consumers of synthetic inputs and fossil energy, but employ fewer and fewer paid workers.

Will this model create jobs and generate income for hundreds of millions of farmers who are currently being excluded and increasingly forced to enter the labour market? The approaching agricultural revolution could make it possible to feed 9 billion people properly, provide jobs for the majority and eradicate hunger, but will it be based on a massive substitution of capital for labour, as has been the case in the past?

This large-scale monopolisation of our planet's resources manifests itself in many different ways, but always results in these resources being commercialised to an increasing extent, in the name of growth and welfare at international level. The historical, ecological, social, cultural and political dimensions of the current dynamics cannot be ignored. In this context, it is vital that we highlight the right of populations to fair access to land, water, natural resources and the most appropriate production systems for their technical, ecological, economic and cultural needs, as well as the general interest.

It would be heartless to put science into practice without having a conscience. We therefore felt that it was important to highlight the themes that will be discussed in Valencia, for everyone who is interested in the future of agriculture in the tropical regions. After all, the future of most family farms in this part of the world is at stake. With this in mind, we hope that the World Forum on Access to Land will make it possible to propose solutions, in order to resolve these problems.

Guy Mergeai
Chief Editor

Le futur de l'agriculture passe-t-il par la disparition des exploitations familiales?

Compte tenu de son importance pour assurer le maintien à long terme d'une agriculture familiale dans les régions tropicales, nous faisons écho dans cet éditorial à l'organisation du forum mondial sur l'accès à la terre qui se tient du 31 mars au 2 avril 2016 à Valencia en Espagne pour traiter les problèmes majeurs liés à l'inégalité d'accès à la terre et aux ressources naturelles.

L'humanité connaît actuellement une situation critique caractérisée par la persistance de la faim et d'une croissance démographique importante dans les pays les plus pauvres, l'exclusion, le chômage massif, une crise environnementale sans précédent et une perte de souveraineté alimentaire. Les accaparements fonciers à grande échelle qui accompagnent cette crise invitent à revisiter la question de l'accès à la terre et aux ressources productives.

Faut-il sacrifier l'intérêt des populations concernées et des générations à venir à la rentabilité d'investissements financiers qui profitent à une minorité? Poursuivre cette démarche jusqu'au bout de sa logique aboutira à la destruction d'une part de plus en plus grande d'exploitations agricoles familiales au profit de grandes entreprises produisant un petit nombre de denrées, à la fois grandes consommatrices d'intrants de synthèse et d'énergie fossile, et employant un nombre de plus en plus restreint de travailleurs salariés.

Ce modèle permettra-t-il la création d'emplois et de revenus pour des centaines de millions de paysans aujourd'hui sur la voie de l'exclusion, et autant ou davantage appelés à entrer sur le marché du travail? La révolution agricole à venir, susceptible à la fois de nourrir correctement 9 milliards d'humains, de donner du travail au plus grand nombre et d'éradiquer la faim, pourra-elle être basée, comme par le passé, sur un remplacement massif du travail par du capital?

L'accaparement massif des ressources de la planète, par-delà la diversité de ses manifestations, traduit leur marchandisation toujours plus étendue, au nom de la croissance et du bien-être à l'échelle mondiale. Les dimensions historiques, écologiques, sociales, culturelles et politiques des dynamiques en cours ne peuvent être ignorées. Dans ce contexte il est fondamental de mettre en avant le droit des populations à disposer d'un accès équitable à la terre, à l'eau et aux ressources naturelles et leur droit à mettre en oeuvre les systèmes de production les plus conformes à la fois à leurs choix techniques, écologiques, économiques et culturels, et à l'intérêt général.

Science sans conscience n'est que mort de l'âme. Il nous paraissait donc important de mettre en avant pour tous ceux qui s'intéressent à l'avenir de l'agriculture dans les régions tropicales ce qui se discute actuellement à Valencia. Car, si on réfléchit bien, c'est le futur d'une grande partie de l'agriculture familiale dans cette partie du monde qui est en jeu. Dans cette perspective, nous espérons que les travaux du forum mondial sur l'accès à la terre permettront de proposer des solutions à la hauteur des problèmes qui se posent.

Guy Mergeai
Rédacteur en chef

ARTICLES ORIGINAUX ORIGINAL ARTICLES

OORSPROKELIJKE ARTIKELS ARTICULOS ORIGINALES

Evaluation de la teneur en protéines et en chlorophylle dans des feuilles de cinq variétés locales du manioc infectées par la mosaïque en République Centrafricaine

I. Zinga^{1*}, R.D. Longue¹, E.K. Komba¹, C. Beaumont² & S. Semballa¹

Keywords: Cassava- Mosaic disease-Protein- Chlorophyll- Viruses- Central African Republic

Résumé

En République Centrafricaine, le manioc est devenu un aliment de base et une source de revenu pour la quasi-totalité de la population rurale. La mosaïque du manioc constitue une menace importante pour la production du manioc et la sécurité alimentaire de la population. La perte de la production due à cette maladie dans le pays est estimée à 50%. Cette baisse de rendement serait liée, du point de vue physiologique, à la réduction de la surface foliaire mais aussi à la chute de taux de chlorophylle, pigment responsable de la photosynthèse. En Centrafrique, une partie de la population manifeste une préférence pour les feuilles du manioc présentant des symptômes de la mosaïque qui leur donnerait un goût plus agréable. L'objectif de ce travail est de comparer les teneurs en protéine et en chlorophylle dans les feuilles présentant des symptômes de la mosaïque et des plants sains pour vérifier l'hypothèse qu'une haute teneur en protéine dans les feuilles de manioc pourrait être associée à leur infection par le virus. Les résultats obtenus ont montré que la teneur en protéine est plus importante dans des feuilles malades que dans des feuilles saines. Ce taux passe en moyenne de $12,77 \pm 0,86\%$ du poids sec des feuilles chez les plants sains à $22,88 \pm 2,93\%$ chez les plants malades. La teneur en chlorophylle est faible chez les plants sévèrement atteints par la mosaïque et est importante chez les plants sains avec une teneur respective de $13,19 \pm 1,09$ mg/l et de $21,81 \pm 2,17$ mg/l.

Summary

Assessment of Protein and Chlorophyll contents in Leaves of Five Local Varieties of Cassava Infected by African Mosaic Virus in Central African Republic

In Central African Republic, cassava has become a staple and a source of income for almost all the rural population. Cassava Mosaic Virus is a major threat to cassava production and food security for the population. The loss of production due to this disease in the country is estimated at 50%. This decrease is linked from the physiological point of view to reduction of the leaf surface, but also to a drop of the chlorophyll level. In the Central African Republic, a part of the population prefers infected cassava leaves because they would be tastier. The objective of this study was to compare the levels of protein and chlorophyll in infected and healthy leaves to verify the hypothesis that high protein content in the leaves could be associated to their contamination by the virus. The results obtained showed that the protein content is higher in the infected leaves than in the healthy ones. The rate rises on average from $12.77 \pm 0.86\%$ of the dry weight of the leaves in healthy plants to $22.88 \pm 2.93\%$ in diseased plants. Chlorophyll content is low in plants severely affected by the mosaic virus, and higher in healthy plants with a respective content of 13.19 ± 1.09 mg/l and 21.81 ± 2.17 mg/l.

¹Université de Bangui, Laboratoire des Sciences Biologique et Agronomiques pour le Développement, République Centrafricaine.

²Lycée Charles De Gaulle de Bangui, Laboratoire des Sciences de la Vie et de la Terre, République centrafricaine.

*Auteur correspondant: E. Mail: zinga.innocent37@googlemail.com

Reçu le 27.05.10 et accepté pour publication le 01.04.15

Introduction

En République Centrafricaine (RCA), le manioc s'impose comme un aliment de base et une source importante de revenu de la population rurale (12). Il est cultivé principalement pour ses tubercules et ses feuilles consommées comme légume. Sa production est estimée à 700.000 tonnes de tubercules frais devant l'igname et le maïs avec une production respective de 470.000 tonnes et 165.000 tonnes (5, 10). Il contribue essentiellement à la sécurité alimentaire, à la réduction de la pauvreté et à la croissance économique (9). Les enquêtes réalisées entre 2005 et 2011 ont montré une incidence de la mosaïque de 85% avec la présence de deux espèces de *begomovus* à savoir: l'*African Cassava Mosaic Virus* (ACMV) et de la souche sévère ougandaise de l'*East African Cassava Mosaic Virus-Uganda* (EACMV-Ug) (16, 17, 18). Nos enquêtes ont permis d'estimer 50% de pertes de récolte, et de démontrer que le principal facteur de dissémination de la maladie était l'état phytosanitaire déplorable des boutures utilisés par les paysans pour la replantation des parcelles avec 79% de boutures contaminées (16, 17, 18). Certains travaux ont montré que la teneur en protéine varie de 14 à 35% dans des feuilles de manioc (2, 8, 11), teneur qui serait à notre avis très élevée pour une plante. Il est à préciser que la population centrafricaine a une préférence pour les feuilles du manioc atteintes de la mosaïque à cause de leur goût jugé plus agréable, selon des constats faits. La forte teneur en protéine dans des feuilles du manioc pourrait être liée à la présence de la capsid virale dans celles-ci, ce qui pourrait expliquer en partie l'amélioration du goût des feuilles présentant des symptômes de la mosaïque. L'évaluation comparative de taux de protéine dans des feuilles malades et saines du manioc pourrait apporter des clarifications. L'un des objectifs de ce travail était de vérifier la relation entre la teneur en chlorophylle dans des feuilles et les niveaux de sévérité de la maladie. Cette étude nous permet également de mieux comprendre l'impact de la maladie sur la teneur en chlorophylle. En effet, la chlorophylle est un pigment assimilateur sans laquelle la photosynthèse ne peut avoir lieu. La chute de taux de chlorophylle dans la plante

pourrait avoir un impact sur le rendement par réduction de la photosynthèse. Pour réaliser de ce travail, nous avons fait l'échantillonnage dans le village Zilla (commune de Bimbo I) situé à environ 15 km de Bangui sur la route de M'baïki et sur la parcelle expérimentale de l'Université de Bangui.

Matériel

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué des plants de manioc (*M. esculenta* Crantz), issus de cinq cultivars locaux: *Bengba gozo*; *Vouko gozo*, *Vourou gozo*, *Damara* et *BCR10*. Nous avons utilisé les feuilles des plants visuellement sains et celles des plants présentant des symptômes de la mosaïque du manioc. Les prélèvements ont été faits sur les plantes de manioc âgées de 6 mois. La détermination de taux de chlorophylle a été réalisée sur les plants de manioc à différents Indices de Gravité des Symptômes (IGS) ou sévérité, sur la base de l'échelle de Cours qui varie de 0 à 5. La sévérité 0 désigne les plants sains et celle des plants malades varient de 1 à 5 c'est-à-dire du moins au plus sévère. Trente échantillons des feuilles ont été collectés par variété dans une parcelle de collection de manioc à l'Université de Bangui. Au total trois variétés locales ont servi à cette étude à savoir: *Bengba gozo*, *Damara* et *DCR10*. Par contre les échantillons qui ont permis à la détermination de taux de protéine ont été collectés dans un champ paysan au village Zilla situé à 15 km au Sud de Bangui. Soixante échantillons ont été prélevés par variété dont trente provenant des feuilles malades et trente des feuilles visuellement saines. Au total 180 échantillons ont été analysés pour les trois variétés locales étudiées qui sont: *Vourou gozo*, *Bengba gozo* et *Vouko gozo*. Les deux variétés *Damara* et *DCR10* n'ont pas été intégrées à ce travail à cause de la disponibilité insuffisante des échantillons. Les travaux d'analyse ont été effectués dans le Laboratoire des Sciences Biologiques et Agronomiques pour le développement (LASBAD) de l'Université de Bangui (dosage de la teneur en protéine) et le Laboratoire de Science de la Vie et de la Terre (SVT) au Lycée Charles de Gaule de Bangui (dosage de chlorophylle sur les échantillons frais).

Méthodes

Détermination de taux de protéines des feuilles

La méthode utilisée pour le taux de protéines totales est celle de précipitation par une solution saline saturée. Le sulfate d'ammonium, $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ a la propriété de précipiter toutes les protéines en solution dans un tampon idéal. Le PBS (Phosphate Buffered Salt) à pH 7,4 permet la mise en solution de toutes les protéines d'un échantillon. Le sulfate d'ammonium, sous la forme $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ s'engage dans la liaison avec toutes les protéines déjà en solution quelle que soit leur nature. Ainsi, 5 g de feuilles séchées ont été finement broyées et dissout dans 25 ml de tampon PBS pH 7,4. Après centrifugation à 5000 tours par minute, le culot récupéré est mélangé avec la solution concentrée de $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ v/v et centrifugé de nouveau dans les mêmes conditions. Le culot récupéré a été séché à l'étuve à 37 °C pendant 24 heures puis pesé.

Détermination de taux de chlorophylles des feuilles

Les extraits chlorophylliens obtenus avec l'alcool éthylique à 90° permettent de déterminer les longueurs d'onde de la lumière visible (400 à 750 nm), absorbées par la chlorophylle brute en solution alcoolique. Deux grammes de feuilles ont été finement découpés puis broyés à sec dans le mortier en présence d'une pincée de sable préalablement traité et de carbonate de calcium. Le broyat ainsi obtenu a été déposé dans de 20 ml d'éthanol à 90 °C en laissant le mélange à 3 minutes à l'air libre.

Le liquide obtenu est filtré sur un entonnoir portant un papier filtre. L'ensemble de filtrat a été dilué en ajoutant 50 ml d'éthanol 90°. Le dosage a été fait avec un spectrophotomètre CCD connecté à un ordinateur. La teneur en chlorophylles totales des extraits a été obtenue en utilisant la formule d'ARNON.

Formule d'ARNON: $Chl\ totale = (0,0202 \times D.O\ 645) - (0,0802 \times D.O\ 663)$ mg/ml.

Analyses statistiques des résultats

Les résultats de la teneur en protéine et en chlorophylle des échantillons étudiés ont été traités statistiquement par analyse de la variance selon le test de Student.

Résultats

Détermination du taux de Protéines

La figure 1, exprime la teneur en pourcentage des protéines dans les feuilles du poids sec des variétés *Vourou gozo*, *Vouko gozo* et *Bengba gozo*. Pour toutes les variétés confondues, la teneur en protéine dans des feuilles infectées est plus élevée que celles des feuilles saines. Les teneurs (Figure 1) en poids sec des feuilles saines comparativement aux feuilles présentant des symptômes des trois variétés étudiées sont *Vouko gozo* (12,6 et 20,98), *Bengba gozo* (12 et 21,4) *Vourou gozo* (13,7 et 26,25) ($p < 0,01$). La teneur en protéine dans les feuilles des plants infectés par la mosaïque double comparativement à celles des feuilles des plants sains.

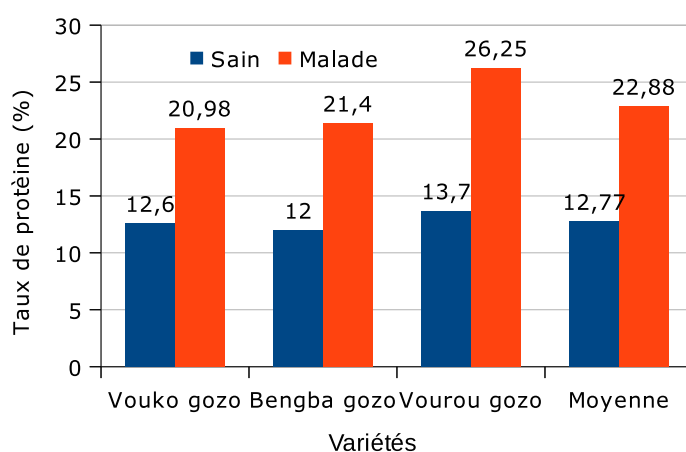
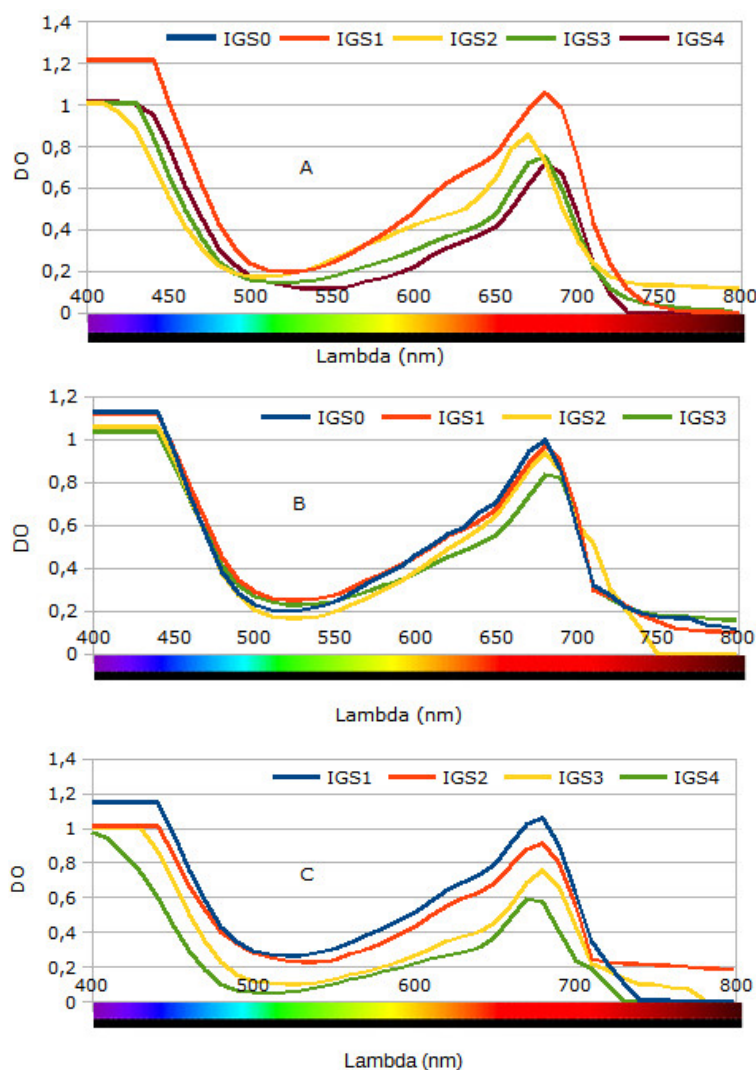


Figure 1: Teneur en protéines de la matière sèche des feuilles des trois variétés locales du manioc.



A: les courbes d'absorption des extraits des feuilles du manioc de la variété *Damara*; B: les courbes d'absorption des extraits des feuilles du manioc de la variété *DCR10* et C: les courbes d'absorption des extraits des feuilles du manioc de la variété *Bengba gozo*. DO: Densité optique. S0: pic d'absorption de la chlorophylle des extraits des feuilles à sévérité 0; S1: pic d'absorption de la chlorophylle des extraits des feuilles à sévérité 1; S2: pic d'absorption de la chlorophylle des extraits des feuilles à sévérité 2; S3: pic d'absorption de la chlorophylle des extraits des feuilles à sévérité 3 et S4: pic d'absorption de la chlorophylle à sévérité 4.

Figure 2: Spectres d'absorption de la chlorophylle des extraits des feuilles du manioc des trois variétés en fonction de la sévérité de la mosaïque.

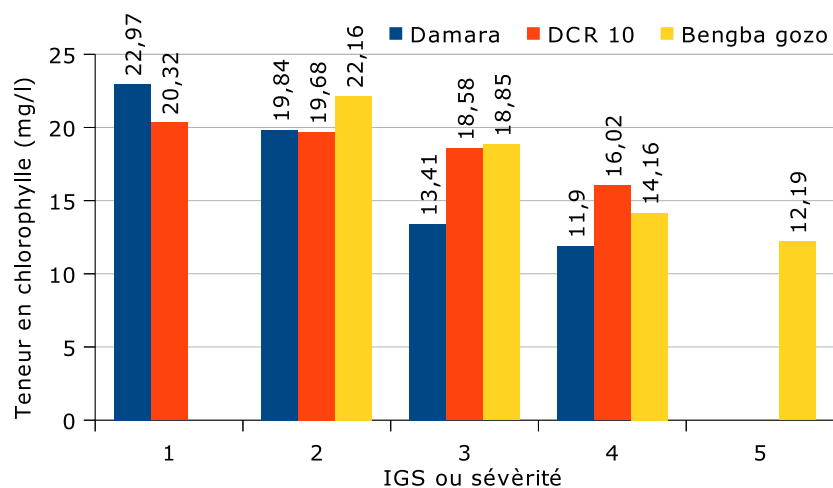


Figure 3: Teneur en chlorophylle des extraits des feuilles du manioc des trois variétés (*Damara*, *DCR10* et *Bengba gozo*) en fonction de la sévérité de la mosaïque.

En moyenne, les plants malades ont une forte teneur en protéine en poids sec que les plants sains qui sont respectivement de $22,88 \pm 2,93\%$ et $12,77 \pm 0,86\%$ (différence hautement significative, $p < 0,01$). La même tendance a été trouvée chez les plants à l'état frais. En effet, l'étude a montré que les feuilles des plants sains et malades contiennent respectivement $6,17 \pm 0,10\%$ et $9,55 \pm 1,83\%$ de leur poids frais en protéines ($p < 0,05$).

Détermination de la teneur en chlorophylle des feuilles

Les chlorophylles absorbent certaines radiations dites actives pour la photosynthèse (3, 6), dans la gamme de longueurs d'onde visibles comprises entre 400 et 700 nm. Nous avons donc mesuré les caractéristiques d'absorption de la lumière en réalisant un spectre d'absorption à l'aide d'un spectrophotomètre CCD UV visible, qui permet de mesurer l'absorbance (A) en fonction de la longueur d'onde.

L'absorption maximale se réalise dans le bleu (< 500 nm) et dans le rouge (650-700 nm). Cette étude a montré que les pics d'absorption varient en fonction de la sévérité de la maladie sur la plante. Les extraits des plants à sévérité élevée des variétés *Damara*, *BCR10* et *Bengba gozo* absorbent plus faiblement dans le rouge entre 650 et 700 nm alors que ceux à sévérité faible absorbent plus fortement dans les mêmes conditions (Figure 2A, 2B et 2C).

Les valeurs d'absorbance des extraits provenant des plants infectés à sévérité élevée est plus faible comparativement à ceux des plants à sévérité faible. Les courbes de la figure 2 montrent que plus la sévérité de la maladie est importante plus le spectre d'absorption est faible.

On remarque aussi chez les 3 variétés (*Damara*, *DCR10* et *Bengba gozo*) que la teneur en chlorophylle varie en fonction de la sévérité. Elle chute avec la sévérité de la maladie (Figure 3). C'est-à-dire plus la sévérité est importante plus la teneur en chlorophylle est faible. Pour les plants sains à sévérité 0 la teneur en chlorophylle est de 22,97 mg/l alors que chez les plants malades à sévérité 3 elle est de 11,9 mg/l chez la variété *Damara* (Figure 3).

La teneur a chuté de moitié en passant de la sévérité 0 à la sévérité 3 ($p < 0,05$). Ces résultats appuient ceux obtenus avec les pics d'absorption en figure 2A et montrent que la maladie a bien un effet sur la teneur en chlorophylle des feuilles. Les analyses réalisées sur la variété *DCR10* ont montré les mêmes tendances aussi bien pour les spectres d'absorption que pour la teneur en chlorophylle. Les pics d'adsorption chutent lorsque que l'IGS ou la sévérité augmente. La teneur en chlorophylle exprimée en mg/l d'extrait varie en fonction de la sévérité.

Les extraits des feuilles des plants sains à sévérité 0 ont une teneur en chlorophylle de 20,32 mg/l, alors que ceux des plants malades à sévérité 1, 2 et 3 ont respectivement 19,68; 18,58 et 16,02 mg/l (Figure 3B). La teneur en chlorophylle de la variété diminue lorsque l'IGS de la maladie augmente ($p < 0,05$). Une troisième variété du manioc appelée *Bengba gozo* faisant l'objet de cette étude a confirmé les mêmes tendances observées chez les variétés *Damara* et *DCR10*. Les pics d'absorption chutent lorsque la sévérité augmente. La teneur en chlorophylle des extraits des feuilles de la variété *Bengba gozo* à sévérité 1 est de 22,16 mg/l, tandis qu'elle est de 12,19 mg/l pour les extraits des feuilles à sévérité 4 ($p < 0,05$) (Figure 3). Les résultats de ces travaux montrent bien l'impact de la maladie sur la teneur en chlorophylle qui pourrait avoir une répercutions directe sur le rendement du manioc.

Discussion

D'après nos résultats, la mosaïque de manioc a effectivement un effet sur les deux paramètres qui ont fait l'objet de cette étude, la teneur en protéines des feuilles et celle des pigments chlorophylliens. En moyenne les feuilles des plants sains contiennent $12,77 \pm 0,86\%$ contre $22,88 \pm 2,93\%$ des plants malades en poids sec, différence hautement significative ($p < 0,01$).

L'analyse à l'état frais des feuilles a donné la même tendance avec une différence significative ($p < 0,01$). Cette différence observée entre les plants malades et les plants sains s'expliquerait par la présence de la particule virale dans les feuilles malades.

Comme chez les tous virus, la capsid virale des *Begomovirus* du manioc est constituée essentiellement de protéines; on suppose que ces protéines s'ajouteraient à celles d'origine végétale en augmentant la quantité de celle-ci chez les plants malades. Certaines personnes trouvent que les feuilles de manioc infectées de la mosaïque présentent un meilleur goût qui pourrait s'expliquer par la présence de la protéine virale dans les plants malades. Le taux moyen en protéine de $22,88 \pm 2,93\%$ des feuilles infectées séchées montre que c'est un aliment très riche en protéine qui pourrait jouer un rôle important dans l'équilibre alimentaire et animale. Selon certains auteurs, la teneur en protéine en poids sec varie de 14 à 35% dans les feuilles de manioc (8, 2, 13, 14). Aucune de ces études n'a montré la différence en teneur des protéines dans des feuilles malades comparativement aux feuilles saines. Cet aspect est à prendre en considération au niveau de la valorisation des feuilles de manioc dans l'alimentation humaine et animale (volailles, porcs, poisson etc.) comme le préconisent certains auteurs (7). Il est rappelé qu'en République Centrafricaine la quasi-totalité de la population se nourrit de feuille manioc. Il y a une grande prise pour les feuilles particulièrement atteintes de la mosaïque. Cela représente un contraste dans la mesure où il faut lutter contre la mosaïque pour améliorer la production en tubercule du manioc. Dans la stratégie de lutte contre la mosaïque il serait intéressant de valoriser certaines variétés de manioc résistantes à la mosaïque dont les feuilles présenteraient une bonne qualité organoleptique pour contourner le contraste. La mosaïque de manioc diminue considérablement la quantité de chlorophylle des feuilles des plants avec un impact réel sur le rendement. Nos résultats montrent que les feuilles présentant des symptômes étaient moins concentrées en chlorophylle que les plants sains. En plus, lorsque la sévérité de la maladie augmente la perte en pigments chlorophylliens devient de plus en plus importante. Les travaux d'Ayanru et Sharman (1) au Nigeria ont montré que les feuilles atteintes de la mosaïque étaient moins concentrées en chlorophylle que les feuilles saines.

L'hypothèse selon laquelle la perte de rendement en tubercules, serait probablement due à un déficit de chlorophylle est donc en partie confortée par ces résultats. Les résultats démontrent clairement que la chute de taux de chlorophylle est fonction de la sévérité. Un lien pourrait s'établir entre la sévérité, la teneur en chlorophylle et le rendement. C'est ainsi que les études faites récemment (16) attestent que la sévérité a un impact sur le rendement (4, 15). Les pertes de rendement sont évaluées de 15,93%; 29,26% et 41,50% respectivement pour les sévérités 1, 2 et 3 (16). La présente étude montre une perte croissante en taux de chlorophylle lorsque la sévérité augmente. D'une manière générale, chez les plants malades, la couleur verte des feuilles disparaît progressivement au profit des tâches jaunes, principale caractéristique des symptômes de la mosaïque africaine de manioc. Alors que la couleur verte est caractéristique de la présence de la chlorophylle chez les plantes vertes.

Conclusion

La situation phytosanitaire du manioc causée par la mosaïque de manioc est un réel problème pour lequel les paysans centrafricains en subissent des graves conséquences. Il est nécessaire de croire que la maladie a des effets énormes sur le fonctionnement physiologique des plants notamment la photosynthèse, principal processus d'élaboration et de stockage de la matière organique. Nos analyses en rapport avec les travaux réalisés en 2008 ont permis d'affirmer qu'il y a un lien entre la sévérité des symptômes, la teneur en chlorophylle et le rendement en tubercules des plants.

Ces informations serviront dans la mise en place de stratégie dans la lutte contre cette maladie virale. Il serait même souhaitable d'évaluer dans l'avenir la teneur en chlorophylle dans les cultivars à haut rendement et des cultivars à faible rendement. Cependant, l'impact de la maladie sur le développement et le rendement des plants de manioc serait lié à un déficit de chlorophylle brute des feuilles.

Aussi la déformation des feuilles provoquée par la maladie aurait des actions sur le bon fonctionnement de la photosynthèse: diffusion du gaz carbonique, la pénétration de la lumière (densité du parenchyme chlorophyllien), l'évacuation des produits formés notamment les glucides (amidon).

Dans les perspectives, nous souhaiterions que cette étude soit approfondie en utilisant des techniques

plus performantes pour évaluer la teneur en protéine et en chlorophylle. L'identification de la séquence en acides aminés des protéines dans les feuilles présentant des symptômes de la mosaïque pourrait donner des informations utiles pour mieux apprécier leur qualité nutritionnelle. Une étude des effets des feuilles malades sur la croissance et la reproduction des animaux (souris, cobayes etc.) pourrait être envisagée.

Références bibliographiques

1. Ayanru D.K. & Sharma V.C., 1982, Effects of cassava mosaic disease on certain leaf parameters of field-grown cassava clones, *Dis. Detect. Losses*, **72**, 8, 1057-1059.
2. Bede N.O., 1980, Nutritional Implication of Projects Giving High Priority to the Production of staples of Low Nutritive Quality: The case for cassava, *Food Nutrit. Bull.*, **2**, 1-10.
3. Binet P. & Brunel J.P., 1968, *Physiologie Végétale: Photosynthèse*, Edition DOIN. 793
4. Crawley M., 1999, *Un regain d'espoir pour la production du manioc en Ouganda*. Le CRDI, Explore, la voix de la recherche du sud.
5. FAOSTAT., 2013, *FAO database*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Italy. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
6. Heller R., Esnault R. & Lance C., 1993, *Physiologie végétale*, 5ième édition. masson, paris. 294
7. Howeler R.H., Oates C.G. & Allem A.C., 2000, *An Assessment of the impact of Cassava Production and Processing on the Environment and Biodiversity*. The Global Cassava Development Strategy Validation Forum, April 26-28, 2000, FAO-Rome, Italy.
8. Lambrechts A. & Bernier G., 1961, *Enquête Alimentaire et Agricole dans les populations Rurales du Haut-Katanga*. Collection mémoires, Vol **11**, 69.
9. Legg J., Ntawuruhunga P., Okuja O., Bembe A. & Obambi M., 2002, *Rapport diagnostique d'enquête sur les maladies et les pestes de la culture du manioc en République du Congo*, 34.
10. Mallouhi N. & Kafara J.M., 2002, *la culture du manioc en Centrafrique*. CTP/ICRA. 16.
11. Oyo R., 1990, *Le manioc en Afrique tropicale*. Un manuel de référence. Ibadan, Nigeria, IITA. 190.
12. Semballa S., Rasoanantoandro-Gothard M.C. & Boel T., 2000, *le manioc : transformation, préparations et conservations des dérivés culinaires*. rapport de recherche. Faculté des sciences/université de Bangui.
13. Sylvestre P., 1987, *Le manioc. Le technicien d'agriculture tropicale*. CTA. P119
14. Silvestre P. & Arraudeau M., 1983, *Le manioc. Techniques Agricoles et Production tropicales*. CTA, 237.
15. Thresh J.M., Otim -nape G.W., Legg J.P. & Fagette D., 1997, African cassava mosaic virus disease: the magnitude of the problem, *Afr. J. Root Tuber Crops*, 1319.
16. Zinga I., Nguimalet C.R., Lakouetene D.P., Konate G., Kosh Komba E. & Semballa S., 2008, les effets de la mosaïque africaine de manioc en république centrafricaine, *geo-eco-trop*, 2008, **32**, 47-60.
17. Zinga I., Harimalala M., De Bruyn A., Hoareau M., Semballa S., Reynaud B. & Lefeuvre P. J.M. L., 2012, East African cassava mosaic virus-Uganda (EACMV-UG) and African cassava mosaic virus (ACMV) reported for the first time in Central African Republic and Chad, *New Dis. Rep.*, **26**, 2044-0588.
18. Zinga I., Chiroleu F., Legg J., Lefeuvre P., Kosh Komba E., Semballa S., Yandia P.S., Mandakombo N.B. & Reynaud B. L.J.M., 2013, Epidemiology assesement of cassava mosaic disease in Central African Republic reveals the importance of mixed viral infection and poor health of plant cutting, *Crop Prot.*, **4**, 6-12.

I. Zinga, Centrafricain, PhD, Enseignant Chercheur, Université de Bangui, Rép. Centrafricaine.

E. Kosh Komba, Centrafricain, PhD, Enseignant Chercheur, Université de Bangui, Rép. Centrafricaine.

S. Semballa, Centrafricain, PhD, Directeur de LASBAD, Enseignant Chercheur, Université de Bangui, Rép. Centrafricaine.

C. Beaumont, Français, PhD, Professeur Scientifique, Lycée Charles De Gaul de Bangui, Rép. Centrafricaine.

R.D. Longue, Centrafricain, Doctorant, Université de Bangui, Rép. Centrafricaine.

Rôle et place de la chèvre dans les ménages du Sahel burkinabé

B.I. Gnanda^{1*}, A. Wereme N'Diaye¹, H.O. Sanon¹, J. Somda² & J.A. Nianogo³

Keywords: Burkinabe Sahelian goat- Monetary income- Poverty- Food safety- Burkina Faso

Résumé

Une enquête formelle à passage unique a été réalisée auprès de 150 ménages du Sahel burkinabé afin d'apprécier le rôle et la place de l'élevage de la chèvre dans la vie et le fonctionnement de ces unités familiales. Les résultats de l'enquête montrent que les éleveurs du Sahel burkinabé commencent, dans la plupart des cas, par posséder d'abord une chèvre, animal très prolifique, mais avec un objectif à plus ou moins brève échéance d'acquérir les autres espèces de ruminants, notamment les bovins. Bien qu'en matière de génération de revenu monétaire, la contribution des caprins reste moindre par rapport à celle des autres ruminants (bovins, ovins), leur rôle non monétaire de premier rang dans la lutte contre la pauvreté est mis en exergue. Cela est démontré à travers la forte proportion de la population impliquée (91% de la population-cible) dans leur élevage, la place de premier ordre des caprins dans les prélèvements non commerciaux, qualifiés de sociaux, et leur positionnement en termes de capital animal de prévention de risque contre les aléas du climat pour les éleveurs. Malgré son rôle primordial, la chèvre demeure le parent pauvre des espèces de ruminants en matière de protection sanitaire et de complémentation alimentaire.

Summary

Role and Position of the Goat in Households of the Burkinabian Sahel

A formal household survey was carried out in Burkina Faso with 150 Sahelian farms in order to appreciate the role and the position of goat breeding in the life and the functioning of these family units. The results of the investigation show that the Burkinabe Sahelian stockbreeders first start usually by raising a goat, because of its high prolificacy, but with the view to acquire more or less rapidly other species of ruminants, in particular cattle. Although the generation of income of goat rearing remains low compared to other ruminants (bovine, ovine); their non-monetary role in poverty alleviation is highlighted. That is shown through the large proportion of the population (91% of the target-group) implied in goat breeding, the first position of goats in the non-commercial (social) transaction, and their position in terms of risk prevention against the climatic hazards for livestock farmers. Despite its critical role, the goat remains the least favored ruminant species in regarding health protection and food supplementation.

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso.

²Union Internationale pour la Conservation de la Nature, Ouagadougou, Burkina Faso.

³Institut du Développement Rural de l'Université Polytechnique de Bobo, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

*Auteur correspondant: Email: gnandaisid@yahoo.fr

Introduction

Malgré les avantages reconnus à la chèvre pour les pays sahéliens tels que le Burkina Faso, son élevage fait partie des secteurs qui reçoivent le moins d'attention tant par les structures de développement que par la recherche. Les multiples reproches (détérioration de l'environnement, comportement capricieux, animal d'élevage de marginalité, etc.) qui lui sont imputés dans la littérature (1, 3, 4, 5, 17) sont très peu éprouvés scientifiquement. Pourtant, en zone sahélienne du Burkina Faso, la chèvre est élevée par une population importante de diverses couches socio-économiques (Peul, Rimaïbé, Bellah, Mossi, Gourmantché, Fulcé, Songhaï, etc.). Il apparaît donc important d'évaluer formellement le rôle et la place de ce type de petit élevage dans l'amélioration des revenus des populations de cette zone aride du pays et des sources de leurs moyens d'existence. En particulier, l'évaluation de la contribution de cette espèce dans l'atténuation des risques vis-à-vis des chocs extérieurs aux ménages ruraux et de ses relations avec les autres espèces animales dans la constitution de capital et la génération de revenu de l'élevage permettra de mieux cerner les opportunités et les limites de son élevage en milieu rural sahélien. Il a été question dans cette étude, d'analyser les interrelations entre l'élevage de la chèvre et les caractéristiques socio-économiques des ménages sahéliens impliqués dans l'activité. De manière spécifique, il s'est agi: (i) d'évaluer l'importance de ce type d'élevage au sein des communautés villageoises afin de mesurer la place dans les options de productions animales; et (ii) d'évaluer la contribution de la l'espèce dans les revenus des ménages ruraux sahéliens en vue d'en apprécier son rôle économique.

Matériau et méthode

Site d'étude et unités d'élevage enquêtées

L'enquête a été réalisée au Sahel burkinabè, une des régions du Burkina Faso, comprise entre le 13^{ème} et le 15^{ème} degré de latitude Nord, faisant frontière au nord avec la République du Mali et au Nord-Est avec la République du Niger. Cette zone couvre une superficie de 36.166 km² et regroupe

les provinces du Séno, de l'Oudalan, du Soum et du Yagha (Figure 1) qui composent ensemble la Région administrative du Sahel burkinabé dont la ville de Dori est le chef lieu. Le climat de cette région est de type sahélien à soudano-sahélien (plus au Sud, dans le Yagha) et la pluviométrie annuelle fluctue entre les isohyètes 300 et 600 mm, sur environ 3 mois de saison pluvieuse.

L'élevage constitue l'activité économique de base des populations de la zone et les espèces animales de ruminants les plus couramment élevées sont les bovins de type Zébu peul, les mouton sahéliens et les chèvres sahéliennes (18).

Deux villages de la région ont été sélectionnés pour mener l'enquête: celui de Lelly et celui de Katchari. Le choix de ces deux villages a permis de prendre en partie en compte la diversité des principaux groupes ethniques présents au Sahel burkinabé, car les différents groupes ethniques de la région n'ont pas toute à fait la même tradition et ne possèdent pas le même savoir faire dans l'élevage et dans l'adaptation socio-économique au changement climatique. Par ce choix, cinq des sept principaux groupes ethniques de la région ont été touchés, à savoir les Peul, les Rimaïbé, les Bellah, les Mossi et les Gourmantché.

Dans le site de Lelly, l'enquête a touché les Mossi et les Gourmantchés. Les Peul, les Rimaïbé et les Bellah ont été enquêtés dans le village de Katchari. Les enquêtes ont été réalisées auprès des unités familiales correspondant à des groupes de personnes vivant sous l'autorité d'un chef et qui produisent et consomment ensemble. Le chef d'unité familiale ou chef de ménage, gère les ressources communes de production et les biens de consommation. Cela n'empêche nullement les membres actifs de ce groupe d'avoir, en plus des tâches communes, des activités personnelles rémunératrices et une autonomie pour l'utilisation de ces revenus individuels.

Conduite de l'enquête

Une fiche d'enquête formelle à passage unique a été administrée au cours de l'année 2008 par deux techniciens de l'Institut de l'environnement et de recherches agricoles (INERA) du Burkina Faso.

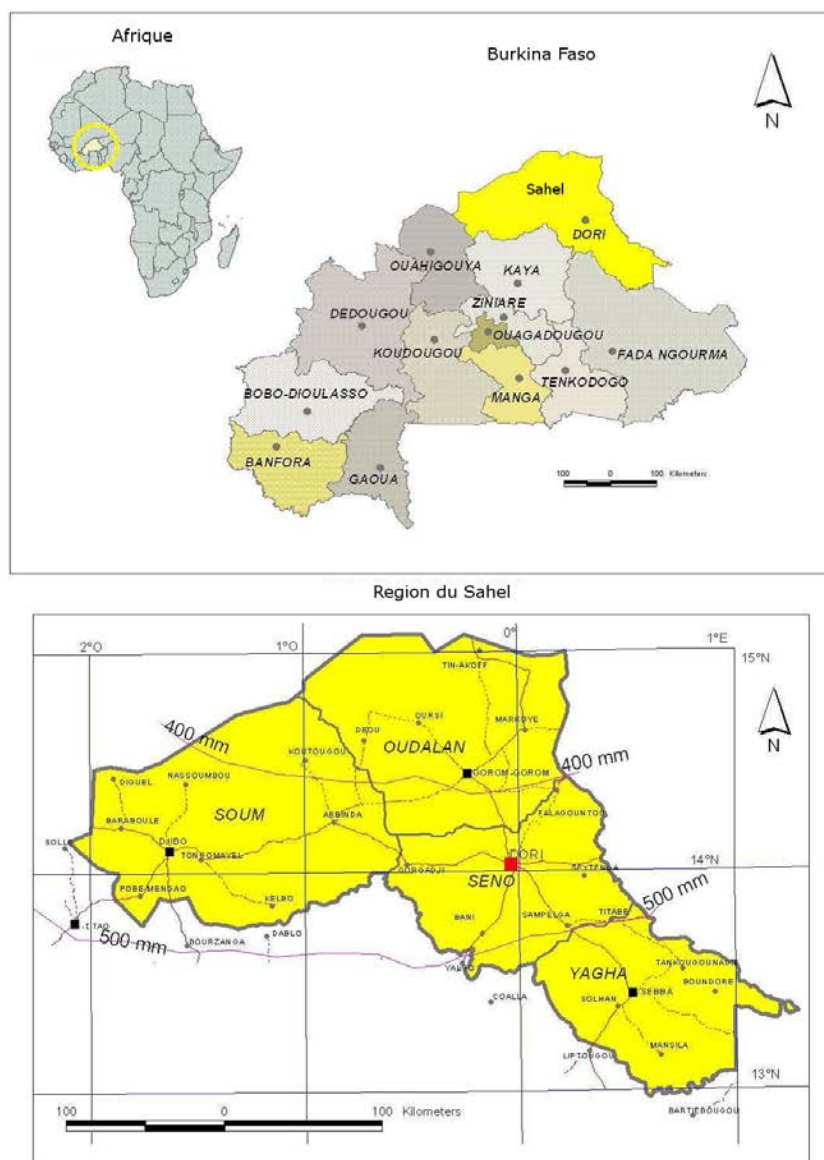


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude.

Au sein de chacun des cinq groupes ethniques (Peul, Rimaïbé, Bellah, Mossi et Gourmantché), 30 chefs d'unité familiale ont été enquêtés, soit un échantillon de 150 ménages au total (149 chefs de ménages hommes et 1 chef de ménage femme). Le choix des personnes enquêtées a été réalisé sur la base de leur disponibilité à être interrogées, après les avoir préalablement expliqué les objectifs du travail. Chez certaines personnes, l'enquête a été réalisée immédiatement après la présentation des objectifs du travail. Chez d'autres, les entretiens ont été réalisés sur rendez-vous convenus à l'issue de la séance de présentation des objectifs du travail.

Données collectées

Les données collectées ont porté sur:

- Les caractéristiques socio-économiques de l'enquêté (chef de ménage) comprenant:
 - .son âge,
 - .son groupe ethnique,
 - .ses activités socio-économiques,
 - .la population de son unité familiale,
 - .son cheptel,
 - .sa stratégie de constitution de cheptel.

- Les données sur les stratégies de production animale prenant en compte:

- .le mode de conduite des animaux,
- .les pratiques sanitaires,
- .la complémentation.

- Les objectifs de production dans l'élevage de ruminants;
- Les données sur les revenus et leurs sources;
- Les principaux usages des recettes générées par la vente de produits d'animaux.

Traitement et analyses statistiques des données

Plusieurs méthodes d'analyse ont été combinées en vue d'apporter des éléments de réponse à ces questions :

Analyses descriptives

Des statistiques descriptives ont été largement utilisées pour analyser la place de l'élevage caprin dans les élevages sahétiens. Ces statistiques comprennent les moyennes arithmétiques, les écart-types et les fréquences.

Des synthèses sous forme de tableaux ou de graphiques ont permis de mettre en exergue la place de la chèvre dans les élevages enquêtés.

Les régressions linéaires

Deux modèles de régression linéaire ont été développés pour évaluer le rôle économique de la chèvre dans les élevages sahétiens. Le premier a consisté à analyser les déterminants sociaux et structurels de l'élevage caprin. Il s'est agi d'identifier les facteurs sociaux et structurels des ménages qui influent sur l'accumulation du cheptel caprin. Dans le système sahélien, les éléments sociaux tels que l'âge de l'éleveur, son appartenance ethnique et la taille du ménage, sont déterminants dans la conduite de l'élevage. L'âge conditionne l'indépendance de l'éleveur par rapport à la décision à prendre pour la sortie d'un animal ainsi que son degré d'ouverture aux innovations extérieures. Les ethnies telles que les Peul sont considérées comme des éleveurs par tradition (2) alors que par exemple, les Mossi sont d'obédience agropasteurs. La taille du ménage reflète non seulement la disponibilité en main-d'œuvre familiale pour la conduite de l'élevage, mais également l'échelle des besoins familiaux à couvrir.

Les variables structurelles retenues sont les données de la base animale des éleveurs: bovins, ovins, caprins, poules et pintades (équation I).

$$cap = cste + a_1 Age + a_2 Pop + a_3 Bov + a_4 OV + a_5 Poul + a_6 Pint + a_7 Eth + \varepsilon \quad I$$

L'équation 1 signifie que l'effectif de caprin (*cap*) dans un ménage est une fonction linéaire de l'âge du chef d'unité familiale (*Age*), de la taille du ménage (*Pop*), des effectifs de bovin (*Bov*), ovin (*OV*), poules (*Poul*) et pintades (*Pint*); et du groupe d'appartenance ethnique du ménage (*Eth*). La variable (*Eth*) est une variable binaire qui est codée 1 pour l'ethnie Peul et 0 sinon. Les coefficients a_1 à a_6 sont les paramètres à estimer et mesurent la contribution marginale de chaque variable caractéristique du ménage dans son cheptel caprin. En revanche, le coefficient a_7 mesure la contribution de l'appartenance ethnique dans l'effectif du caprin du ménage.

Pour l'ensemble de ces variables indépendantes, il est attendu une relation positive avec l'effectif de caprins. En d'autres termes, un accroissement de la structure du ménage dans ses dotations en ressources socio-économiques va entraîner une augmentation du cheptel caprin dans le ménage, *ceteris paribus*. Cette équation a été estimée par la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO).

Le second modèle cherche à évaluer les déterminants sociaux structurels du revenu tiré de l'élevage et du revenu monétaire total du producteur. Formellement, le modèle se présente par l'équation II:

$$Revel = cste + a_1 Age + a_2 Pop + a_3 Bov + a_4 OV + a_5 Poul + a_6 Pint + a_7 Eth + a_8 Cap + \varepsilon \quad II$$

L'équation II signifie que le revenu tiré de l'élevage (*Revel*) est une fonction linéaire des ressources animales disponibles (*Bov*, *OV*, *Poul*, *Pint*, *Cap*) dans le ménage, de la taille du ménage (*Pop*) qui est un proxy de la main-d'œuvre familiale et des caractéristiques socio-ethniques (*Age*, *Eth*) du chef de ménage. Le revenu d'élevage comprend tous les revenus monétaires issus de la vente des animaux et des produits d'origine animale (lait, cuir, etc.). Une équation similaire a évalué les déterminants du revenu total du ménage en remplaçant le revenu

tiré de l'élevage par le revenu total du ménage qui inclut les revenus de l'élevage et ceux issus des transferts d'argent reçus et de la rémunération d'autres activités (agricoles, commerciales, etc.).

La classification en nuée dynamique

Cette technique de classification a pour but de fournir une partition en k classes (k donné *a priori*) bien agrégées et bien séparées entre elles en fonction des variables d'intérêt. Dans cette étude, les variables d'intérêt retenues ont été les éléments de la base animale des producteurs, c'est-à-dire, les effectifs du cheptel bovin, ovin, caprin, poule et pintade. Il s'agit donc d'une typologie établie sur la base des ressources animales élevées par les ménages de la zone d'étude.

De façon formelle, la formule utilisée dans la classification en nuée dynamique est donnée dans l'équation III (11).

$$\sum_{k=1}^k \sum_{(I \in S_k)} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{kj})^2 \quad \text{III}$$

Où S_k est le nombre de producteurs dans la $k^{\text{ième}}$ classe et x_{kj} la moyenne de la variable j dans la classe k .

La procédure d'analyse en nuée dynamique consiste à partir d'un ensemble d'observations (ou de producteurs), à faire un choix de k qui permet de les regrouper en classes de manière à minimiser les variations intra-classes et à maximiser les différences interclasses. Plusieurs k ont été testés au cours de l'analyse en vue de déterminer le nombre de classes de ressources animales stable dans la population les producteurs.

En définitive, trois classes ont été retenues au-delà et en dessous desquelles la classification devenait moins probante, tendant vers une individualisation des producteurs.

Les statistiques descriptives, les tests T, les régressions linéaires et la classification en nuées dynamiques ont été réalisées sur le logiciel SPSS version 11. Par ailleurs, une analyse factorielle (Analyse factorielle des correspondances simples: AFC) utilisant le logiciel libre R, a permis d'apprécier

non seulement les relations entre les différentes espèces animales des ménages enquêtés, mais également celles entre les groupes ethniques enquêtés et l'activité d'élevage.

Résultats

L'âge moyen des 149 éleveurs hommes enquêtés était de 47 ± 12 ans. La seule femme chef de ménage enquêtée était âgée de 55 ans. La majorité des enquêtés (140 d'entre eux) ont estimé que l'agriculture représentait leur première activité de production. Neuf d'entre eux (6 Peul, 2 Bellah et 1 Rimaïbé) pratiquent l'élevage en tant que première activité de production. L'unique femme de l'enquête exerce le petit commerce de divers objets manufacturés comme principale activité de production.

La taille moyenne des unités familiales était de $9,8 \pm 6,5$ personnes; avec en moyenne 6,7; 13,7; 10,3; 9,5 et 7,9 personnes pour respectivement les ménages Peul, Mossi, Bellah, Gourmantché et Rimaïbé.

La taille du ménage de la seule femme de l'enquête était de 3 personnes.

La répartition ethnique des effectifs du cheptel est donnée par le tableau 1. Les caprins sont les animaux les plus nombreux dans les ménages, ceci indépendamment de l'ethnie.

La classification en nuée dynamique a permis d'établir trois groupes ou types d'éleveurs significativement distincts de par leurs dotations en ressources animales (Tableau 2).

Le groupe le moins nanti en ressources animales (groupe de petits troupeaux) rassemble 72% des individus enquêtés. Le groupe le plus doté en bétail ne comprend que 7 personnes (environ 5% des éleveurs interviewés). Les Peuls représentent la majorité des individus de ce dernier type: 4 Peuls contre 2 Gourmantché et 1 Bellah. Dans l'ensemble, toutes les espèces animales étudiées ont constitué des variables discriminantes des groupes ethniques enquêtés.

Tableau 1

Répartition ethnique des effectifs de cheptel des éleveurs enquêtés.

Ethnies	Statistiques	Caprins	Bovins	Ovins	Poules	Pintades
Peulh	Moyenne	32,63 ^a	13,63 ^a	10,60 ^{ab}	7,77 ^a	2,43 ^a
	Ecart type	(47,03)	(17,75)	(14,27)	(9,61)	(4,94)
	Erreur standard	8,59	3,24	2,6	1,75	0,9
Mossi	Moyenne	18,00 ^{bc}	9,91 ^{ab}	14,31 ^b	5,34 ^a	1,94 ^a
	Ecart type	(13,74)	(12,87)	(11,94)	(5,67)	(3,85)
	Erreur standard	2,32	1,37	2,02	0,96	0,65
Bella	Moyenne	17,97 ^{bc}	5,23 ^b	12,50 ^{ab}	7,17 ^a	3,07 ^a
	Ecart type	(17,28)	(7,61)	(16,99)	(10,43)	(4,18)
	Erreur standard	3,15	1,39	3,1	1,91	0,76
Gourmantché	Moyenne	27,38 ^{ab}	11,08 ^{ab}	11,38 ^{ab}	12,96 ^b	7,54 ^b
	Ecart type	(29,35)	(8,77)	(10,99)	(11,01)	(10,65)
	Erreur standard	5,76	1,72	2,16	2,16	2,09
Rimaïbé	Moyenne	10,04 ^c	6,32 ^b	5,82 ^a	6,67 ^a	1,46 ^a
	Ecart type	(10,54)	(10,39)	(7,92)	(7,24)	(3,69)
	Erreur standard	1,99	1,96	1,49	1,37	0,69
Toutes	Moyenne	21,08	9,25	11,09	7,78	3,15
	Ecart type	(27,61)	(11,41)	(13,01)	(9,13)	(6,14)
	Erreur standard	2,26	0,94	1,07	0,75	0,5

NB: Par espèce animale, les effectifs moyens des groupes ethniques portant des lettres différentes diffèrent entre eux au seuil de 5 %.

Tableau 2

Caractéristiques générales des groupes constitués en fonction de leurs dotations en ressources animales.

Groupes	Nombre	Statistiques	Caprins	Bovins	Ovins	Poules	Pintades
Petits troupeaux (type1)	108	Moyenne	9,28 ^b	5,59 ^b	6,40 ^b	5,23 ^b	1,32 ^b
		Ecart type	-6,42	-8,6	-6,26	-5,86	-3,17
		Erreur standard	0,62	0,83	0,6	0,57	0,31
Troupeaux moyens (type 2)	35	Moyenne	36,97 ^a	17,40 ^a	19,89 ^a	13,89 ^a	8,17 ^a
		Ecart type	-13,56	(11,62)	-12,09	-12,02	-9,39
		Erreur standard	2,29	1,96	2,04	2,03	1,59
Gros troupeaux (type 3)	7	Moyenne	122,00 ^c	24,43 ^a	38,86 ^c	16,14 ^a	6,14 ^a
		Ecart type	-34,58	-15,69	-30,21	-14,63	-5,79
		Erreur standard	13,07	5,93	11,42	5,53	2,19
Tous groupes Confondus	150	Moyenne	21,08	9,25	11,09	7,78	3,15
		Ecart type	-27,61	-11,41	-13,01	-9,13	-6,14
		Erreur standard	2,26	0,94	1,0659	0,75	0,5

NB: Les valeurs moyennes figurant sur la même colonne et portant des lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5 %.

L'élevage des caprins est hautement associé à celui des ovins ($R^2=0,60$) et moins associé à celui des bovins ($R^2=0,46$). Par contre, les éleveurs qui ont plus d'ovins sont en même temps ceux qui possèdent des effectifs de bovins relativement plus intéressants ($R^2=0,50$).

L'élevage de la poule et celui de la pintade restent étroitement associés dans la région d'étude (Figure 1) ($R^2=0,52$).

Les résultats dans son ensemble montrent que les Gourmantchés et les Rimaïbé accordent une place relativement plus importante à l'élevage de la volaille, comparativement aux autres groupes ethniques. Les Bellah pratiquent un élevage marqué par une prédominance du cheptel caprin et les Mossi semblent privilégier la conduite de l'élevage ovin. Les Peul quant à eux, exercent un élevage à tendance équilibré avec une présence relativement intéressante de cheptel bovin. Les Rimaïbé ne présentent pas des tendances particulières dans la pratique de leur élevage.

Conduite alimentaire et pratiques sanitaires des éleveurs

L'alimentation des animaux est essentiellement basée sur l'exploitation des parcours naturels. Cependant, une bonne partie des éleveurs (plus de 53%) pratique la complémentation à leurs animaux, toutes espèces confondues. Cependant, la distinction par espèce montre que cette pratique reste peu fréquente chez les caprins comparés aux autres ruminants: environ 39% des caprins bénéficient de la complémentation contre 59 et 62% pour respectivement les ovins et les bovins.

Le groupe ethnique Mossi reste celui qui a le plus intégré pratique de la complémentation des animaux comparativement aux autres groupes. En effet, environ 83 % des ménages de ce groupe complémentent leurs bovins, 93% complémentent leurs ovins et 77% complémentent leurs chèvres. Après le groupe Mossi, c'est le groupe Rimaïbé qui vient en deuxième position, car les 63% des enquêtés de ce groupe complémentent leurs bovins, 67% complémentent leurs ovins et 60% complémentent leurs caprins. Les Bellah viennent en troisième position avec un niveau moyen de pratique de complémentation de l'ordre de 57%

pour les trois espèces animales confondues. Les Peul prennent légèrement plus de soins à leurs bovins et ovins qu'à leurs caprins, avec en moyenne, un niveau de pratique de complémentation de 57% pour les deux espèces confondues contre en moyenne 47% pour l'espèce caprine. Les Gourmantché ont une pratique moyenne de complémentation, car seulement 50% des enquêtés de ce groupe ethnique apportent des compléments alimentaires aux bovins, ovins et caprins.

Les aliments les plus fréquemment utilisés pour la complémentation sont par ordre de fréquence de recours: les pailles de céréales (mil et sorgho), les fanes de légumineuses (niébé et arachide), le son local de mil, le tourteau de coton, les graines de coton, les compléments minéraux, le foin naturel. Dans 90% des cas, les caprins ne sont pas vaccinés lors des campagnes nationales annuelles de vaccination et qui portent essentiellement sur les maladies obligatoires telles que le charbon symptomatique et la peste des petits ruminants et les maladies recommandées telles que la pasteurellose. Chez les ovins et les bovins, les sujets qui ne font pas l'objet de vaccination annuelle représentent respectivement 73% et 13% des effectifs des troupeaux. Les maladies obligatoires et les maladies recommandées chez les ovins sont les mêmes que celles en vigueur chez les chèvres, alors que chez les bovins, elles portent sur la péripneumonie contagieuse bovine (PPCB) et le charbon symptomatique pour celles prescrites obligatoires et sur la pasteurellose bovine et la trypanosomose pour celles qui sont dites recommandées.

Le déparasitage des bovins est pratiqué par environ 60% des éleveurs enquêtés. Les éleveurs qui déparasitent leurs ovins représentent environ 14% des enquêtés et seulement 3% d'entre eux déparasitent leurs chèvres.

Stratégies de constitution du cheptel

A partir du nombre de têtes de cheptel possédé par les éleveurs, une pyramide de constitution de cheptel a été construite et donne pour chaque espèce, le pourcentage d'éleveurs qui la possèdent par rapport à l'échantillon global enquêté.

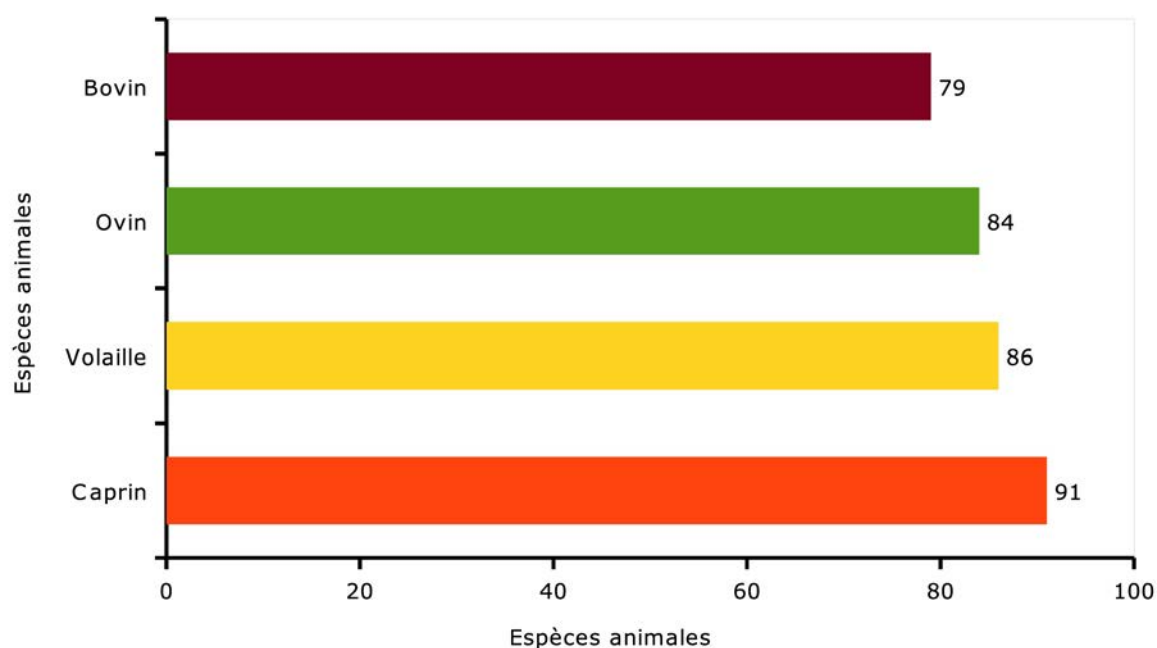


Figure 2: Pyramide de constitution de cheptel dans les élevages du Sahel burkinabé.

Cette pyramide (Figure 2) montre qu'au Sahel burkinabé, l'élevage de caprins est la base de la constitution du cheptel des éleveurs.

Autrement dit, que dans la majorité des cas, les éleveurs du Sahel burkinabé commencent d'abord par posséder une chèvre, animal très prolifique qui participe à moyen et à long terme à la constitution des troupeaux des autres espèces de ruminants, notamment les bovins.

Objectifs de production dans l'élevage des ruminants au Sahel burkinabé

L'élevage naisseur de reproduction semble être la première visée des activités pastorales au Sahel burkinabé (Figure 3). Le lait constitue le deuxième objectif recherché par les éleveurs de la région. La production de fumier et celle de la viande occupent respectivement le troisième et quatrième rang (Figure 3). Dans cette production, les caprins occupent la première place en terme d'animaux élevés pour la reproduction et la production de fumier de qualité. Ils sont également élevés pour la production de lait (Figure 4). Leur lait est surtout exploité pour l'autoconsommation chez les groupes ethniques Rimaïbé, Bellah et Gourmantché et est surtout destiné à l'alimentation des enfants et des personnes affaiblies. Il est très peu vendu, notamment à l'état frais.

Les rares cas de vente de ce produit se rencontrent sous forme de mélange avec le lait de vache. La production de viande caprine est orientée vers l'autoconsommation et vers la vente. C'est généralement la viande la plus vendue sur les marchés locaux pour la consommation des ménages car plus accessible sur le plan des prix. Le fumier peut faire l'objet de donation ou de contrat de parage entre les acteurs. Il est rarement vendu dans la zone d'enquête.

Les ovins participent surtout à l'atteinte des objectifs de production de viande (figure 4), à travers notamment l'activité d'embouche. L'élevage de bovin vise prioritairement à l'objectif de production de lait avec cependant, une contribution importante à l'atteinte des autres productions animales attendues.

Revenu des éleveurs sahéliens et déterminants structurels

Le revenu des éleveurs du Sahel burkinabé provient de la vente des produits animaux, de celle de l'agriculture, des transferts extérieurs de l'argent ainsi que des sources connexes telles que le travail de courtier, la main-d'œuvre occasionnelle, le petit commerce, etc. (Tableau 3).

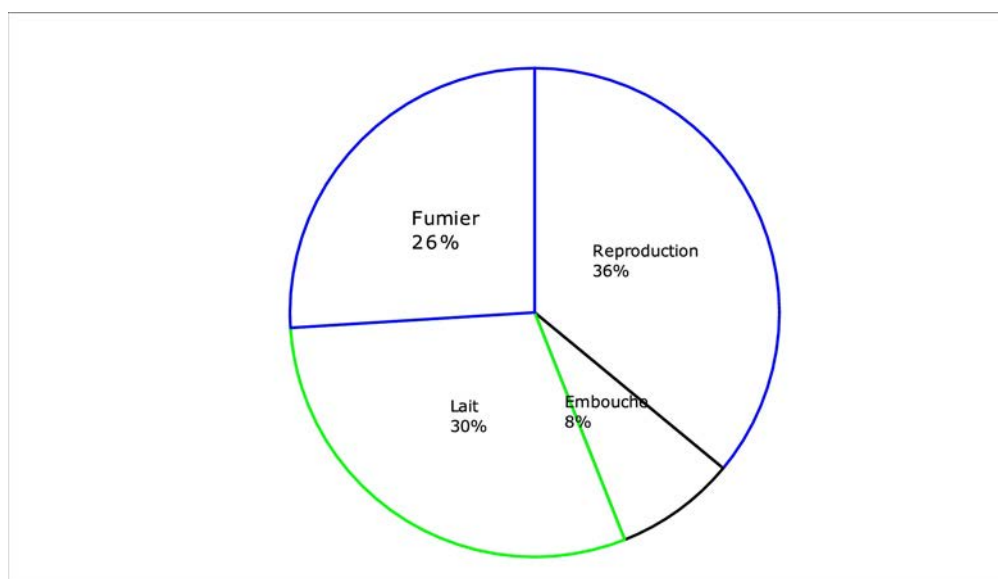


Figure 3: Importance relative des principaux objectifs d'élevage de ruminants au Sahel burkinabé.

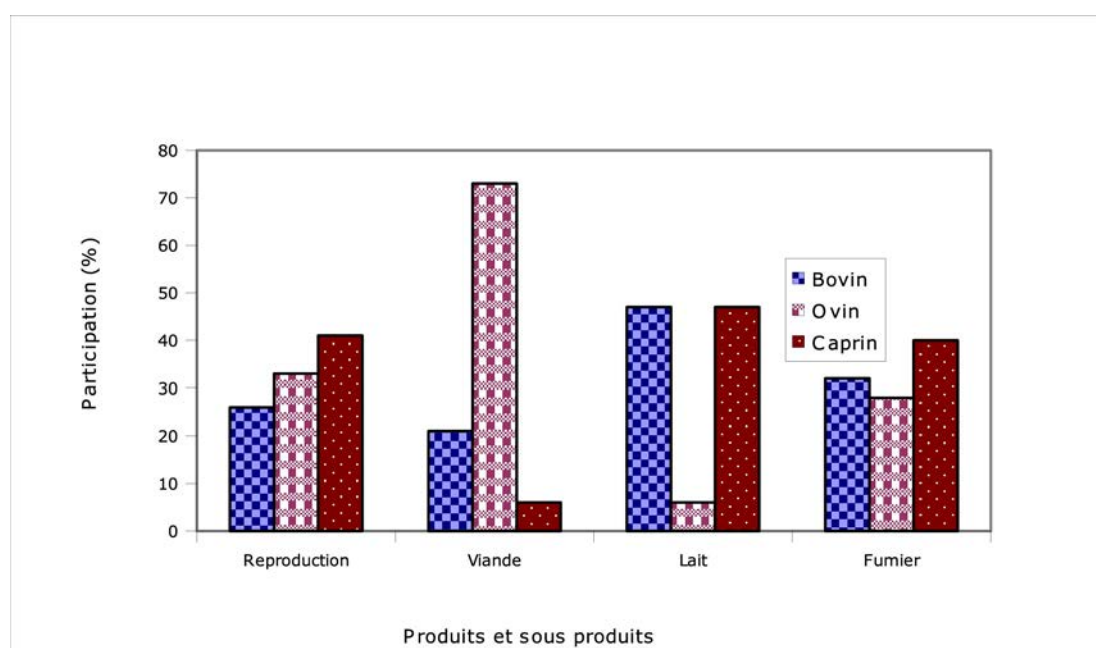


Figure 4: Représentation de la participation des bovins, ovins et caprins à l'atteinte des principaux.

Tableau 3
Structure moyenne du revenu monétaire de l'échantillon enquêtée (F CFA/an).

Groupes ethniques	Statistiques	Production animale	Production végétale	Transferts extérieur	Autres activités	Total par groupe Ethnique
Peul	Moyenne	257 343 ^{ab}	2 600 ^a	2 667 ^a	1 417 ^a	264 027 ^a
	Ecart-type	-257364	13328	-10483	-4437	-265868
	Erreur standard	46988	2433	1914	810	48541
Mossi	Moyenne	317 684 ^b	29 286 ^b	11 143 ^b	16 928 ^b	375 041 ^a
	Ecart-type	-251661	48321	-43725	-45253	-271319
	Erreur standard	42538	8168	7391	7649	45861
Bellah	Moyenne	290 545 ^{ab}	00 ^c	11 750 ^b	39 667 ^c	341 962 ^a
	Ecart-type	-320249	0	-26303	-81361	-313989
	Erreur standard	58469	0	4802	14854	57326
Gourmantché	Moyenne	347 431 ^b	14 202 ^b	7 308 ^{ab}	6 269 ^a	375 209 ^a
	Ecart-type	(295 50)	35450	-22549	-15273	-307829
	Erreur standard	57953	6952	4422	2995	60370
Rimaïbé	Moyenne	203 052 ^a	13 190 ^b	33 931 ^c	8 724 ^a	258 896 ^a
	Ecart-type	-219017	34408	-55478	-34321	-234718
	Erreur standard	40670	6389	10302	6373	43586
Tous les groupes ethniques	Moyenne générale	283 182 ⁱ	12 327 ^j	13 399 ^j	15 142 ^j	323294
	Ecart-type	-271256	-33429	-37115	-47205	-282016
	Erreur standard	22222	2739	3041	3880	23182

NB. Par source de revenu, les moyennes entre les groupes ethniques (moyennes des colonnes) portant des lettres différentes (a, b, c) sont significativement différentes entre elles au seuil de 5 % selon le Test-t.

Les moyennes générales des sources de revenu pour tous les groupes ethniques confondus (moyennes en ligne) portant des lettres différentes (i, j) sont significativement différentes entre elles au seuil de 5 % selon le Test-t.

Tableau 4
Déterminants structurels du revenu d'élevage et du revenu total des ménages enquêtés.

Variables indépendantes	Revenu d'élevage (x1000 F CFA)		Revenu total (x1000 F CFA)	
	Coefficients	T Student	Coefficients	T Student
Constante	-33,608	-0,483	11,209	0,156
Taille du ménage (personnes)	1,709	0,618	1,869	0,655
Age du répondant (ans)	2,638	1,896*	2,64	1,838*
Ethnie (Peulh = 1 ; sinon 0)	-61,562	-1,389	-101,838	-2,226**
Cheptel caprin (têtes)	0,116	0,146	-0,217	-0,265
Cheptel bovin (têtes)	9,006	5,211***	9,726	5,453***
Cheptel ovin (têtes)	3,217	1,888*	3,72	2,116**
Cheptel poule (têtes)	4,29	2,020**	3,65	1,665*
Cheptel pintade (têtes)	9,808	3,005***	10,489	3,113***
R ² ajusté	0,472		0,476	
Fisher (F)	17,523***		17,83***	

*, **, ***, significatif au seuil de 10%, 5% et 1% respectivement.

L'activité d'élevage procure la plus grosse part du revenu annuel des acteurs (environ 87% du revenu engendré).

Les transferts extérieurs participent pour environ 4,1% et les productions végétales 3,8 %. Les individus du groupe ethnique Peul sont ceux qui génèrent moins de revenus en provenance du transfert extérieur (Tableau 3). Comparativement aux autres groupes ethniques, les Bellah tirent plus de revenu lié aux activités connexes telles que le travail de courtier, le convoyage à pied des animaux, la vente de fourrage, le petit commerce de produits artisanaux, etc.

Le revenu moyen annuel tiré des activités d'élevage par ménage enquêtés se répartissent comme suit: 134 990 F CFA pour la vente des bovins, 76 600 F CFA pour la vente des ovins, 57 325 F CFA pour la vente des caprins, 1 567 F CFA pour la vente des camelins, 467 F CFA pour la vente d'asins, 1 633 F CFA pour la vente des poules, 877 F CFA pour la vente des pintades, 4010 F CFA pour la vente de lait entier, 1 182 F CFA pour la vente de beurre de lait de vache et 200 F CFA pour la vente du cuir et de la peau.

Les résultats de la fonction de revenu (Tableau 4) ont permis la mise en exergue de la contribution marginale des variables socio-économiques et de structure d'élevage dans l'amélioration du niveau de revenu. Pour la fonction du revenu d'élevage, on note que toutes les variables ont présenté le signe positif attendu.

L'amélioration de ces variables permet donc d'accroître le revenu tiré de l'élevage. En particulier, l'augmentation du cheptel animal entraîne, de facto, une augmentation du revenu généré. Par exemple, lorsque l'effectif bovin augmente d'une tête, le revenu de l'élevage augmente de 9 points.

Le test de signification globale de la fonction estimée indique que les variables utilisées permettent d'expliquer, de façon hautement significative, le processus de génération de revenu d'élevage dans les ménages enquêtés puisque 47 % de la variance totale est ainsi expliquée. Au niveau de la fonction du revenu total qui inclut toutes les sources de revenus, y compris l'élevage, la majorité des variables ont présenté le signe positif attendu, à l'exception des variables «caprin» et «ethnie».

Ainsi, les éleveurs possédant un effectif élevé de bovin, ovin, pintades et poules, ont un revenu élevé. Par exemple, lorsque l'effectif de bovin augmente d'une tête, le revenu total augmente significativement (au seuil de 1 %) d'environ 10 points. En revanche, lorsque l'effectif de caprins augmente d'une tête, le revenu baisse mais de façon non significative (de 0,2 points). En définitive, les résultats suggèrent que les variables socio-économiques et structurelles des ménages influent différemment sur le processus de génération des revenus au sein des ménages d'éleveurs.

Exploitation du bétail et principales utilisations des recettes issues de la vente des sujets

Chez les éleveurs enquêtés, les principaux motifs de déstockage des animaux sont par ordre d'importance: la vente (44% des cas d'exploitation), les abattages lors des fêtes religieuses (18%), les abattages ordinaires (16%), les abattages lors des baptêmes (8%), les trocs (7%), les dons (4%) et les dots (2 % des cas d'exploitation). Hormis les abattages d'autoconsommation pour lesquels les poules et les pintades sont les plus utilisées, les caprins sont les plus fréquemment sollicités par les éleveurs. En effet, les résultats de l'étude ont montré que 91% des enquêtés ont eu à exploiter les caprins dans l'année contre 86% pour la volaille, 84% pour les ovins et 79% pour les bovins. En terme de taux d'exploitation commerciale apparents (nombre d'animaux vendus à tierces personne au cours des 12 mois écoulés/effectif des animaux présents pendant l'enquête x 100), les caprins se placent en deuxième position après les ovins. Ce taux a été en moyenne de 26,31% pour les caprins contre en moyenne 29,47 et 21,04% respectivement pour les ovins et les bovins. Les poules et les pintades ont présenté les plus faibles taux d'exploitation (16,25 et 15,33% respectivement).

Prioritairement, les recettes issues de la vente du bétail sont utilisées pour les achats de vivres (50 % des cas d'utilisation des recettes), les achats d'aliments pour le bétail, notamment les sous-produits agro-industriels (24%), et l'acquisition de vêtements (15%).

Les autres cas d'utilisations des recettes générées par la vente du bétail concernent, la satisfaction des besoins de santé de la famille, le paiement de la scolarité des enfants, l'achat d'autres animaux, les célébrations de mariage, le paiement de dot.

Tous les cinq groupes ethniques enquêtés ont des attitudes proches en matière d'utilisation des recettes issues de la vente du bétail pour les achats de vivres. Par contre, pour ce qui est des achats d'aliments bétail à partir de ce type de recettes, ce sont les Mossi qui sont en tête (60% des enquêtés de ce groupe en pratiquent), puis suivent les Bellah et les Peul (40% des individus de ces deux groupes affectent leurs recettes tirées de la vente de bétail à ces achats). Les Gourmantché et les Rimaïbé viennent respectivement en troisième et quatrième position avec respectivement 28 et 26% des individus enquêtés de ces deux groupes qui sont concernés par ce type d'achat.

La dotation des recettes tirées de la vente du bétail à l'acquisition des tenues vestimentaires est plus importante chez les Bellah comparativement aux autres groupes ethniques. En effet, 57% des personnes enquêtées de groupe ethnique affectent une part de leurs recettes de déstockage du cheptel à ce type de dépense. Après les Bellah, les Gourmantché se classent en deuxième position avec 54% de leurs membres réalisant ce type de dépense. Les Peul, les Rimaïbé et les Mossi occupent respectivement le 3, 4 et 5^{ème} rang, avec respectivement de 47, 45 et 20% des individus enquêtés qui sont intéressés par ces dépenses vestimentaires.

Pour la prise en charge des dépenses relatives aux soins familiaux et à la scolarité des enfants, ce sont notamment les Mossi qui y accordent plus d'intérêt puisque 75% des individus enquêtés de groupe ethnique dotent une part de leurs recettes tirées du déstockage du cheptel à la satisfaction de ces deux postes.

L'utilisation des recettes procurées de la vente du bétail pour la reconstitution des troupeaux est plus importante chez les Peul comparativement aux autres groupes ethniques.

Chez ce groupe ethnique, les statistiques établies montrent que 20% des individus enquêtés utilisent leurs recettes générées de la vente du bétail pour

réacquérir des nouveaux sujets et introduire dans les troupeaux de base.

Les cas de dots et de mariages sur recettes tirées de la vente du bétail ont été surtout recensés au sein des groupes ethniques Mossi et Gourmantché.

Discussion

La littérature sur les petits ruminants en général et la chèvre en particulier a énuméré un certain nombre d'aspects importants en relation avec l'élevage de caprins (13). Sa place et son rôle y ont été décrits mais de façon théorique ou sans évidences formelles suffisantes. La présente étude apporte des éléments complémentaires qui permettent d'indiquer la place et le rôle de la chèvre dans les systèmes agro-pastoraux du Sahel burkinabé. Les résultats obtenus confortent les théories élaborées sur l'importance de la place et du rôle de l'élevage dont celui des caprins en terme de lutte contre la pauvreté (8)). La possibilité d'avoir du lait de chèvre facilite le déplacement des bovins en période de pénurie fourragère et l'éloignement des vaches sans que cela ne porte préjudice à l'alimentation lactée de la famille de l'éleveur, notamment celle de ses enfants (21). L'exploitation de la chèvre, à cause de son cycle court et de son format, est mieux adaptée aux capacités d'investissement des familles modestes et constituent la principale source de protéines animales et de revenu pour les populations rurales (14, 23). La chèvre est considérée par défaut comme un animal de femme dans la plupart des élevages traditionnels burkinabé (9). Comparativement aux autres espèces de ruminants, la forte proportion de la population rurale impliquée dans l'élevage caprin signifie que la chèvre est l'espèce la plus accessible (6). Des résultats rapportés dans le Plateau Central du Burkina Faso (15) sont proches de ceux obtenus dans la présente étude puisqu'ils indiquent que dans cette région du pays, l'élevage caprin constitue la seconde activité en termes de proportion d'acteurs après celui de la volaille. Deux éléments majeurs peuvent expliquer l'expansion de l'élevage de la chèvre.

D'abord, son coût d'acquisition et d'élevage est relativement moins élevé que ceux des ovins et bovins.

Ensuite, elle peut être élevée dans des conditions alimentaires plus précaires par rapport à ces deux espèces.

Les résultats enregistrés au cours de cette étude par rapport aux sources de revenu et à leur importance relative, corroborent ceux rapportés dans cette région par Diallo (7). En effet, ce dernier a évalué auprès des éleveurs de deux villages de la région (Babirka et Sambonaye), une contribution de l'élevage à la formation du revenu monétaire total des ménages d'environ 75%. Par ailleurs, il a démontré que l'immigration saisonnière constituait la troisième source de revenus total avec une contribution moyenne de 8% et que l'agriculture n'intervenait dans la formation de ce revenu global chiffré qu'en moyenne de 6%, avec cependant une échelle plus importante en zone agropastorale de Babirka (10%) par rapport à la zone pastorale de Sambonaye (2%).

Par ailleurs, la faible contribution des recettes de l'immigration saisonnière au revenu des ménages Peul de la présente étude, reste en partie liée au faible intéressement des individus de ce groupe ethnique à cette pratique (22). En revanche, les résultats de l'auteur cité renseignent que l'immigration saisonnière de travail dans la zone implique particulièrement les ethnies telles que les Bellah, les Rimaïbé et les Fulcé, sixième groupe ethnique du Sahel qui n'a été touché par la présente étude.

Malgré la prépondérance de la chèvre au Sahel, elle joue apparemment un rôle moins significatif que celui des ovins dans la génération de revenus monétaires. Ce qui est certainement vrai par rapport aux bovins si l'on évalue en termes de volume de mobilisation de ces recettes. Toutefois, ces résultats ne doivent pas être perçus comme une faible contribution de l'élevage de la chèvre dans la lutte contre la pauvreté. En effet, une des fonctions aussi assignée à l'élevage caprin est de tamponner les risques, en réduisant la vulnérabilité des communautés vis-à-vis de certains chocs extérieurs comme les sécheresses (10).

Cela constitue une des contributions généralement non évaluées monétairement (19), mais ayant un sens dans la lutte contre la pauvreté.

Dans certaines situations, il est apparu que c'est à partir des caprins plus résistants au stress hydrique que sont reconstitués progressivement les stocks de gros ruminants après les années de sécheresse. Du point de vue monétaire, il est évident que le processus de création des revenus monétaires dans les élevages ruraux répond à plusieurs besoins, y compris le besoin de précaution face aux risques de production et aux prix. Les résultats de la présente étude suggèrent que la chèvre serait un capital animal de garantie de sécurité dans cette région du Burkina Faso où les conditions agro-climatiques sont des plus drastiques et aléatoires.

Les travaux réalisés dans la région du Yatenga, au Burkina Faso (21) relèvent une certaine constance et importance du marché caprin dont l'offre est restée très peu influencée par les effets de sécheresse (sécheresse de 1984) alors que celles de bovins et d'ovins ont été fortement influencées. L'auteur constate que la sécheresse a contribué à un plus fort déstockage des bovins et d'ovins comparativement aux caprins. Cela était en partie lié à un souci de gestion de risque de la part des éleveurs car il est ressorti des résultats de l'étude qu'une partie de ces éleveurs préféreraient mettre l'effort sur l'élevage caprin qui représente pour eux un capital de sécurité plutôt que de pratiquer la fauche et la conservation de fourrage naturel pour alimenter les ovins qu'ils estiment très sensibles aux déficits alimentaires.

Les résultats de la présente étude relatifs à la constitution des troupeaux, mettent ainsi en exergue l'importance que les éleveurs accordent à la chèvre une fonction de « tampon pour les risques ». Le fait que les éleveurs accordent une priorité à cette fonction apparaît justifié dans cette région du pays où les conditions climatiques sont beaucoup plus aléatoires qu'ailleurs.

Par ailleurs, le rôle non monétaire de la chèvre est également important à souligner. C'est le cas de l'autoconsommation en lait, en viande et le fumier qui d'ailleurs, est perçu par les paysans comme étant de meilleure qualité par rapport à celui du bovin ou de l'ovin.

Il est évident que l'approche par le revenu monétaire du rôle de la chèvre dans la lutte contre pauvreté présente ses limites en ce sens que la pauvreté non monétaire est souvent cause de celle monétaire. En prenant en compte les variables non monétaires, les résultats pourraient être significativement différents. Par exemple, la chèvre fournit une quantité non négligeable et non commercialisée de lait de consommation aux membres des ménages ruraux. Elle permet aux éleveurs sahéliens de pratiquer un élevage stratégique par l'association des espèces élevées (bovins, ovins et caprins) dans le but de satisfaire à la fois l'objectif de production de viande et de lait. En outre, elle représente l'espèce la plus concernée par les prélèvements non commerciaux qualifiés de sociaux (abattages, célébrations de baptêmes et mariages, trocs, dons, dots). Ainsi, en combinant donc les aspects monétaires et non monétaires, on accroît inévitablement la contribution de la chèvre à la lutte contre la pauvreté monétaire et/ou non monétaire. A cela, il faut ajouter la fonction de trésorerie vive jouée par les animaux comme les caprins au bénéfice des éleveurs du fait des possibilités et de la régularité des revenus générés tout au long de l'année et à n'importe quelle saison. Par ailleurs, dans cette étude, les résultats révèlent que la population d'éleveurs de caprins du Sahel burkinabé ne peut être traitée de façon homogène. Il existe au moins trois groupes à base de ressources animales détenues qui indiquent une différenciation de pouvoir économique, voire politique entre les éleveurs enquêtés. Les Peul qui sont historiquement des éleveurs par tradition de la région, semblent toujours garder leur place sociale et de profession en la matière. Les Mossi et les Rimaïbé sont reconnus pour être des agropasteurs pour qui l'élevage représente un secteur d'activité beaucoup plus spéculatif que de capitalisation ou thésaurisation (22). Cela peut expliquer en partie que ces derniers, en particulier les Mossi, pratiquent plus la complémentation à leurs animaux (12). Les Peul semblent avoir gardé la tradition de pratique de l'élevage de mobilité, basée principalement sur l'exploitation des pâturages avec peu d'apports de compléments. Les Gourmantché pratiquent moins la complémentation des leurs animaux car leur

élevage ne mise pas sur un objectif particulier de production spécialisée telle que le lait ou la viande (embouche).

Des travaux antérieurs (16, 20) mettent également en relief la structuration des élevages de la présente zone d'enquête en trois groupes. Dans certains cas, la configuration des groupes chevauche les groupes ethniques de l'échantillon d'étude, dans d'autres cas, ce sont les aires de production qui façonnent les classes constituées.

Les résultats de la présente étude relatifs à l'utilisation des recettes tirées de la vente du bétail sont en concordance avec ceux rapportés par Diallo (7). En effet, cet auteur a noté également que les revenus issus de l'élevage ont été essentiellement consacrés à l'achat d'aliments pour les ménages et pour le bétail afin d'assurer leur sécurité alimentaire et pour les soins de santé des familles. Dans cette étude, c'est environ 75% des ménages enquêtés qui ont destiné prioritairement les recettes issues de la vente des animaux à l'acquisition d'aliments et de médicaments.

La plus grande importance qu'accordent les Mossi à l'utilisation des recettes tirées de la vente du bétail pour l'achat d'aliments de bétail confirme bien l'intérêt pour ce groupe pour la promotion des activités spéculatives d'élevage, donc leur tendance à l'intensification de leurs activités d'élevage (12). Les efforts d'achat des aliments de complémentation chez les Peul et chez les Bellah pourraient s'expliquer en partie par le fait de l'obligation pour ces deux groupes ethniques à soutenir leurs noyaux laitiers (vaches pour les deux groupes et chèvres pour surtout les Bellah), le lait étant l'aliment de base pour ces deux communautés (7).

Globalement, les résultats sur l'utilisation des revenus par les communautés impliquées dans la présente enquête, suggèrent de qualifier le groupe ethnique Mossi comme étant celui qui a le plus intégré des changements dans la conduite et la gestion de leurs élevages.

Les Peul semblent avoir cherché à garder leur avance en cheptel animal par rapport aux autres groupes ethniques en affectant plus qu'eux les recettes issues de la vente des produits animaux à l'achat des nouveaux sujets pour reconstituer leurs troupeaux.

Conclusion

Cette étude confirme la place et le rôle de l'élevage dans la sécurisation sociale, alimentaire et économique des pasteurs sahéliens. En effet, bien que la majorité des producteurs enquêtés estiment que l'agriculture représente leur première activité de production, il est démontré que l'élevage assurerait l'essentiel de la création de revenus des ménages. Mieux, les recettes issues de la vente du bétail sont utilisées majoritairement pour l'achat de vivres (50% des cas).

Pour atteindre leurs objectifs de production et créer des effets d'entraînements attendus de l'élevage, les paysans sahéliens privilégient la diversification et les associations stratégiques des espèces élevées. Dans ce processus de production, ce sont les caprins qui restent la base de la constitution des troupeaux.

Ils sont également les plus sollicités pour satisfaire les besoins d'exploitation (commerciale et non commerciale) des éleveurs. Malgré ce rôle primordial joué par cette espèce, elle demeure le parent pauvre des autres espèces de ruminants en matière de protection sanitaire et de compléments alimentaires. Il ressort des résultats des enquêtes que les Peul restent les plus grands détenteurs du bétail au Sahel et que malgré cela, ils déstockent moins leurs animaux.

L'étude montre également que face aux besoins financiers importants des ménages et aux limites objectives liées à l'exploitation de leurs animaux et à la vente de leurs produits de récoltes, certains producteurs, notamment ceux de classes moins nanties en bétail empruntent la voie de l'immigration saisonnière pour gagner de l'argent.

Références bibliographiques

1. Bayer W., Lossau A.V. & Schrecke W., 1999, Elevage et environnement dans les régions sèches, *Agric. Dev. Rural*, **1/99**, 47-50.
2. Boubacar S.L., 1990. *Éléments de stratégie pour le développement de l'élevage au Sahel*. Document de travail, Bureau d'études et de réalisations agro-pastorales (BERAP), coopération Suisse au développement, Dori, Burkina Faso, 47.
3. Bourbouze A. & Guessous F., 1979, La chèvre et l'utilisation des ressources dans les milieux difficiles. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **32**, 2, 191-198.
4. Boutrais J., 1994, Eleveurs, bétail et environnement. In: *A la croisée des parcours-pasteurs-éleveurs-cultivateurs-dynamique des systèmes africains*, ORSTOM/CEA, 303-319.
5. Caron P. & Lancelot R., 2000, *Caprins et systèmes de production des tropiques semi-arides: entre marginalité et sécurité*. In: 7^e Conférence internationale sur les caprins, Recueil des communications, INRA, 15-21 mai 2000, Tours, France, 317-320.
6. Chevaux E., 1998, *La complémentation des caprins allaitants au pâturage en zones tropicales humides et sèches*. Synthèse bibliographique. Diplôme d'études supérieures spécialisées productions animales en régions chaudes, CIRAD-EMVT/Ecole nationale vétérinaire d'Alfort/Institut national agronomique, Paris-Grignon/Muséum national d'histoire naturelle, 46.
7. Diallo H., 2011, *Impact du sous-secteur de l'élevage sur la sécurité alimentaire en région sahélienne du Burkina Faso*. Mémoire de conseiller des affaires économiques, Ecole nationale d'administration et de magistrature (ENAM), Ouagadougou, Burkina Faso, 71.
8. Faye B., 2001, Le rôle de l'élevage dans la lutte contre la pauvreté, *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **54**, 3-4, 231-238.
9. Gnanda B.I., 2002, *Productivité des petits ruminants en zone sahélienne burkinabé*. Mémoire de DEA en Gestion Intégrée des ressources Naturelles (GIRN), Institut du Développement Rural/Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 91.
10. Kazianga H. & Udry, C. 2004, *Consumption smoothing? Livestock, Insurance and draught in rural Burkina Faso*. Bureau for Research in economic Analysis and Development (BREAD). Working Paper N° 090 (One line).
11. Klecka W.R. 1981, *Discriminant analysis*. Sage University Paper series Quantitative applications in the social sciences, series no. 07-019. Beverly Hills and London: Sage Publications, 71.

12. Kondombo S.R., 2005, *Improvement of village chicken production in a mixed (chicken-ram) farming system in Burkina Faso*. PhD thesis. Wageningen University, the Netherlands, 200.
13. Lebbie S.H.B. & Kagwini E. 1996, *Small Ruminant Research and Development in Africa*. Proceedings of the Third Biennial Conference of the African Small Ruminant Research Network, UICC, Kampala, Uganda, 5-9 December 1994. ILRI (International Livestock Research Institute) Nairobi, Kenya. 326.
14. Nantoumé H., Kouriba A., Diarra C. & Coulibaly D., 2011, Amélioration de la productivité des petits ruminants: Moyen de diversification des revenus et de lutte contre l'insécurité alimentaire. *Livestock Res. Rural Dev.*, **23**, 5, 2011.
<http://www.lrrd.org/lrrd23/5/nant23110.htm>.
15. Nianogo J. A. & Somda J., 1999, Diversification et intégration interspécifique dans les élevages ruraux au Burkina Faso, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **3**, 3, 133-139.
16. Ouédraogo T., Somda J. & Kiema A., 2005, *Caractéristiques socio-économiques des agro éleveurs dans la zone d'intervention du Projet de développement de l'élevage dans le Soum, phase II (PDES II): situation de référence (typologie, performances et indicateurs de suivi-évaluation d'impacts)*. Rapport d'étude, PDES II/INERA/Département productions animales, Ouagadougou, Burkina Faso, 38.
17. Peters J.K., 1999, Élevage et sécurité alimentaire: Quelles conséquences pour l'environnement? *Agric. Dev. Rural*, **1/99**, 41-46.
18. Samandougou Y., 2014., *Adaptations et accompagnements des agropasteurs de la région du sahel pour l'amélioration de la production des ressources fourragères face aux changements climatiques*. Thèse de doctorat unique en développement rural, option Système de production animale, nutrition et alimentation. Institut du Développement Rural (IDR) de l'université polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), Burkina Faso, 176.
19. Savadogo K., 1997, *La pauvreté au Burkina Faso: une analyse critique des politiques et des stratégies d'intervention locales*. (Document de travail ECDPM numéro 51). Maastricht: ECDPM.
20. Tamboura H.H., Gnanda I.B., Samandougou Y., Traoré A. & Kaboré A., 2005, *Les exploitations laitières candidates au programme d'amélioration génétique du PDES II: I. Caractéristiques socio-économiques et techniques. II. Typologie des élevages*. Rapport d'études, Projet de développement de l'élevage dans le Soum, phase II (PDES II), Institut de l'environnement et de recherches agricoles (INERA), Département productions animales (DPA), Ouagadougou, Burkina Faso, 50.
21. Tezenas du Montcel L., 1994, *Les ressources fourragères et l'alimentation des ruminants domestiques en zone sud-sahélienne (Burkina Faso, Yatenga). Effets des pratiques de conduite*. Thèse de titre de Docteur en Sciences, spécialité: science de la vie, université de Paris XI Orsay. Paris, France, 262 p.
22. Thébaud B., 1998, *Etude de l'économie des ménages dans les régions de Gorgadji et de Dori-Ouest : résultats des enquêtes de réflexions sur la notion de viabilité en milieu agropastoral dans la zone de concentration du PSB/GTZ*. Rapport d'étude, ministère de l'environnement et de l'eau, SP/CONAGESE, projet PSB/GTZ, Dori, Burkina Faso, 83.

B.I. Gnanda, burkinabé, PhD, Chargé de Recherches, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso.

A. Wereme N'Diaye, burkinabé, PhD, Chargé de Recherches, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso

H.O. Sanon, burkinabé, PhD, Chargé de Recherches, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso.

J. Somda, burkinabé, Ingénieur, Ingénieur de recherche, Union Internationale pour la Conservation de la Nature, Ouagadougou, Burkina Faso.

A.J. Nianogo, burkinabé, PhD, Professeur, Institut du Développement Rural de l'Université Polytechnique de Bobo, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

Understanding Market Participation Choices and Decisions of Maize and Cowpea Farmers in Northern Nigeria

D.B. Mignouna^{1*}, T. Abdoulaye¹, A.A. Akinola¹, A.Y. Kamara² & M. Oluoch²

Keywords: Market participation- Double-Hurdle model- Maize- Cowpea- Nigeria

Summary

Alleviating poverty and reducing food insecurity have received close critical attention from many researchers in sub-Saharan Africa. Farmers' participation in agricultural markets has been seen as a potent strategy for improving their livelihoods. This paper applies econometrics to farm survey data from Bauchi and Kano states as major maize and cowpea growing areas hit by one of the most important root parasites known as Striga to determine the factors behind farmers' decisions about participation in the agricultural market and the volume of their output to be marketed. Relevant data was collected from 600 households in both states and results from the Double-Hurdle model indicated that price and non-price constraints played significant roles in determining decisions on participation in the markets for both maize and cowpea. Household and total farm sizes, price and ease of transportation through access to motorized equipment were positively related to decision to participate in the maize market. However, the volume of sale of traded produce was influenced by location-specific variable which underscores socio-economic and population-related factors favoring market access that are present more in Kano than in Bauchi. Age of the household head and total farm size were significantly related to decision to participate in the cowpea market while results of the second stage of the model indicate that access to mobile phone and location variable affect positively the volume of cowpea sold. The role of price was conspicuous in both produce markets as the main incentive for households' participation. The paper concludes with policy implications aimed at providing better market opportunities to farmers thereby improving their welfare in northern Nigeria and other areas with similar socio-economic and bio-physical conditions in West Africa.

Résumé

Compréhension des choix et des décisions de participation au marché des producteurs de maïs et de niébé du nord du Nigeria

Alléger la pauvreté et réduire l'insécurité alimentaire sont devenus des points d'attention critiques pour de nombreux chercheurs en Afrique sub-saharienne. La participation des agriculteurs aux marchés agricoles a été perçue comme une bonne stratégie pour améliorer leurs moyens de subsistance. Cette étude a appliqué un modèle économétrique à la réalisation d'une enquête agricole dans les états de Bauchi et Kano pour déterminer les facteurs expliquant les décisions des agriculteurs à participer au marché agricole; et la part des récoltes destinées à la commercialisation. Les états de Bauchi et Kano sont les principales zones de culture de maïs et de niébé avec une forte présence du Striga, un des principaux parasites racinaires des céréales. Les données ont été obtenues auprès de 600 ménages dans les deux états et un modèle «Double-Hurdle» a été utilisé pour analyser les résultats. Cette analyse montre que les facteurs liés et non liés au prix ont joué un rôle majeur dans la prise de décision concernant la participation aux marchés du maïs et du niébé. La taille des ménages et la taille totale des exploitations, le prix et la facilité de transport grâce à l'accès à des véhicules motorisés, ont été positivement corrélés à la prise de décision de participer au marché du maïs. A Kano plus qu'à Bauchi, la quantité de maïs vendue a été influencée par les facteurs socio-économiques et ceux liés à l'accès au marché. L'âge du chef de ménage et la taille totale de l'exploitation ont été significativement corrélés à la décision de participer au marché du niébé. Les résultats de deuxième niveau du modèle indiquent que l'utilisation du

¹ International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.

² International Institute of Tropical Agriculture, Kano, Nigeria.

*Corresponding Author: E mail: D.Mignouna@cgiar.org

Received on 10.04.15 and accepted for publication on 12.05.15

téléphone portable et la localité présentent une corrélation positive avec la quantité de niébé vendue. Le prix était considéré dans les deux marchés comme un catalyseur à la participation des ménages. L'étude recommande l'adoption d'une politique visant à offrir de meilleures possibilités de marché aux agriculteurs, en vue d'améliorer leur bien-être dans le nord du Nigeria. Cela pourrait, également, être un modèle pour les autres zones de l'Afrique de l'ouest ayant les mêmes conditions socio-économiques et biophysiques.

Introduction

Most African countries are dependent on agriculture (13) and, maize and cowpea are prominent among these arable crops. Their importance to farming households in Nigeria as staples and economic crops cannot be over-emphasized as the country is one of the largest producers of maize in Africa (19) with about 10 million tonnes out of 1,017 million tonnes produced worldwide (13). Cowpea has been seen as the most economically essential grain legume in Nigeria as the country still the largest producer accounting alone for 44% worldwide (13). Cowpea contributes significantly to food security, income generation, and soil amendment (31). According to Fatokun *et al.* (14), the grain contains about 25% protein and 64% carbohydrate and has great potential for reducing malnutrition. Its high protein content, adaptability to different types of soil, resistance to drought, and ability to improve soil fertility and prevent erosion all contribute to its high status across various agro-ecologies.

However, maize and cowpea production and the returns to the grain producers had been constrained largely by high *Striga* infestation in northern Nigeria (21). *Striga* depresses maize grain productivity by 20–100%, often leaving farmers with little or no food grain at harvest (1). The noxious parasitic *Striga* infects the roots of cowpeas and can cause grain yield losses of up to 50% (3). The losses experienced by the the farmers could be ameliorated if the farmers have ready markets for the products through market participation. Maize price has been on the rise as a result of higher demand and low levels of supply (4).

There is also a big market for cowpea grain and fodder in West Africa (12). Therefore, production of these crops should be market-oriented to realize expected welfare gains by taking advantage of the opportunities provided through specialization and comparative advantage, economies of scale, and the regular interaction and exchange of ideas (24). Also, increasing agricultural output will achieve nothing if it is not supported by markets that effectively synergize the specialized activities of various producers into an integrated national economy. Therefore, participation in agricultural markets could be a strategy thrust to improve farming households' livelihoods. Encouraging and facilitating their participation in maize and cowpea markets will, to a large extent, expand their contribution to food security. Consequently, increasing returns from their outputs could significantly act as an entry point to reducing poverty in the country. In spite of these benefits, several factors have constrained maize and cowpea farmers from participation in the market. Literature is replete with many such factors (including price and non-price) that underlie crop producers' participation and their decisions on volumes of sales (7). However, no known study has investigated these participation decisions, made either singly or simultaneously, with respect to maize and cowpea in northern Nigeria.

This study aims at filling those knowledge gaps by determining the drivers that simulate small-scale farmers market participation and volume sold. In the first stage, households that produce the crops decide whether or not to sell the grain in the market.

In the second stage, the households that decide to sell determine the extent of their participation – the volume to sell.

This article is organized as follows. In the next section, we present some theoretical and empirical evidence on agricultural marketing. This is followed by some background of the theoretical model. Then the farm survey data and methodologies used are described, before regression results are presented and discussed. The last section summarizes and discusses policy implications.

Agricultural market participation: some theoretical and empirical evidence

Holloway and Ehui (18) defined the agricultural market as the integration of subsistence farmers into the input and output markets of agricultural products to improve their livelihoods especially their income level and to reduce poverty. Heltberg and Tarp (16), while studying agricultural supply response and poverty in Mozambique, observed that participation in agricultural markets by rural households is a fundamental approach to alleviating poverty and enhancing food security in developing countries. Barrett (6) in his study of smallholder market participation in Eastern and Southern Africa held that farming households must have access to productive technologies and adequate private and public goods to produce a marketable surplus. However, such investment requires that households earn enough to save, invest, and generate adequate tax revenue for governments. Omiti *et al.* (25) while working on the determinants of intensity of market participation by smallholders in Kenya found that most farmers in rural areas produce lower volumes of relatively low-value and less perishable marketed surpluses than those in peri-urban areas. They also sell mainly at the farm gate and in rural markets so only a small proportion of the total output is taken to the more lucrative (but distant) urban markets. The study showed that distance indeed confines rural farmers in this way and suggested that farm-to-market roads should be upgraded with equipped retail market centers. In their work on farm productivity and household market participation in Tanzania, Vietnam and Guatemala; Rios *et al.* (28) believed that enhancing market access through the construction of roads may not consistently lead to

improvements in agricultural productivity. In contrast, increasing output directly through investments in irrigation equipment and improved seeds is likely to have a more consistent impact on participation.

On market infrastructure and institutional factors, Tung and Costales (37) in the study of smallholder poultry producers in northern Viet Nam found that market infrastructure and the institutional aspects of market access are crucial for improving the opportunities of smallholders to increase their market participation. However, general or local market instability, manifested in unpredictable price fluctuations, has a far larger negative impact on the livelihoods of smallholder producers than the dominance of traders. Fischer and Qaim (15) while investigating the determinants of intensity of participation in marketing asserted that participation could be expected to be driven by a clear personal benefit in terms of higher sale prices. Farmers with lower transaction costs participated in markets and sold more because they were likely to recover their production and marketing costs (17). Distance to markets, or towns, was important and farmers with the means of transportation or more labour were found to participate and sell more products. Population density positively affected market participation and sales as farmers in more densely populated areas faced greater demand for their farm produce (18). Poor infrastructure often increases the transaction costs of smallholders' market participation (7, 22). The ease of flow of market information to the farmers in a way that enhances their information base would improve market access (34). However agricultural marketing may be productivity-enhancing over time. Firms or farms with high productivity have tended to become highly commercialized and export-inclined (40). In developing countries, agrarian rural areas are among the poorest and the largest, so strategies and policies that stimulate their participation in the market will enhance economic growth. However, agricultural households often face imperfect or incomplete markets for some goods and factors which are then non-tradable (30) and decisions on production and consumption are no longer separable. Sadoulet and de Janvry (30) summarize

the sources of such incomplete or imperfect markets including costs resulting from distance to markets, poor infrastructure, high marketing margins, imperfect information and supervision, and incentive costs. These are the reasons for the literature's sustained interest in the effects of transaction costs on market participation (32). As a result, the reduction of transaction costs, as a means of increasing market participation, has been identified as a goal of development policy (11). Significant barriers exist to entry into commercial staple food markets that discourage sales by smallholder producers. Renkow *et al.* (27) observed that the food crop marketing system, including that for maize/cowpea, has been inefficient in most African countries. As a result, owing to such perceived weaknesses, farmers find it difficult to dispose of their produce at attractive prices and in places of their choice. This development reduces any enthusiasm about raising production and improving supply, often steps up food prices to consumers, and restricts any increase in farm income (29). The total industrial demand for maize in Nigeria was forecast at 1.8 million tons in 2013/2014. At present, the price of maize is about 80,000 naira/t. The demand for maize and cowpea is all-year-round while there is shortage of sellers so a policy thrust is necessary that will motivate producers of these crops to participate in the marketing of their products (9).

Theoretical model and empirical specifications

Less or absence of *Striga* may attract a market premium, enhancing sales. Farmers could also make decisions whether to participate in the market in a single or a sequential two-step process. In the sequential process, they decide whether or not to participate and, if they choose to do so, the next step is the decision about the quantity to sell. Simultaneous decision-making means that the farmers make choices about participation and quantity at the same time (2). Increasing research has been done on sequential decisions (7, 49). The last study explicitly tests whether or not farmers make sequential or simultaneous decisions and finds the evidence necessary to support sequential decision-making. None of these studies explicitly

tests whether the decision could be made either sequentially or simultaneously, as this study does. Small-scale farmers' decisions to participate in the market can be understood, based on a utility model. In modeling the utility or satisfaction derived from the farmers' participation in maize/cowpea markets as integrated into the smallholder farming system, the economic values or benefits associated need to be considered. A typical smallholder-farming household seeks to participate in the commercial market to maximize a multi-dimensional objective function, including increasing incomes and food security and reducing all forms of risk (35). When there is a change in the economic parameters associated with market participation, the central question is related to how much compensation, whether paid or received, would make the decision-maker uninterested about the change. Thus the change in welfare associated with this development was used as the basis for the economic valuation process. When an individual farmer faces a change in a measurable attribute, for example, higher returns as a result of participating in the market (r), then r changes from r_0 to r_1 (with $r_1 > r_0$). The indirect utility function U after the change becomes higher than before. The *status quo* can be represented econometrically by the equation I.

$$u_{1j} = u_i(y_i, z_j, r^0, \varepsilon_{0j}) \quad \text{I}$$

On the other hand, the changed or final state caused by market participation is shown by Equation II:

$$u_{2j} = u_i(y_i, z_j, r^1, \varepsilon_{1j}) \quad \text{II}$$

Where,

y_i refers to the farmer's income, z_j is a vector of the farmer's socio-economic variables and attributes of choice, and ε_j is the stochastic error term representing other unobserved utility components. The farmer would decide to participate in markets on the following conditions (Equation III).

$$u_i(y_i - r_i, z_j, \varepsilon_{ij}) > u_0(y_i, z_j, \varepsilon_{0j}) \quad \text{III}$$

Where:

r_i is the monetary investment associated with market participation.

Since the random components of the preferences are not known with certainty it is possible to make only probabilistic statements about expected outcomes.

Thus, the decision by farmers to participate is the probability that they will be better off if participation improves their welfare. This is represented by the equation IV:

$$Prob(Yes_i) = Prob[u_i(y_i - r_p, z_p, \varepsilon_{ij}) > u_0(y_p, z_p, \varepsilon_{ij})] \quad IV$$

Since the above utility functions are expressed generally, it becomes critical to specify the utility function as additively separable in deterministic and stochastic preferences. Using this argument, the

function becomes (equation V):

$$u_i(y_i, z_j, \varepsilon_{ij}) = u_i(y_p, z_j) + \varepsilon_{ij} \quad V$$

Where:

The first part of the right-hand side is the deterministic part and the second is the stochastic part. The assumptions that ε_{ij} are independently and identically distributed with mean zero describe the most widely used distributions.

Econometric specification: the Double Hurdle model

According to Tobin (36) decisions on market participation and supply are made simultaneously. Based on a Tobit model, fixed costs associated with market participation do not significantly affect a farmer's decision to participate in commercial markets. It also means that factors affecting market participation and quantity decisions are one and the same, affecting the dependent variable in the same direction.

When thinking of decisions on market participation and maize/cowpea supply as a sequential process, the Double Hurdle (DH) model originally proposed by Cragg (10) is appropriate for analyzing the possibility that the factors influencing a farmer's decision to participate in the maize/cowpea market may not affect the quantity sold. The DH model also allows us to consider that the same factors can potentially affect participation and the amount sold in different ways. We relied on this approach and estimated a DH model using Craggit command (8) in Stata software which combines a Probit estimation with a truncated normal regression in the second step.

In terms of policy relevance, our analysis clearly shows that participation and the level of

participation may be different decisions and that an estimation of participation intensity on the basis of factors affecting the participation decision, as implied by other approaches, may be liable to error. The DH model has been extensively applied in several studies (23) but not much in the area of market participation. The DH approach implies that farmers make two decisions with regard to participation in the commercial market. The first is whether they will participate. The second is about the amount of maize/cowpea that they will convey into the market, conditional on the first decision. The importance of treating the two decisions independently lies in the fact that the factors that affect a decision to participate may be different from those that affect the decision on how much to participate. This implies that households must cross two hurdles. The DH model allows for the possibility that these two decisions are affected by different sets of variables. The advantage is that it allows us to understand the characteristics of a class of households that would never participate. Thus, the probability of a household belonging to a particular class depends on a set of household characteristics. The DH model is a parametric generalization of the Tobit model in which two separate stochastic processes determine the decision to participate and the level of participation. The first equation in the DH model relates to the decision to participate and can be expressed as in equation VI:

$$y_i = 1 \text{ if } > \text{ and } 0 \text{ if } \leq 0 \quad VI$$

$$y_i^* = X_i' \alpha + \varepsilon_i$$

Where:

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

The second hurdle, which closely resembles the Tobit model, is expressed in equation VII:

$$t_i = t_i^* > 0 \text{ and } y_i^* > 0 \quad VII$$

$$t_i = 0 \text{ otherwise}$$

$$t_i^* = z_i' \beta + u_i$$

Where:

t_i is the observed response on how much maize/cowpea should be conveyed to market, z is a vector of the household characteristics and β is a vector of parameters.

The decisions whether or not to participate and about how much maize/cowpea to convey can be jointly modelled, if they are made simultaneously by the household; and independently, if they are made separately; or sequentially, if one is made first and affects the other as in the dominance model (23). If the independence model applies, the error terms are distributed as follows: $\varepsilon_i \sim N(0, 1)$ and $u_i \sim N(0, \delta^2)$.

If both decisions are made jointly (the Dependent Double - Hurdle) the error term can be defined as in equation VIII.

$$(\varepsilon_i, u_i) \sim BVN(0, Y) \text{ Where: } Y = \begin{bmatrix} 1 & p\delta \\ p\delta & \delta^2 \end{bmatrix} \quad \text{VIII}$$

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

$$\rho = \frac{(\text{cov} \varepsilon_i u_i)}{(\sqrt{\text{var} \varepsilon_i \text{var} u_i})} \quad \text{IX}$$

If $\rho = 0$ and there is dominance (the zeros are associated only with non-participation, not standard corner solutions) then the model decomposes into a Probit for participation and a standard OLS for y . Following Smith (33) we assume that the error terms ε_i and u_i are independently and normally distributed and thus we have the equation X:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_i \\ u_i \end{pmatrix} \sim N \left(\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \delta^2 \end{pmatrix} \right) \quad \text{X}$$

And finally, the observed variable in a DH model is $t_i = y_i t_i^*$ and the log-likelihood function for the double hurdle model is given in the equation XI:

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

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

To check for multicollinearity in the model, the variance inflation factor for categorical variables was estimated.

Empirical specification

We use a DH model. These decisions are made in a sequential manner and can be subject to two very different decision-making processes.

Therefore, we use a set of explanatory variables largely based on work by Lapar *et al.* (22), Bellemare and Barrett (7), Alene *et al.* (5), and Xu *et al.* (39), who extensively reviewed factors that influence farmers to participate in marketing. The set of independent variables potentially expected to influence participation is grouped into the following classes: household characteristics, physical assets, social capital, transaction costs, livelihood development services, and regional variables.

Demographics are captured by age, education, household size, and numbers of adults and females in the household. The relationship with age is expected to be negative depending on the levels of development. Younger farmers are expected to be progressive, more open to new ideas, and to understand better the benefits of agricultural commercialization. In addition, younger farmers also have higher levels of education and more contacts worldwide. In general, older farmers view farming as a way of life rather than as a business and have a strong emotional or almost biological connection with farming and the land. Intellectual capital as captured by education is expected to play a positive role in influencing market participation. The level of education gives an indication of the household's ability to process information and causes some farmers to have better access than others to understanding and interpreting information. However, the expectation may be reversed when there are competing and more remunerative employment opportunities available in the area requiring skills that are enhanced by more education (22). Household size and number of adults are included as a proxy for the availability of family labour.

Household size may be relevant for attending group meetings while the number of females in the household is relevant for attending market days and transporting maize/cowpea, emphasizing a higher probability of market participation. Therefore a household with a large number of members is expected to produce a larger marketable output. Lapar *et al.* (22) hypothesized that the propensity of a household to participate in the market economy declines with lower numbers.

Farmers' physical assets can catalyze a family to participate in economic activities. A means of capturing the time and cost of transportation is through ownership of a means of transport. Households using motorized equipment are likely to convey their agricultural product to the market easily and at the appropriate time. It is therefore hypothesized that such households are more likely to participate in commercialization and will have a larger quantity of maize/cowpea to transport. Households' access to farm land is a necessary condition for market participation. This variable is measured by the size of the total farm land that the household operates and is likely to be important. The larger the size of land that a household owns, the higher the production levels are likely to be, and the higher the probability of market participation. However, large farms may face high transaction costs and a lack of economies of scale, leading to a lowering of the additional benefits of participation. Another variable used as a proxy for transaction costs is access to information on output markets and prices. Marketing efficiency is hindered by any delay and difficulty in obtaining information which increase transaction costs by raising search and bargaining costs. Therefore mobile phone ownership becomes crucial in capturing the relevant information. Small-scale farmers are often not aware of prices and market opportunities for their maize/cowpea and find it difficult to participate in alternative markets. Access to such information is hypothesized to influence market participation positively.

Membership in any social group is another element of transaction costs as applied in the study. Membership has been linked to a range of outcomes which can improve smallholders' market power and ensure fair benefits sharing and this through networks that information and other resources can be transmitted. Membership strengthens farmers' bargaining and lobbying power and brings together members leading to institutional solutions to some problems. This variable is expected to have a positive impact on market participation. However, membership could be a limiting factor as an indication of other preoccupations that are taking members away from commercialization. This could

generate unsuccessful group action (26). Also contact with extension agent is hypothesized to positively related to market participation decisions being a reliable information source. Transaction costs are hypothesized to impede market participation because they impose added cost burdens on the efficient conduct of market entry activities.

Price is expected to influence market participation positively as pointed out by Alene *et al.* (5). The output price is an incentive to sellers to supply more in the market. The final construct of transaction costs applied in the study is the state dummy that is included in the analyses to capture differences that might arise due to diversity in human, economic, and ecological conditions among households located in both states.

In Bauchi and Kano states, *Striga* has invaded cereals and is expected to influence negatively market participation. *Striga* induced reduction in host photosynthesis has been reported as the most important mechanism of growth reduction of the host (38).

Data and results

Using a carefully designed and tested questionnaire for the household survey in November 2011, we conducted structured, household-level interviews with maize/cowpea growers in communities classified as areas with a high potential for *Striga* weed infestation. A multistage, random sampling procedure was adopted to get the total sample size of 600 households in northern Nigeria using the confidence interval approach. The sampling frame including all households in the surveyed villages was developed as a source list by extension agents in collaboration with community heads and this stage involved a random selection of farm households through a random number generator available in Microsoft Excel. The information collected include socioeconomic characteristics, maize and cowpea production data. Others were the production and post-harvest challenges as perceived by respondents.

The production and post-harvest constraints were derived from the respondents' perception using direct questions.

The contexts identified plaguing maize and cowpea growing areas in the study region include *Striga*, stemborer, termites, storage insects, low and erratic rainfall, water logging and inadequate input supply (Table 1). Table 1 shows that *Striga* infestation was the most commonly cited constraint to crop productivity in Bauchi and Kano states. Based on the results from Table 1, it is evident that *Striga* limits the quantity of output harvested and the amount designated for market participation. Subsequently *Striga* infestation could constitute a limiting factor to the extent of farmers' involvement in crop commercialization. In this study, the extent of market participation was captured by the proportion of the quantity of crop produced that was sold by each household. For all households across the study area, about 67% participated in the maize market and 45% in the cowpea market (Table 2). The figures are reflective of the importance of these crops as a main source of income in the region. The average age of the farmers was about 44 years, an indication that most are still economically active with the strength and ability to carry out agricultural activities. Availability of labour for farming (especially family labour) was indicated by the large size (4.31 adults) of households. Illiteracy was widespread as more than half of the

farmers did not complete six years of primary education. They cultivated plots of land with an average total size of about 5.6 ha. Some had access to extension services with respect to marketing maize (48%) and cowpea (36%).

The econometric estimation results of output market participation among households are discussed in this section using the Double Hurdle of Cragg (10). Correlates are hypothesized of maize/cowpea market participation (whether a household sold maize/cowpea) and extent of participation (the proportion sold) and are expected variables focused on existent literature of interest which will inform conclusions for this.

The estimation was done separately for each crop. The Probit results on the decision to participate in markets and results of truncated regression analysis on the extent of market participation for the regressions are presented (Table 3).

Participation in the maize market

Household size is an indicator of the amount of family labour that is available for production activities. It had a negative and insignificant effect in influencing participation (Table 3) as opposed to our expectation. This might depict household labour inefficiency where a larger household produces far less than what it needs for household consumption and thus less marketable surplus.

Table 1
Major crop productivity constraints (% of households).

	All	Bauchi	Kano
Maize			
<i>Striga</i>	94.3	93.2	95.3
Stemborer	53.8	41.5	63.5
Termites	73.8	71.7	75.6
Storage insects	62.0	53.0	69.3
Low and erratic rainfall	20.0	20.7	19.5
Water logging (flooding)	19.0	18.8	19.2
Inadequate input supply	63.3	63.8	62.8
Cowpea			
<i>Striga</i>	80.9	85.2	78.1
Alectra	48.4	37.9	53.7
Storage insects	80.2	80.6	79.9
Low and erratic rainfall	18.8	20.3	18.0
Water logging (flooding)	17.1	16.0	17.6
Inadequate input supply	58.8	65.8	54.8

Table 2
Descriptive statistics.

Variables	Symbol	Obs.	Mean	Std. Dev.
Dependents				
Maize market participation (=1 if the household sold maize; 0 otherwise)		600	0.67	0.47
Proportion of maize sold		600	27.30	25.37
Cowpea market participation (=1 if the household sold cowpea; 0 otherwise)		600	0.45	0.50
Proportion of cowpea sold		600	24.11	29.74
Independents				
Age of the household head (years)	AGE	600	43.58	13.00
Education status (=1 if the head has 6 years of schooling or more; 0 otherwise)	EDUCS	600	0.45	0.50
Number of females in the household	FEMALE	600	6.74	3.65
Number of adults in the household	ADULT	600	4.31	2.26
Household size (number)	H SIZE	600	9.20	4.30
Total farm size (ha)	TFSIZE	600	5.62	5.26
Contact with extension agent for improved maize variety (=1 if household has contact; 0 otherwise)	CONT_M	600	0.48	0.51
Contact with extension agent for improved cowpea variety (=1 if household has contact; 0 otherwise)	CONT_C	600	0.36	0.50
Average price at which each unit of maize is sold (Naira/kg)	MPRICE	600	78.83	22.90
Average price at which each unit of cowpea is sold (Naira/kg)	CPRICE	600	103.72	18.82
Member of any social group (=1 if a member; 0 otherwise)	MBER	600	0.36	0.48
Means of transport ownership (=1 if own motorized equipment; 0 otherwise)	MTO	600	0.66	0.47
Mobile phone (=1 if household has access; 0 otherwise)	PHONE	600	0.82	0.39
<i>Striga</i> is a most important production constraint? (1=Yes)	STRIGA	600	0.96	0.20
Household location (=1 for Bauchi state and 0 for Kano state)	HLOC	600	0.50	0.50

Total farm size was positively and significantly associated with a higher probability and intensity of participation. This is in agreement with the a priori expectation that farmers with large farms produce beyond what they use for home consumption. An increase in farm size naturally implies an increase in output. These results indicate the constraints that farmers who have farms of smaller sizes face in getting access to markets could be due to their inability to produce a marketable surplus. However, its effect on the volume of sale was not significant. In agreement with a priori expectation, the price for

maize was positively and significantly associated with the decision to sell.

This is in agreement with the findings of most authors (5) that the price of a commodity is a great incentive to participate in any market. When the price is high, returns are also expected to be high. Access to motorized equipment was positive and significantly related to the decision to participate. This might be connected with the ease of transportation provided by such equipment as most agricultural crops are produced in distant farmlands with poor road networks.

With regard to location, there is no significant location difference in the probability of participation between Bauchi and Kano state but higher probability of participation is observed in Bauchi. However location was negative and significant in affecting the extent of participation (Table 3).

These underscore the associated socio-economic and population-related factors that are available and evident in both states affecting the demand for the maize crop.

These attributes include the state of industrial development and population density which boost or induce demand for maize that are higher in Kano

than Bauchi state with likely much more willingness to enter market in Bauchi.

Participation in the cowpea market

Age of the household head had a negative and significant impact on the decision to participate in the cowpea marketing. This is because many decisions made in the household on whether to sell cowpea or not depend on younger members of the family who tend to be source of key decision that affects the family welfare (Table 4). The rationale behind this might be that money-oriented attitude takes increased prominence in younger people who opt to be risk takers.

Table 3

Estimates of Double-Hurdle Model of Determinants of maize market participation decision and degree of participation.

Maize	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
First Hurdle						
AGE	-0.0047	0.0048	-0.98	0.328	-0.0141	0.0047
FEMALE	0.0608	0.0403	1.51	0.132	-0.0182	0.1398
HSIZE	-0.0688**	0.0347	-1.98	0.047	-0.1367	-0.0008
TFSIZE	0.0316**	0.0148	2.13	0.033	0.0026	0.0607
EDUCS	-0.1801	0.1259	-1.43	0.152	-0.4268	0.0666
CONT_M	0.0150	0.1168	0.13	0.898	-0.2139	0.2440
MEM	0.0287	0.1270	0.23	0.821	-0.2201	0.2776
MPRICE	0.0290***	0.0031	9.31	0.000	0.0229	0.0351
PHONE	-0.0162	0.1604	-0.10	0.920	-0.3306	0.2982
MTO	0.5195***	0.1267	4.10	0.000	0.2713	0.7678
HLOC	0.0472	0.1344	0.35	0.725	-0.2162	0.3107
CONSTANT	-1.7831	0.3893	-4.58	0.000	-2.5462	-1.0200
Second Hurdle						
AGE	-0.0265	0.1007	-0.26	0.793	-0.2239	0.1709
FEMALE	1.1691	1.1150	1.05	0.294	-1.0162	3.3544
ADULT	1.1476	0.9973	1.15	0.250	-0.8070	3.1023
HSIZE	-1.2350	1.1871	-1.04	0.298	-3.5616	1.0916
TFSIZE	0.0027	0.2400	0.01	0.991	-0.4677	0.4732
EDUCS	-3.8637	2.6047	-1.48	0.138	-8.9687	1.2414
CONT_M	-3.2972	2.4828	-1.33	0.184	-8.1634	1.5689
MEM	0.2882	2.6025	0.11	0.912	-4.8126	5.3889
PHONE	0.4356	3.2157	0.14	0.892	-5.8670	6.7382
MTO	3.4536	2.8615	1.21	0.227	-2.1549	9.0620
STRIGA	-4.9140	6.4973	-0.76	0.449	-17.6485	7.8205
HLOC	-9.7132***	2.7387	-3.55	0.000	-15.0810	-4.3454
CONSTANT	48.1054	9.3867	5.12	0.000	29.7077	66.5030
Sigma	21.7022	1.0047	21.60	0.000	19.7331	23.6713
Number of obs	589					
Wald chi²(11)	113.37					
Prob > chi²	0.0000					
Log likelihood	-2025.039					

Table 4

Estimates of Double-Hurdle Model of Determinants of cowpea market participation decision and degree of participation.

Cowpea	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
First Hurdle					
AGE	-0.0264***	0.0061	-4.32	0.000	-0.0384 -0.0144
FEMALE	0.0393	0.0466	0.84	0.399	-0.0521 0.1306
HSIZE	-0.0363	0.0398	-0.91	0.361	-0.1143 0.0416
TFSIZE	0.0312**	0.0130	2.41	0.016	0.0058 0.0566
EDUCS	0.0089	0.1384	0.06	0.949	-0.2625 0.2802
CONT_C	0.0704	0.1337	0.53	0.599	-0.1917 0.3325
MEM	0.0834	0.1440	0.58	0.562	-0.1988 0.3655
CPRICE	0.0739***	0.0051	14.59	0.000	0.0640 0.0839
PHONE	0.2221	0.1826	1.22	0.224	-0.1358 0.5800
MTO	0.1545	0.1445	1.07	0.285	-0.1287 0.4377
HLOC	-0.0439	0.1492	-0.29	0.768	-0.3363 0.2485
CONSTANT	-7.0115	0.5592	-12.54	0.000	-8.1075 -5.9155
Second Hurdle					
AGE	-0.1707	0.1034	-1.65	0.099	-0.3734 0.0320
FEMALE	1.1536	1.0967	1.05	0.293	-0.9959 3.3031
ADULT	0.6428	0.9429	0.68	0.495	-1.2052 2.4907
HSIZE	-1.3142	1.1548	-1.14	0.255	-3.5777 0.9493
TFSIZE	-0.4344	0.2457	-1.77	0.077	-0.9160 0.0472
EDUCS	-4.8521	2.5600	-1.90	0.058	-9.8696 0.1653
CONT_C	-2.0539	2.5993	-0.79	0.429	-7.1484 3.0407
MEM	-1.4972	2.5733	-0.58	0.561	-6.5409 3.5464
PHONE	10.0169***	3.2424	3.09	0.002	3.6619 16.3718
MTO	4.3595	2.7194	1.60	0.109	-0.9704 9.6894
STRIGA	-1.8323	6.8155	-0.27	0.788	-15.1904 11.5258
HLOC	7.6982***	2.7986	2.75	0.006	2.2131 13.1833
CONSTANT	56.0489	10.1834	5.50	0.000	36.0898 76.0080
Sigma	18.5995	0.8588	21.66	0.000	16.9162 20.2827
Number of obs	589				
Wald chi ² (11)	228.36				
Prob > chi ²	0.0000				
Log likelihood	-1364.8782				

Total farm size was positively and significantly associated with a higher probability of participation and vice versa. Large land contributes generally to huge output

The price of cowpea was positively and significantly associated with the decision to sell (Table 4). This is in agreement with a priori expectation and similar to maize and that price of a commodity would generally motivate households' participation in any market.

When the price becomes higher, the returns which accrue to households are also higher.

Access to phone influenced positively the decision to participate in cowpea market and was positively and significantly associated with the marketed volumes. Farmers in the surveyed areas access market information on prices of inputs and output through cell phones. Knowledge of input prices enables farmers to make informed decisions in not only entering market but also with quantity designated for sale.

The location variable had different signs with the decision and extent of participation. It was negatively and insignificantly associated with participation decision favoring Kano and positively and significantly related with extent of participation (Table 4). This is inversely similar to the situation with maize market driving the demand for cowpea more in Bauchi than in Kano state. The difference in demand for cowpea could be linked to the lower industrial development in Bauchi state in connection to the uses of cowpea as an important food source prepared as a potherb like spinach, boiled in replacement as rich source of proteins and served to feed animals when green or dry fodder. As expected, the *Striga* variable was positively, albeit insignificantly, associated with the volume of maize and cowpea marketed. Its statistical significance could be based on the fact that almost all households in the surveyed areas were infested by *Striga* and not enough variation was observed as evidenced by the Table 1.

The estimated coefficient for *Striga* was consistently negative in association with the degree of commercialization of both maize and cowpea in the region and conforms to a priori expectations.

Conclusion and policy implications

This study described the socio-economic characteristics and determined the drivers of market participation among small-scale maize/cowpea farmers in northern Nigeria for whom the two crops are the main sources of income. Market participation was becoming crucial in providing better market opportunities to farmers by motivating them in increasing their output, hence enabling them to earn more income to improve their livelihoods. Price and non-price constraints played a significant role in determining decisions on market participation for both crops. Household and total farm sizes and access to motorized equipment to ease the transportation were positively related to the decision to participate in the maize market. However, the volume of sale of maize was influenced by location-specific variables that underscored socio-economic and population-related factors that are more present in Kano than in Bauchi state.

These socio-economic and population-related characteristics include higher population density and infrastructural and industrial development that could boost the demand for the grains. These same factors in Bauchi favored farmers' participation in the cowpea market.

Moreover access to mobile phone induced the volume of cowpea marketed while age and total farm size affected cowpea market participation decision. However, the role of price was conspicuous in the markets for both crops as the main incentive for households' participation. *Striga* infestation contributed in reducing the volume of cereals marketed. Promoting *Striga* control technologies should be an important goal for research and extension in northern Nigeria.

Henceforth policies that increase returns to households through better prices, good road transportation networks, as well as location-specific socio-economic and population-related factors that induce farmers to commercialize maize or cowpea production should be pursued to promote a marketed surplus for these crop farmers and thereby improve their livelihoods.

Acknowledgement

Funding for this research was provided by the Bill and Melinda Gates Foundation Grant No. OPP1006185-1 to IITA, under the Project "Achieving sustainable *Striga* control for poor farmers in Africa", and is gratefully acknowledged. The authors also acknowledge the significant support of G. Ucheibe, M.Kadafur, Princess H. Ifeanyi, J. Mbavai and others who are not mentioned and who provided help in undertaking this survey. Finally, the authors would like to gratefully acknowledge the participation of farmers, extension agents, and local leaders from the project areas in providing considerable amounts of information during the survey.

Literature

1. AATF (African Agricultural Technology Foundation), 2008, *Delivering the Promise: Impacting Lives with New Technologies*. Annual Report, 2006, Nairobi, Kenya: AATF. 39.
2. Abdoulaye T. & Sanders J.H., 2005, Stages and Determinants of Fertilizer Use in Semiarid African Agriculture: The Niger Experience, *Agric. Econ.*, **32**, 167-179.
3. Aggarwal V.D. & Ouedraogo J.T., 1989, Estimation of cowpea yield loss from *Striga* infestation, *Tropic. Agric.*, (Guildford, UK) **66**, 91-92.
4. Ajirenike O.A., 2005, *The effect of Ondo state Agricultural Development Project on Maize production in Akure North local government area of Ondo state*. A project report submitted to the Department of Agricultural Extension and Management, Federal College of Agriculture, Akure, 61.
5. Alene A.D., Manyong V.M., Omany G., Mignouna H.D., Bokanga M. & Odhiambo G., 2008, Smallholder market participation under transactions costs: Maize supply and fertilizer demand in Kenya, *Food Policy*, **33**, 4, 318-328.
6. Barrett C.B., 2007, *Displaced Distortions: Financial Markets Failures and Seemingly Inefficient Resource Allocations in Low-Income Rural Communities*. Paper presented in Seminar on Resource Allocation among Low-Income Farmers, Cornell University, 12-15 December 2007.
7. Bellemare M. & Barrett C., 2006, An Ordered Tobit Model of Market Participation: Evidence from Kenya and Ethiopia, *Am. J. Agric. Econ.*, **88**, 2, 324-337.
8. Burke W.J., 2009, Fitting and Interpreting Cragg's Tobit Alternative Using Stata, *Stata J.*, **9**, 4, 584-592.
9. CBN. 2012-2013. *Corn Market Report*, Official Central Bank of Nigeria (CBN) Reports, Commodity Prices, 2012-2013.
10. Cragg J.G., 1971, Some Statistical Models for Limited Dependent Variables with Application to the Demand for Durable Goods, *Econometrica*, **39**, 5, 829-844.
11. Delgado C., 1995, *Africa's Changing Agricultural Development Strategies: Past and Present Paradigms as a Guide to the Future*, IFPRI, Washington D.C., USA.
12. Dugje I.Y., Ekeleme F., Kamara A.Y., Tegbaru A., Omoigui L.O., Onyibe J.E. & Teli. I.A., 2008, *Guide on pesticide use for crop production in Borno state, Nigeria*. IITA, Ibadan, Nigeria. 15.
13. FAO. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. On-line and Multilingual Database <http://faostat.fao.org/>
14. Fatokun C.A, Tarawali S.A., Singh B.B., Kormawa P.M. & Tamo M., (editors), 2002, *Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production: Proceedings of the World Cowpea Conference III* held at the International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria, 4-8 September 2000. IITA, Ibadan, Nigeria, 433.
15. Fischer E. & Qaim M., 2011, *Smallholder Farmers and Collective Action: What Determines the Intensity of Participation?* Proceedings of the German Development Economics Conference, Berlin 2011, No. 28. Available at: <http://hdl.handle.net/10419/48336>
16. Heltberg R. & Tarp F., 2001, *Agricultural Supply Response and Poverty in Mozambique*. Presented Paper at the Conference on Growth and Poverty at WIDER. 25-26 May 2001, Institute of Economics, University of Copenhagen, Denmark.
17. Holloway G.J., Nicholson C., Delgado C., Ehui S. & Staal S., 2000, Agroindustrialization through Institutional Innovation: Transaction Costs, Cooperatives and Milk Market Development in the East African Highlands, *Agric. Econ.*, **23**, 279-288.
18. Holloway G.J. & Ehui S., 2002, *Expanding Market Participation among Smallholder Livestock Producers: A Collection of Studies Employing Gibbs Sampling and Data from the Ethiopian Highlands, 1998-2001. Socioeconomics and Policy Research*. Working Paper 48. International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya.
19. IITA, 2012. Maize crop 2012. Downloaded from website: <http://www.iita.org/maize>
20. IITA, 2012. Cowpea crop 2012. Downloaded from website: <http://www.iita.org/cowpea>
21. Khan Z.R., C.A.O. Midega, A. Hassanali, J.A. Pickett, L.J. Wadhams & A. Wanjoya, 2006, Management of *Striga*, *Striga hermonthica*, and stem borers in sorghum, (*Sorghum bicolor*), through intercropping with green leaf desmodium, *Desmodium intortum*. *Int. J. Pest Manage.*, **52**, 297-302.
22. Lapar M.L., Holloway G. & Ehui S., 2003, Policy options promoting market participation among smallholder livestock producers: A case study from the Philippines, *Food Policy*, **28**, 187-211.

23. Martínez-Españeira R., 2006, A Box-Cox double-hurdle model of wildlife valuation: the citizen's perspective. *Ecol. Econ.*, **58**, 1, 192-208.
24. Mathenge M., Place F. Olwande J. & Mithoefer D., 2010, *Participation in Agricultural Markets among the Poor and Marginalized: Analysis of Factors Influencing Participation and Impacts on Income and Poverty in Kenya*, a study report. Tegemeo Institute of Agricultural Policy and Development, Nairobi, Kenya.
25. Omiti J.M., Otieno D.J., Nyanamba T.O. & Mccullough E., 2009, Factors Influencing the Intensity of Market Participation by Smallholder Farmers: A Case Study of Rural and Peri-urban areas of Kenya. *Afjare*, **3**, 1, 57-82.
26. Poulton C., Dorward A. & Kydd J., 2010, The future of small farms: New directions for services, institutions, and intermediation, *World Dev.* **38**,10, 1413-1428.
27. Renkow Mitch, Hallstrom Daniel G. & Karanja Daniel D., 2004, Rural Infrastructure, Transactions Costs and Market Participation in Kenya, *J. Dev. Econ.*, **73**, 1, 349-367.
28. Rios A.R., Masters W.A. & Shively G.E., 2009, *Farm Productivity and Household Market Participation: Evidence from LSMS Data*. http://www.agecon.purdue.edu/staff/shively/RMS_IAAE.pdf (Accessed May 2010).
29. Rosegrant M.W., Cline S.A., Li W., Sulser T.B. & Valmante-Santos R.A., 2005, Looking ahead. Long-term prospects for Africa's agricultural development and food security. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
30. Sadoulet E. & de Janvry A., 1995, *Quantitative Development Policy Analysis*, The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London.
31. Sanda, R.A and Maina, M.I. 2013. Effect of Drought on the Yields of Different Cowpea Cultivars and Their Response to Time of Planting in Kano state, Nigeria. *Int. J. Environ. Bioenerg.*, **6**, 3, 171-176
32. Shilpi F. & Umali-Deininger D., 2008, Market facilities and agricultural marketing: Evidence from Tamil Nadu, India, *Agric. Econ.*, **39**, 281-294.
33. Smith M.D., 2003, On dependency in Double-Hurdle models, *Stat. Pap.*, **44**, 4, 581-595.
34. Stifel D. & Sahn D.E., 2003., Employing alternative measures of welfare in the absence of expenditure data. Review of income and wealth, *Int. Food Policy Res. Inst.*, **49**, 463-489.
35. Strauss D., Bednar L. & Mees R., 1989, Does one percent of forest fires cause ninety-nine percent of the damage?, *For. Sci.*, **35**, 319-328.
36. Tobin J., 1958, Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables, *Econometrica*, **26**, 24-36.
37. Tung D.X. & Costales A., 2007, *Market Participation of Smallholder Poultry Producers in Northern Vietnam*. Pro-Poor Livestock Policy Initiative (PPLPI) Research Report, March 2007, 14.
38. Watling J.R. & Press M.C., 2001, Impacts of infection by parasitic angiosperms on host photosynthesis, *Plant Biol.*, **3**, 244-250.
39. Xu Z., Burke W.J., Jayne T.S. & Govereh J., 2009, Do Input Subsidy Programs Crowd In or Crowd Out Commercial Market Development? Modeling Fertilizer Use Decisions in a Two-Channel Marketing System, *Agric. Econ.*, **40**, 1, 79-94.
40. Zhang X. & Fan S., 2004, How Productive is Infrastructure? A New Approach and Evidence from Rural India, *Am. J. Agric. Econ.*, **86**, 2, 492-501.

B.D. Mignouna, Togolese, PhD, Regional Economist, Institute of Tropical Agriculture, Kano, Nigeria.

T. Abdoulaye, Nigerien, PhD, Outcome/Impact Socio-Economist, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria

A.A. Akinola, Nigerian, PhD, Agricultural Economist, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria

Y.A. Kamara, Sierra-Leonian, PhD, Savannah Systems Agronomist and Station Representative, Kano, International Institute of Tropical Agriculture, Kano, Nigeria.

M. Oluoch, Kenyan, PhD, *Striga* Project Manager, International Institute of Tropical Agriculture, Kano, Nigeria.

Croyances locales et stratégies d'adaptation aux variations climatiques à Korhogo (Côte d'Ivoire)

A.N.N. Boko^{1,2*}, G. Cisse^{3,4}, B. Kone^{2,5} & S.F. Dedy¹

Keywords: Local beliefs- Endogenous strategies of adaptation- Climate variability- Ivory Coast

Résumé

La région de Korhogo en Côte d'Ivoire connaît ces dernières décennies une variabilité du climat qui perturbe les activités agricoles des populations. La présente étude a été conduite de mars 2009 à février 2012 pour identifier les causes perçues par les populations de la variabilité climatique et des changements dans l'environnement, ainsi que leurs stratégies endogènes d'adaptation. Une approche qualitative, basée sur des entretiens semi-directifs, des histoires de vie et des «focus group», a été adoptée pour la collecte des données. La méthode historique et compréhensive a permis de mettre en relation les perceptions et les croyances des populations en rapport avec les stratégies endogènes d'adaptation développées. Les populations perçoivent qu'il y a un allongement de la saison sèche au détriment de la saison pluvieuse, une dégradation avancée de la végétation, l'assèchement de sources d'approvisionnement en eau (rivières, marigots et puits) et la disparition de certains animaux comme l'éléphant et l'hyène, ainsi que certaines espèces végétales utilisées par les artisans sculpteurs et par des tradipraticiens. L'étude révèle également que les stratégies d'adaptation des populations reposent principalement sur les croyances et les savoirs locaux traditionnels, qui constituent autant une barrière qu'une opportunité pour l'adaptation aux variabilités climatiques. Cet article apporte de nouveaux éclairages sur l'importance de prendre en compte les savoirs locaux pour développer des stratégies d'adaptation efficaces.

Summary

Local Beliefs and Strategies of Adaptation to Climate Change in Korhogo (Ivory Coast)

Over the last decades, the area of Korhogo, Ivory Coast, has experienced climatic variations that disturbed populations' agricultural activities. This study was conducted from March 2009 to February 2012 in order to identify the causes perceptible by the populations of the climate variability and environmental change, and their endogenous strategies of adaptation. A qualitative approach based on semi-structured interviews, life stories and focus group discussions has been used for data collection. The historical and comprehensive method enabled to establish a relationship between populations' perceptions and beliefs and their endogenous strategies of adaptation. The populations notice an extension of the dry season at the expenses of the rainy season, advanced deterioration of vegetation, of the drying up of the sources of water supply (rivers, backwaters and wells), and disappearance of some wild animals like elephant and hyena and of some plant species used by sculptors and traditional healers. The survey also shows that populations' adaptation strategies are mainly based on local traditional beliefs and knowledge which are at the same time a barrier and an opportunity for the adaptation to climate variability. This article shows the importance of taking into account local knowledge in order to develop efficient adaptation strategies.

¹Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire.

²Centre Suisse de Recherches Scientifiques, Abidjan, Côte d'Ivoire.

³Institut Tropical et de Santé Publique Suisse, Department of Epidemiology and Public Health, Ecosystem Health Sciences Unit, Basel, Switzerland.

³Université de Korhogo, Côte d'Ivoire; Centre Suisse de Recherches Scientifiques, Abidjan, Côte d'Ivoire.

⁴Université de Bâle, Bâle, Suisse.

⁵Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant: E mail: juchriel@yahoo.fr

Reçu le 04.07.13 et accepté pour publication le 11.05.15

Introduction

L'adaptation ⁵aux variabilités climatiques ⁶est une question essentielle en Afrique en général et en Afrique Subsaharienne en particulier (1, 14, 15).

Sur 28 pays exposés à un «risque extrême» par suite du réchauffement climatique, 22 sont en Afrique subsaharienne (5). Compte tenu de la spécificité culturelle de chaque région et zone d'étude, il est opportun d'interroger les stratégies endogènes d'adaptation pour prendre en compte les forces et les faiblesses des réactions de la population face au phénomène.

Aussi, associer les Connaissances Environnementales Traditionnelles (CET) des populations locales, constitue-t-il une autre source de savoirs non négligeables et complémentaires à la science occidentale analytique (3). En d'autres termes, il s'agit de montrer comment les croyances, les valeurs, les pratiques ainsi que les techniques et les habitudes culturelles influencent les comportements des individus et des groupes sociaux qui affrontent les défis posés par les effets de la variabilité climatique (8). Par ailleurs, dans un contexte où l'on manque de données quantitatives mesurées sur les évolutions climatiques récentes, interroger la population locale sur ses observations et son vécu des différentes variations climatiques et changements dans l'environnement, peut permettre de qualifier lesdits phénomènes sur la base des savoirs traditionnels.

La Côte d'Ivoire est durement affectée par les variabilités climatiques qui se traduisent par une diminution des précipitations de 0,5% par an en moyenne entre 1965 et 1980, aggravée dans les années 1980 avec une diminution de 4,6% (7).

La zone de Korhogo, au Nord de la Côte d'Ivoire, a connu des événements climatiques extrêmes entre 2000 et 2010, notamment une sécheresse en 2004-2005 avec l'assèchement des points d'eau (barrage, rivières, puits, etc.) et une inondation en 2006-2007. Ce processus de changements environnementaux, avec des événements extrêmes, affectent la vie et les activités économiques et culturelles des populations locales. Pour faire face à cet ensemble de perturbations, au niveau local, les populations ont recours à un certain nombre de stratégies.

La présente étude s'est intéressée particulièrement aux savoirs locaux dans les stratégies endogènes d'adaptation contre les variabilités climatiques et les changements dans l'environnement. Elle a pour objectifs de: 1) décrire les causes perçues du phénomène par les populations; 2) analyser les stratégies endogènes d'adaptation mises en place par celles-ci et enfin; 3) proposer des mesures de renforcement de la capacité de ces dernières à faire face à ces perturbations.

Méthodologie

Zone d'étude

L'étude a été effectuée à Korhogo, ville située au Nord de la Côte d'Ivoire avec environ 212.546 habitants. La végétation est constituée de savane (herbeuse, arbustive ou arborée) et de forêts (galeries claires). La population, principalement Sénoufos et Malinkés (Dioulas), vit essentiellement de l'agriculture. Le département de Korhogo est marqué par une alternance de deux saisons: (i) la saison sèche, qui s'étend de novembre à avril et; (ii) la saison des pluies, qui s'étend de mai à octobre. Les températures moyennes varient entre 24° et 33 °C. La moyenne pluviométrique annuelle se situe entre 1.100 et 1.600 mm. La zone d'étude est représentée par la figure 1.

⁵"Adaptation: Correspond dans ce contexte aux réactions ou réponses des populations face aux changements environnementaux et aux effets de la variabilité comme du changement climatique car, il est difficile de faire la distinction entre les risques naturels inhérents à la variabilité climatique actuelle et ceux spécifiquement liés au Changement Climatique (12).

⁶"Le choix du mot variabilité climatique répond aux données de l'étude basées sur les événements climatiques observés et vécus dans la zone. Les variations décrites n'ont pas été mesurées sur une période généralement admise d'au moins 30 ans pour parler de changement climatique.

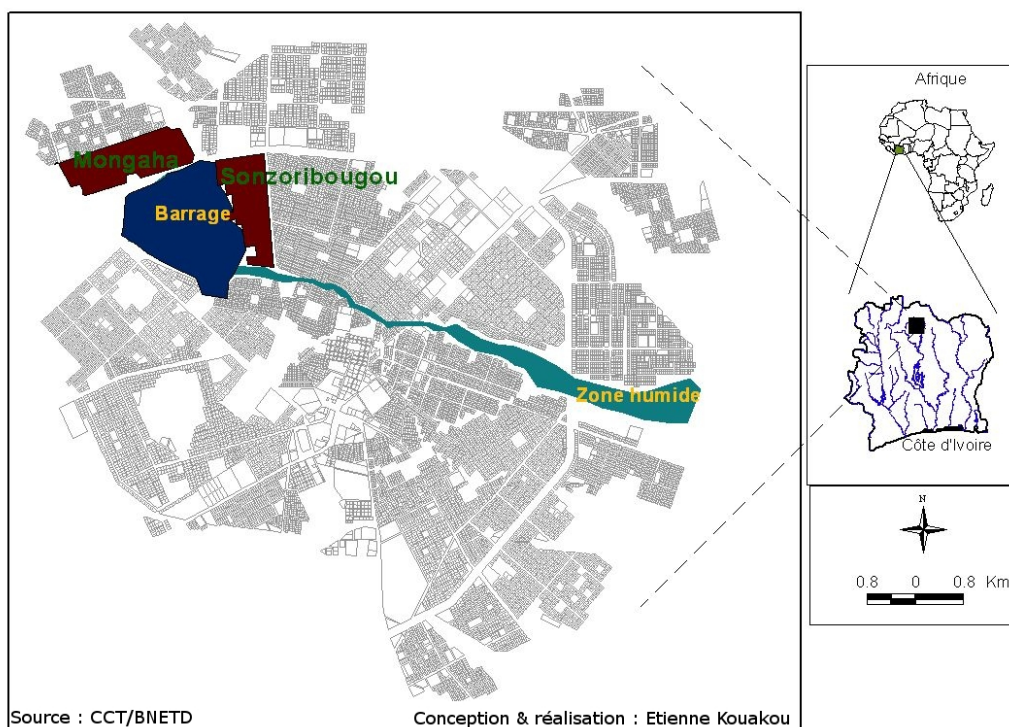


Figure 1: Zone d'étude.

Collecte des données

Les données ont été collectées entre mars 2009 et décembre 2011. Une approche qualitative a été adoptée dans le cadre de cette étude avec différents outils de collecte des données: entretiens semi-directifs, histoires de vies, discussions de groupes focaux.

Entretiens semi-directifs

Vingt-six entretiens semi-directifs avec les chefs (de village, de terre, de canton et des bois sacrés); des directions de structures privées et de l'Etat (SODECI "7", Hydraulique Humaine, ANADER "8", Ministère de l'agriculture, de la production animale et des eaux et forêts); des représentants des ONG "9" locales et internationales (ARK "10", PNUD "11", CARE International).

Histoires de vie

Dix-huit histoires de vie ont été réalisées avec des agriculteurs, chasseurs, tradipraticiens, pêcheurs, éleveurs, faiseurs de pluie. Ils ont été choisis en fonction de leur âge (>60 ans).

Discussions des groupes focaux

Douze «focus group», de dix personnes en moyenne, ont été conduits avec des personnes adultes non-instruites (hommes et femmes), des adultes instruits, des jeunes et des groupements de femmes travaillant dans les cultures maraîchères. Les données collectées ont porté en général sur: l'environnement socio-culturel et politique du peuple Sénoufo, les changements dans l'environnement naturel, les causes, stratégies d'adaptation et les CET.

"7" SODECI: Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire

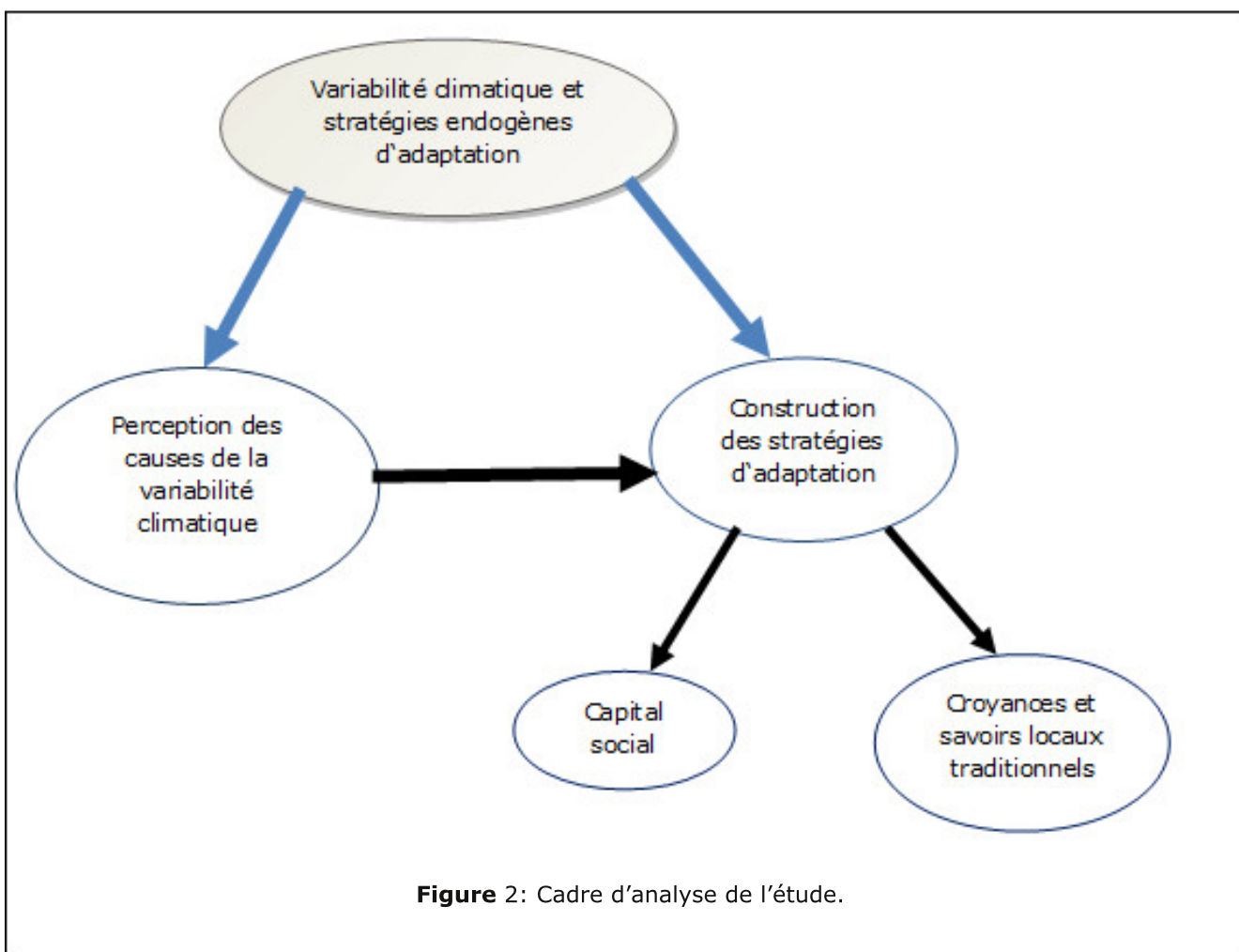
"8" ANADER: Agence Nationale d'Appui au Développement Rural

"9" ONG: Organisation Non Gouvernementale

"10" ARK: Animation Rurale de Korhogo

"11" PNUD: Programme des Nations Unies pour le Développement

"12" Stratégie d'adaptation: Manière de planifier et de mettre en œuvre l'adaptation.



Cadre d'analyse de l'étude

Notre étude de la variabilité climatique et des stratégies endogènes d'adaptation a pris l'option: (i) de connaître les causes attribuées par les populations au phénomène (perceptions) et (ii) d'identifier le processus de construction des stratégies endogènes d'adaptation. Ce qui explique la relation du thème central aux deux items, matérialisé par les flèches bleues.

Les flèches noires par contre montrent que le processus de construction des stratégies endogènes d'adaptation, part des perceptions et s'appuie sur le capital social et les croyances (Figure 2).

Traitement et analyse des données

Le traitement des données obéit à plusieurs étapes. Les informations ont été d'abord enregistrées avec un dictaphone puis transcrites sur Word. Ensuite, le logiciel MAXQDA a été utilisé pour le traitement des données (structuration et catégorisation au niveau des réponses) afin de faciliter la lecture et mieux synthétiser les données pour les analyser. Concernant l'analyse des données, les méthodes historique et compréhensive ont été utilisées. A travers le recoupement des données renseignées, la première a permis de suivre l'évolution des phénomènes et de noter les changements opérés dans le temps et dans l'espace. En ce qui concerne la seconde méthode, les croyances, les valeurs et les perceptions des populations ont constitué un ensemble significatif pour la compréhension et l'analyse des stratégies.

Résultats

Causes perçues des variabilités climatiques à Korhogo

L'analyse des résultats dévoile deux types de causes: les causes liées aux activités anthropiques et les causes métaphysiques.

Les causes liées aux activités anthropiques

Les actions de l'homme ont été citées par 164 personnes interrogées, aussi bien dans les entretiens que dans les focus group. Ces causes sont: la politique agricole de la Côte d'Ivoire des années 1970; l'avènement de l'agriculture cotonnière, du sucre et de l'anacarde; l'évolution des techniques culturales; l'exploitation anarchique de la forêt; l'utilisation du bois de chauffe et le développement du commerce du charbon de bois; l'augmentation de la population; l'utilisation abusive des herbicides; les feux de brousse; l'agriculture itinérante sur brûlis et l'élevage à travers les bœufs de transhumance.

Les causes mystiques ou métaphysiques

Concernant ces causes, seul le groupe des intellectuels, composé des directeurs régionaux, ONG et autres (vingt personnes), n'a pas évoqué et soutenu la thèse métaphysique. Pour les cent quarante-quatre autres personnes, les causes de la variabilité climatique se résument au non-respect: des pratiques coutumières, des fétiches, des totems (faire l'amour dans la brousse, commettre des crimes de sang) et des interdits liés à la nature. Aussi, la non fréquentation des lieux d'adoration; le manque de coordination des rituels et sacrifices expiatoires aux génies de la terre; la multiplicité des religions, la dégradation des valeurs traditionnelles et enfin, le bouleversement des règles de la société (non-respect des personnes âgées, libéralisation du travail de la terre), ont provoqué la colère des dieux qui se manifeste par l'arrêt des pluies.

Face donc à cette réalité, les populations vont développer plusieurs stratégies.

La construction des stratégies endogènes d'adaptation

Cette construction repose sur les données issues de l'enquête. Les stratégies notées sont de trois ordres: celles guidées par l'instinct de survie, celles conseillées et enfin celles basées sur les croyances.

Les stratégies guidées par l'instinct de survie

Ce sont celles développées instinctivement par les populations. Cette stratégie n'est ni planifiée, ni basée sur une quelconque connaissance du phénomène. Elle obéit tout simplement à un instinct et au besoin de survie qui est de l'ordre naturel. Stratégie traduite par ce proverbe Sénoufo qui dit: «quand le tam-tam change, les pas aussi changent». Au nombre de ces stratégies, il y a: la migration «climatique» et l'exode rural; la reconversion des populations et le développement de certains secteurs d'activités (commerce, élevage; production de charbon de bois, vente de bois de chauffe et casse de pierres). Les chasseurs traditionnels «Dozo», reconvertis en agents de sécurité, l'abandon systématique de cultures exigeantes en eau et la modification du régime alimentaire. S'ajoutent: le développement de l'agriculture urbaine; l'utilisation massive de l'engrais; la ruée vers les cultures dites pérennes (coton, la mangue, et l'anacarde); le renoncement à l'activité ou l'abandon des parcelles cultivées (une forme de résignation alimentée par le sentiment d'impuissance face au phénomène).

En définitive, les populations regardent autour d'elles et copient les réactions en chaînes relatives à la situation communément vécue.

Les stratégies d'adaptation conseillées

Celles-ci sont des propositions techniques élaborées et/ou proposées par des scientifiques (chercheurs), des techniciens et professionnels (ONGs, structures d'encadrement en agriculture), basées sur une connaissance des causes et conséquences du phénomène.

Elles sont relatives à l'abandon des cultures à cycle long comme l'igname, la patate douce traditionnelle (très sucrée), le riz local, le maïs traditionnel appelé «Karosaba», au profit de nouvelles variétés à cycle court plus adaptées (intégration du manioc); à la pratique des cultures de contre saison, à l'utilisation de matériel végétal amélioré, à l'aide à la reconversion de la population vers des activités génératrices de revenus, au développement de la culture maraîchère et à la création de magasins à céréales. Stratégies pas toujours suivies car crise de confiance entre agriculteurs et agents conseillés du fait des prévisions météorologiques pas toujours exactes.

Les stratégies liées aux croyances

Elles sont guidées par les causes métaphysiques attribuées au phénomène. Ici, les populations font des consultations auprès des «Fodonons» ou faiseurs de pluie (sous-groupe Senoufo réputé maîtriser la pluie). Elles font également appel aux marabouts ou charlatans pour des sacrifices en direction des ancêtres, des esprits des génies et des dieux protecteurs; des prières sont organisées dans les mosquées et églises pour demander la clémence de Dieu et autoriser le retour des pluies.

En somme, les stratégies développées par les populations, reposent sur deux piliers fondamentaux: le capital social des enquêtés (apports des ONG et techniciens, des médias, coopératives et réseaux sociaux) et les pratiques occultes liées aux croyances.

Discussion

A l'analyse, la question fondamentale que l'on se pose est la suivante: est-il juste d'attribuer des causes métaphysiques à la variabilité climatique et faire appel à des charlatans, marabouts et faiseurs de pluie si tant est qu'il est possible d'identifier un lien de cause à effet entre l'action humaine et les procédés actuels de la variabilité climatique COMEST (4)? Cette adaptation n'est-elle pas par ignorance et ne révèle-t-elle pas une connaissance limitée et confuse du phénomène (16)? Par contre, certains interdits et croyances liés aux stratégies de gestion des ressources naturelles développées par les ancêtres, mettent en évidence la richesse des savoirs locaux et des CET.

En effet, à Korhogo, une analyse des explications explicites ou métaphysiques des interdits liés à la terre, aux cours d'eau, aux espaces boisés non sacrés, à la coupe de certaines espèces d'arbres et enfin aux «bois sacrés» (sites d'adoration, sièges ou lieux d'habitation des génies, et des esprits du village, etc.) d'une part et, implicites (valeurs thérapeutiques, alimentaires ou culinaires, socio-économiques, socio-culturelles ou même politiques) d'autre part, a révélé une volonté réelle pour les ancêtres, de conserver la biodiversité. Par exemple, à travers les interdictions liées à des espaces boisés non sacrés et certains arbres comme le «Néré» ou le «Karité»; il s'agissait tout simplement de sauvegarder des pans de forêts qui ne seront pas

utilisés et détruits par la population et d'une pratique traditionnelle de l'agroforesterie pour protéger des espèces aux innombrables vertus: essences pour pratiques mystiques, industrie agroalimentaire et pharmaceutique (2). Memel-Fote (13) cité par Gadou (6) dira qu'au-delà de leur fonction symbolique, les stratégies rituelles ont eu comme effet, le renforcement de la cohésion sociétale et la sauvegarde du milieu environnemental. Cette idée est soutenue dans plusieurs études (2, 9, 10, 11). C'est pourquoi, ces pratiques ancestrales d'interdiction sont à considérer comme une opportunité à saisir dans les moyens de lutte contre les changements climatiques via la variabilité climatique et les changements dans l'environnement. L'on pourrait, dès lors, puiser dans ces stratégies de protection de la biodiversité, pour en faire des stratégies d'adaptation aux changements climatiques.

Conclusion

Il ressort de cette étude que la variabilité climatique est une réalité perçue et vécue dans la zone de Korhogo. Mais, la complexité du phénomène des changements climatiques, ne permet pas une complète maîtrise de celui-ci en terme d'adaptation par les populations.

Les causes identifiées montrent clairement que les populations ont une connaissance partielle du phénomène. Cette connaissance est à l'image des stratégies mises en place pour y faire face. Ainsi, les principaux défis dans cette zone sont principalement:

- l'acceptation par les communautés des propositions des structures étatiques et des ONG;
- différencier les croyances des CET (comme l'agroforesterie), qui peuvent certainement contribuer à la résolution des problèmes et, constituer une réelle opportunité pour l'adaptation aux effets des variabilités climatiques.

Les principales recommandations sont les suivantes:

- Communiquer suffisamment sur la variabilité et le changement climatique, les causes et les conséquences pour une meilleure connaissance desdits phénomènes;

- Promouvoir une éducation environnementale de la population en vue d'un renforcement de la conscience écologique;
- Mener des actions concrètes de sensibilisation pour le reboisement de la zone;
- Encourager les populations à diversifier leurs activités en privilégiant les activités génératrices de revenus;
- Visiter ou revisiter les stratégies traditionnelles

de conservation et de protection de l'environnement, relatives aux savoirs locaux et aux pratiques culturelles de sauvegarde de l'environnement.

Ces options devraient permettre d'identifier de nouvelles stratégies d'adaptation acceptées par les populations, vu que celles-ci reposeront sur leurs croyances.

Références bibliographiques

1. ADF VII, 2010, *Changements climatiques et développement durable en Afrique: Vue d'ensemble*, Centre de conférences des Nations Unies. Addis-Abeba (Éthiopie).
2. Butare I., 2003, Pratiques culturelles, la sauvegarde et la conservation de la biodiversité en Afrique de l'Ouest et du Centre. Actes du Séminaire-Atelier de Ouagadougou (Burkina Faso), du 18 au 21 juin 2003. CRDI, Zoom Editions. Dossier n°: 100657; 251.
3. Chouinard O., Plante S., & Martin G., 2006, Engagement des communautés face au changement climatique: une expérience de gestion intégrée à LE Goulet et Pointe du Chêne au Nouveau-Brunswick, *Vertigo*, 7, 3, 1-10
4. Commission Mondiale d'Éthique des Connaissances Scientifiques et des Technologies (COMEST), 2009. Rapport sur les implications éthiques du changement climatique global, Paris, 29.
5. Doucet D., 2010, Le changement climatique: un défi partagé pour l'Afrique et le monde? *Géopolitique africaine*, 36, 121-146
6. Gadou D., 2001. La préservation de la biodiversité: les réponses de la tradition religieuse africaine, *Afr. Anthropol.*, 8, 2, 178-199.
7. Halle B., & Bruzon V., 2006, *Profil Environnemental de la Côte d'Ivoire*. Commission Européenne, Consortium AGRIFOR Consult, Rapport final, 133.
8. Heyd T., 2008, *Réponses culturelles aux changements rapides de la nature*, Colloque Vulnérabilités sociétales, risques et environnement. Toulouse.
9. Kokou K., 1998, Gestion d'Ilots de forêts naturelles par les collectivités villageoises au Togo. *Flamboyant*, 45, 47-52.
10. Kokou K., Caballé G., Akpagana K., & Batawila K., 1999, Les Ilots forestiers au sud du Togo: dynamique et relations avec les végétations périphériques. *Ecol. Terre Vie*, 54, 301-313.
11. Kokou K., Batawila K., Akoègninou A. & Akpagana K., 2000, Analyse morpho-structurale et diversité floristique des hots de forêts protégés dans la plaine côtière du sud du Togo, *Etudes For. Vég. Burkina Faso*, 5, 33-48.
12. Memel-Fôte H., 1999, Essais sur l'homme et l'environnement en Afrique nubienne. *Bull. GIDII-CI*, 17, 37- 45.
13. Niasse M., 2007, *Éléments de stratégie régionale d'adaptation au changement climatique basée sur l'approche de partage des risques, Afrique de l'ouest*, Programme Adaptation au Changement Climatique en Afrique, 62.
14. Niasse M., Afouda A., & Amani A., 2004, *Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification : Éléments de stratégie régionale de préparation et d'adaptation*. Union mondiale pour la nature (UICN)
15. Patchen M., 2006, *Public attitudes and behaviors about climate change*. In *Purdue Climate Change Research Center. Publications*, [En ligne]. <http://www.purdue.edu/climate/pdf/Patchen%20OOP0601.pdf> (Page consultée le 16 mars 2011).

A.N.N. Boko, Ivoirienne, Doctorante, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire.

G. Cissé, Mauritanien, PhD, Professeur, Institut Tropical et de Santé Publique Suisse, Depart. Epidem. Public Health, Basel, Switzerland.

B. Koné, Ivoirien, PhD, Maître-assistant, Université de Korhogo, Korhogo, Côte d'Ivoire.

S.F. Déby, Ivoirien, PhD, Professeur, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire.

Effet de l'application d'engrais minéral complet NPK et de biochar sur les performances de la culture pure du manioc et de l'association manioc - maïs dans les conditions du plateau des Batéké en République Démocratique du Congo (RDC)

B. Lele^{1,2}, J. Lejoly^{2,3} & C. Kachaka¹

Keywords: Mineral fertilizer- Biochar- sandy soil- Association cassava-maize- D.R. Congo

Résumé

Dans le but de mettre au point un système de culture durable adapté aux conditions du plateau des Batéké, un essai préliminaire a été réalisé entre janvier 2012 et mars 2013 au niveau du domaine agro-forestier d'Ibi sur ouverture d'une jachère de 10 ans (dont les trois dernières années sans destruction du couvert végétal par les feux de brousse) dans un sol sableux selon un dispositif en blocs aléatoires complets avec 4 répétitions. Cinq objets ont été comparés: la culture pure du manioc (variété Maribuata) avec et sans application de 40 kg N, 40 kg P₂O₅ et 40 kg K₂O ha⁻¹, la culture associée du manioc et du maïs (variété Samaru) avec et sans application de 40 kg N, 40 kg P₂O₅ et 40 kg K₂O ha⁻¹, et la culture associée du manioc et du maïs, avec application de 40 kg N, 40 kg P₂O₅, 40 kg K₂O ha⁻¹ et de 15 tonnes ha⁻¹ de biochar. Les résultats obtenus montrent que dans les conditions édapho-climatiques de l'essai, l'installation simultanée du manioc et du maïs en début de petite saison des pluies permet d'obtenir une valeur ajoutée brute nettement supérieure à celle de la culture pure du manioc. L'application de la dose d'engrais minéral testée n'améliore pratiquement pas la valeur ajoutée brute du manioc cultivé en pur et profite principalement au maïs quand il est associé au manioc en l'absence d'application de biochar. L'application combinée d'engrais minéral et de biochar permet de quasiment doubler les quantités de manioc et tripler celles de maïs récoltées par ha par rapport au témoin ne recevant pas d'intrants. Le bénéfice brut généré par l'association manioc-maïs avec apport d'engrais minéral et de biochar est environ deux fois plus important qu'en cas d'absence d'application

Summary

Effect of the Application of Complete NPK Mineral Fertilizer and Biochar on the Performance of Cassava Sole Cropping and Cassava-Maize Intercropping in the Conditions of the Batéké Plateau in the Democratic Republic of Congo (DRC)

In order to develop a sustainable farming system adapted to the conditions of the Batéké plateau, a preliminary trial was conducted between January 2012 and March 2013 at the Ibi agro-forestry domain after a fallow of 10 years (the last three years without destruction of the vegetation by bush fires) in sandy soil according to a randomized complete block design with four replications. Five treatments were compared: the cassava sole cropping (Maribuata variety) with and without application of 40 kg N, 40 kg P₂O₅ and 40 kg K₂O ha⁻¹, cassava and maize (Samaru variety) intercropping with and without application of 40 kg N, 40 kg P₂O₅ and 40 kg K₂O ha⁻¹, and cassava and maize intercropping with application of 40 kg N, 40 kg P₂O₅, 40 kg K₂O ha⁻¹ and 15 t ha⁻¹ of biochar. The results show that in the edaphic and climatic conditions of the test, the simultaneous installation of cassava and maize at the start of short rains provides a gross added value significantly higher than that of cassava sole cropping. The application of mineral fertilizers hardly improves the gross value added for cassava sole cropping while they however benefits to maize when it is associated with cassava in absence of biochar application. The combined application of mineral fertilizer and biochar make it possible to almost double cassava yield and triple the one of maize compared to the

¹Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles Kinshasa, R.D. Congo.

²Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, R.D. Congo.

³Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique; ONG Groupe d'Initiatives pour l'Agroforesterie en Afrique, Kinshasa, R.D. Congo.

*Auteur correspondant: E Mail: lelebonaventure72@yahoo.fr

Reçu le 05.11.13 et accepté pour publication le 21.05.15

d'intrants. L'application combinée de biochar et d'engrais minéral s'est traduite par une augmentation importante du pH. Ce qui a dû s'accompagner par une meilleure disponibilité du phosphore, du calcium et du magnésium présents dans le sol.

no-input control. Gross profit generated by the combination of cassava and maize with mineral fertilizers and biochar application is about twice higher than what is obtained for the control. The combined application of biochar and mineral fertilizer resulted in a significant increase in pH. This should have been accompanied by improved availability of Phosphorus, Calcium and Magnesium in the soil.

Introduction

L'agriculture en RDC constitue un secteur important de l'économie nationale. Elle contribue à 50% au PIB et occupe 70% de la population active (14). Cependant, elle est confrontée à de nombreuses difficultés pour assurer la sécurité alimentaire de la population (12). C'est le cas au plateau des Batéké où l'activité agricole est soumise aux nombreuses contraintes liées aux sols et au système agricole (9). Les sols du plateau de Batéké sont acides et caractérisés pour la plupart par: une texture sableuse (moins de 6% d'argile), une structure particulière, une faible teneur en éléments nutritifs, une très faible rétention de l'eau et des éléments minéraux, un blocage du phosphore dû à l'acidité. Ces caractéristiques défavorables font qu'ils ne peuvent soutenir de manière durable la production agricole (8, 9). En plus, les paysans y pratiquent une agriculture itinérante sur brûlis qui a pour conséquences la perte rapide de la fertilité, de l'activité biologique ainsi que l'érosion du sol (3, 22, 23). A la longue, les processus pédogénétiques naturels couplés aux facteurs anthropiques aboutissent à des sols fortement dégradés et très acides (20). Ces sols présentent des contraintes chimiques et biologiques liées à l'acidité, à la toxicité aluminique, à une forte capacité de rétention du phosphore (P), à une forte désaturation en cations échangeables (Ca, Mg, K, Na) qui se traduisent par la réduction drastique de la production agricole (20, 21). Malgré l'utilisation des fertilisants minéraux, le rendement des principales cultures reste faible à cause du lessivage intense des éléments minéraux. Ainsi, la mise en valeur de ces sols exigeraient des amendements, organiques ou calcaire, pour améliorer leurs propriétés

physiques et rentabiliser l'utilisation des fertilisants (15, 25). Cependant, l'indisponibilité de la matière organique en quantité suffisante et le coût élevé de la chaux oblige à explorer d'autres pistes pour gérer durablement la fertilité du sol. Sur base des résultats obtenus dans d'autres parties du monde, l'incorporation au sol de biochar (charbon de bois broyé) constitue une alternative prometteuse (5, 7, 32). C'est, en effet, avec le biochar que les Amérindiens d'Amazonie ont créé la terra preta (sols noirs très fertiles). Des travaux récents ont montré qu'il présente aussi un intérêt contre le réchauffement climatique en conservant le carbone dans le sol et en luttant contre la déforestation en sédentarisant l'agriculture (1, 10, 11, 16, 29, 30, 31). Par ailleurs, au plateau des Batéké, le manioc suivi du maïs constituent les principales sources d'aliments et de revenus. Le manioc est habituellement planté en culture pure sur ouverture d'une longue jachère ou associé à l'arachide et quelques rares fois au maïs. Dans les conditions d'association, sur un sol pauvre et acide, on constate une très faible fixation symbiotique de l'azote atmosphérique pour l'arachide qui donne des rendements très faibles (8). Ces contraintes nous ont conduits à tester les performances de l'association manioc-maïs avec installation simultanée de deux composantes, en considérant différentes modalités de fertilisation minérale et d'amendement du sol au moyen de biochar. Semer le maïs au même moment que la plantation du manioc offre l'avantage de maximiser l'assimilation de l'engrais minéral par les cultures associées et permet de raccourcir le délai préalable à la réalisation d'une première récolte de denrée alimentaire dans le champ.

Compte tenu des caractéristiques des sols du plateau des Batéké, l'ajout de biochar devrait être particulièrement favorable à l'amélioration durable de leur fertilité. Les résultats d'un essai préliminaires visant à tester ces différents facteurs sont présentés et discutés ici en vue de mettre au point un système de culture durable adapté aux conditions locales.

Matériel et méthodes

Site expérimental

L'expérience a eu lieu sur le plateau des Batéké au niveau du domaine agro-forestier d'Ibi dans une savane à *Hyparhenia diplandra*. Ce domaine se situe à 140 km à l'Est du centre-ville de Kinshasa. La savane avait connue une jachère de 10 ans dont les trois dernières années sans destruction du couvert végétal par les feux de brousse. Avant cette jachère, le terrain était cultivé avec du manioc. Les coordonnées du site sont 651 m d'altitude, S4°19,886' de latitude et EO16°7,504' de longitude. Le climat est du type AW₄ selon la classification de Köppen. C'est un climat tropical humide comportant une saison sèche de 4 mois qui va de mi-mai à mi-septembre et une saison pluvieuse de 8 mois qui va de mi-septembre à mi-mai. La saison des pluies est entrecoupée d'une petite saison sèche entre mi-janvier et mi-février. Nous avons trois saisons culturales dont la saison A qui va de mi-octobre à mi-janvier, la saison B de mi-février à mi-juin et la saison C de mi-juin à mi-octobre. Habituellement, le manioc est planté soit pendant la saison A soit pendant la saison B. Le choix de la saison B pour l'essai est dû à la disponibilité du terrain. Le cycle des précipitations pendant l'expérience indique une période de sécheresse de juin à août (Tableau 1). Le terrain expérimental se trouve sur une très faible pente. Au démarrage de l'étude, deux échantillons de sol ont été constitués par la méthode d'échantillonnage composite à partir d'échantillons simples prélevés au niveau des horizons A₁ et A₃ du sol, situés respectivement de 0 à 25 cm et de 25 à 100 cm de la surface. Les résultats des analyses réalisées sur ces échantillons au niveau du laboratoire de pédologie du Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K) sont présentés dans le tableau 2.

Le sol contient près de 88% du sable avec une faible teneur en C, N, P et K et une forte acidité qui laisse présager un blocage du Phosphore (8). La CEC est très faible à cause des faibles teneurs en argile et en humus.

Objets comparés

Les objets (traitements) étudiés sont: T₀ (manioc pur sans intrant: témoin), T₁ (manioc+maïs sans intrant), T₂ (manioc+engrais minéral), T₃ (manioc+maïs+engrais minéral) et T₄ (manioc+maïs+engrais minéral+biochar). La dose d'engrais minéral testée dans l'essai est de 40 kg de N, 40 kg de P₂O₅ et de 40 kg de K₂O par ha; ce qui correspond à 235 kg d'engrais composé 17-17-17. Cette dose, basée sur l'élément N, est celle recommandé par Pieter *et al.* (18). La quantité de biochar apportée a été de 15 tonnes par ha. C'est la quantité optimale recommandée pour le sol sableux du plateau de Batéké selon Lejoly (communication personnelle).

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental retenu était en Blocs Complets Randomisés (BCR) avec quatre répétitions de cinq objets. La surface des parcelles expérimentales élémentaires était de 126 m² (14 m de long x 9 m de large). Chacune d'elles contenait 126 pieds de manioc de la variété Maribuata (10.000 pieds/ha, 1 m x 1 m) répartis en 14 lignes dont 2 de bordures et, en cas de culture associée, 351 pieds de maïs de la variété Samaru (30.000 plantes/ha, 1 m x 0,33 m) répartis en 13 lignes. Les lignes de maïs alternaient avec celles de manioc, à une distance de 0,5 m l'une de l'autre.

Conduite expérimentale

L'étude s'est déroulée pendant une année, deux mois et trois jours soit du 2 janvier 2012 au 5 mars 2013. La préparation du terrain a consisté à faire un dessouchage, suivi d'un labour à 30 cm de profondeur sans brûlis préalable de la végétation herbacée puis d'un hersage. Le biochar a été broyé finement, tamisé pour obtenir une dimension moyenne des particules inférieure ou égale à 2 mm et mélangé au sol sur une profondeur de 30 cm à la dose de 15 tonnes/ha.

Tableau 1

Précipitations (PP') et température moyenne journalière (t°) observées pendant l'expérience (février 2012 à mars 2013).

Mois	Fév	Mars	Av	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Total
PP (mm)	47,2	210	118	118	0	0	0	86	111,5	407	204,8	80	74	163	1618.95
t (°C)	25	27	26	25	22	21	22	24	26	25	29	26	26	27	

Tableau 2

Composition granulométrique et chimique du sol expérimental.

Horizon	Argile %	Limon %	Sable %	pH Eau	pH KCl	Carbone (%)	Azote (%)	C/N	K ₂ O (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	P ₂ O ₅ (ppm)	CEC (cmol/kg)
A ₁	5,64	6,85	87,51	4,93	4,73	0,92	0,061	15	0,06	0,91	0,52	30	2,031
A ₃	2,56	8,46	88,89	4,77	4,58	0,82	0,064	12,8	0,04	0,82	0,34	18	2,001

(Laboratoire du CREN-K, 2013).

Le NPK a été appliqué le long des lignes des semis du maïs et de plantation de manioc. La totalité de la dose d'engrais a été appliquée au début de l'essai. Le biochar a été incorporé de manière homogène sur l'ensemble de la parcelle une semaine avant l'installation de cultures. Le semis du maïs a été réalisé à raison de 2 graines par poquet. Le démariage a eu lieu deux semaines après le semis pour laisser un seul pied par poquet. La densité de plantes à la récolte correspondait presque qu'à celle prévue au départ. Les travaux d'entretien ont consisté en 5 sarclages combinés aux binages.

Evaluation des rendements

Pour le maïs, la biomasse aérienne a été séchée à l'air libre pendant 2 jours et les graines pendant 4 jours avant pesée. Le rendement du manioc à 9 mois a été évalué sur une des 12 lignes de la parcelle utile c.à.d. en laissant les 2 lignes de bordures. A 12 mois, le rendement a été évalué sur les 10 lignes restantes de la parcelle utile. Après récolte à 9 et à 12 mois, nous avons pesé tous les tubercules de la parcelle utile. On a ensuite prélevé de manière aléatoire un sous-échantillon de 5 tubercules, dans chaque traitement, que nous avons pesé immédiatement, puis épluché, séché d'abord à l'air libre et puis dans l'étuve à 65 °C pendant 24 heures pour avoir le poids sec. La formule I nous a permis de calculer le rendement en tubercules secs.

$$Rdt M.S. = \frac{P.Tub.Parc.U.x10000xP.SecS.E.}{P.Frais.S.E.xSurf.Parc.U.I}$$

Légende: Rdt M.S.= Rendement en Matière Sèche, P. Tub. Parc. U.= Poids tubercules de la parcelle utile, P. Sec= Poids Sec, S.E.= sous échantillon de 5 tubercules, P. Frais= Poids frais, Surf. Parc. U.= surface de la parcelle utile

Analyse du sol

Outre les analyses réalisées sur les deux échantillons de sol prélevés au début de l'expérience (Tableau 2), le pH à eau a été évalué au début de l'essai, à 6 et à 12 mois dans des échantillons prélevés à 30 cm de profondeur selon la méthode des diagonales, puis mélangés pour constituer un seul échantillon composite. L'échantillonnage a été effectué seulement dans les objets sous association culturale (T1, T3 et T4). Le comptage et la pesée de la macrofaune ont été réalisés à titre indicatif.

Analyse des données

Les données récoltées ont été soumises à l'analyse de la variance au seuil de probabilité de 5%, à l'aide du logiciel GenStat.

Ensuite, nous avons procédé à un test de comparaisons multiples des moyennes (LSD) pour déceler les différences entre les traitements.

Analyse économique des traitements

Le bénéfice brut généré par chaque traitement a été calculé en faisant la différence entre le revenu attendu de la vente du manioc et du maïs récoltés et les charges effectives de l'agriculteur au plateau des Batéké. Les charges des travaux réalisés par le paysan et de l'achat des boutures de manioc n'ont pas été prises en compte. Les boutures de manioc sont gratuitement obtenues dans les champs ou chez les voisins. Les travaux réalisés par les paysans se rapportent à la préparation du terrain, la plantation du manioc, le semis du maïs, les sarclages et la récolte. Les charges effectives concernent le prix des engrais chimiques (110\$/50kg). Le prix de la production et de l'incorporation du biochar dans le sol est de (53,33\$/tonne). Les semences de maïs se vendent à 5 \$ US le kg, la tonne de maïs à 700 \$US et celle de manioc à 500 \$US à Ibi. Il faut 10 kg de semences de maïs pour un ha.

Le bénéfice brut de chaque traitement a été divisé par le bénéfice brut du témoin pour calculer l'indice d'acceptabilité ($IA = \text{Bénéfice du traitement} / \text{Bénéfice du témoin}$ (6, 14). Si l'IA est égal ou supérieur à 2, la technologie est facilement adoptée. Entre 1,5 et 2, l'adoption est difficile et en-dessous de 1,5 il y a rejet.

Résultats et discussion

Effet des différents traitements sur les rendements du maïs et du manioc

L'analyse de la variance (AV), au seuil de probabilité de 5%, des données sur les rendements en biomasse et en graines sèches de maïs et sur le rendement en tubercules secs de manioc à 9 et à 12 mois a montré des différences significatives entre les traitements (Tableau 3). Le classement des traitements par ordre décroissant de leur effet sur le rendement du maïs est: $T_4 > T_3 > T_1$. Pour le manioc, le classement des traitements par ordre décroissant sur le rendement est: $T_4 > T_2 > T_3 = T_0 > T_1$.

En l'absence de fertilisation minérale, la variété Samaru, bien qu'adaptée aux caractéristiques du milieu, n'a produit que 1,19 t/ha (14).

Ce qui est assez loin des 1,8 tonnes attendues en bonnes conditions de culture. Il est probable que la faible teneur en azote du sol (<1%) (19, 23) n'a pas permis aux plantes de maïs d'exprimer pleinement leurs potentialités, telles que mentionnées par plusieurs auteurs (2, 4, 17, 26, 27). Toutefois, ce rendement (T_1) reste supérieur à celui obtenu dans le milieu paysan en RDC qui varie entre 0,7 et 0,9 t/ha. Le rendement obtenu avec le traitement T_4 prouve qu'avec l'usage des fertilisants minéraux et du biochar, on peut tripler ($T_4 = 3,7$ t/ha) le rendement du maïs cultivé en association avec le manioc. De plus, le rendement obtenu avec le T_4 (3,7 t/ha) est largement supérieur à ceux obtenus dans la plupart des centres de recherche en RDC actuellement (1500 à 2500 kg/ha).

A 9 et à 12 mois, la culture associée du manioc et du maïs avec application de 40 kg N, 40 kg P_2O_5 et 40 kg K_2O ha⁻¹ et de 15 tonnes ha⁻¹ de biochar (T_4) a donné le meilleur rendement en tubercules secs par rapport aux autres traitements. Ceci serait dû à l'amélioration de la capacité de rétention d'eau et des éléments minéraux par le biochar comme le montre aussi Lehmann *et al* (11). Le rendement obtenu avec le manioc associé au maïs sans apport d'intrants ($T_1 = 2,670$ t/ha) montre qu'avec l'usage de 40 kg N, 40 kg P_2O_5 et 40 kg K_2O ha⁻¹ et de 15 tonnes ha⁻¹ de biochar (T_4), on peut doubler le rendement en tubercules secs de manioc en culture associée avec le maïs ($T_7 = 5,783$ t/ha).

Effet du biochar sur quelques propriétés du sol

On constate une augmentation du pH pour tous les traitements comparés (Tableau 4). Cependant, l'analyse de la variance, au seuil de probabilité de 5%, des données concernant l'évolution du pH du début jusqu'au 12^e mois de l'essai n'a pas montré des différences significatives pour les traitements T_1 (manioc+maïs sans intrant) et T_3 (manioc+maïs+engrais minéral). Par contre, des différences significatives ont été notées, entre le pH du début et ceux mesurés à 6 et à 12 mois pour le traitement T_4 (manioc+maïs+engrais minéral+biochar). Ainsi, le biochar a joué un rôle significatif dans l'augmentation du pH du sol (Tableau 4). Le pH du sol amendé au biochar atteint une valeur proche de la neutralité après 12 mois (Tableau 4).

Tableau 3
Performances des systèmes de culture comparé

Traitement	Facteurs			Rendement du maïs		Rendement du manioc	
	NPK 17-17-17	Culture associée	Amendement	En biomasse en t/ha	En graines en t/ha	A 9 mois en t/ha	A 12 mois en t/ha
T ₀						1,486(0,183)c	3,335(0,225)c
T ₁		Maïs		2,08(0,238)c	1,19(0,216)c	1,214(0,149)c	2,670(0,348)d
T ₂	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀					2,435(0,148)a	4,706(0,204)b
T ₃	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	Maïs		3,76(0,265)b	2,08(0,330)b	1,883(0,208)b	3,271(0,207)c
T ₄	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	Maïs	Biochar	7,14(0,160)a	3,70(0,182)a	2,694(0,153)a	5,783(0,310)a
SP				0,05	0,05	0,05	0,05
P-value				0	0	0	0
CV				5,23	10,8	8,77	6,73

Légende: SP= seuil de probabilité

Tableau 4
Evolution du pH pendant l'essai.

Période d'évaluation	pH eau		
	SNF(T ₁)	SF(T ₃)	SFA(T ₄)
Au début	4,93(0,241)	4,94(0,181)	4,93(0,190)b
A 6 mois	4,95(0,247)	5,11(0,190)	5,62(0,213)a
A 12 mois	5,00(0,193)	5,20(0,282)	6,19(0,347)a
SP	0,05	0,05	0,05
P-value	0,93	0,41	0,003
CV	4,61	4,38	4,66

SNF= Sol non fertilisé (T₁), SF= Sol fertilisé avec le NPK (T₃), SFA= Sol fertilisé avec le NPK et amendé avec le biochar (T₄), Chiffre ()= Ecart type.

NB: Les moyennes non suivies de lettres et les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas différentes au seuil de probabilité de 0,05.

Tableau 5
Analyse économique des traitements.

Traitement	Coût du NPK (\$/-ha)	Coût de biochar (\$/ha)	Coût de semences du maïs	Rdt maïs (tonne/ha)	Rdt manioc (tonne/ha)	Revenu brut maïs (\$/ha)	Revenu brut manioc (\$/ha)	Bénéfice brut (\$/ha)	IA
T ₀	0	0	0	0	3,335		1668	1668	
T ₁	0	0	50	1,19	2,67	833	1335	2118	1,27
T ₂	518	0	0	0	4,706		2353	1835	1,1
T ₃	518	0	50	2,08	3,271	1456	1636	2524	1,51
T ₄	518	800	50	3,7	5,783	2590	2892	4114	2,47

Légende: T₀ (manioc), T₁ (manioc+maïs), T₂ [manioc+ (N₄₀ P₄₀ K₄₀)], T₃ [manioc+maïs+ (N₄₀ P₄₀ K₄₀)], T₄ [manioc+maïs+ (N₄₀ P₄₀ K₄₀) +biochar]. Rdt: Rendement, IA= Indice d'acceptabilité.

Le changement significatif du pH dans le sol amendé avec le biochar devrait avoir des effets sur la disponibilité du Phosphore car, dans les sols tropicaux, ce dernier est bloqué pour des pH inférieurs à 6 et il est disponible pour le pH compris entre 6 et 8 (32). C'est le cas aussi avec les cations du sol tels que le calcium et le magnésium. Nous avons également observé une forte abondance spécifique et numérique de la microfaune du sol dans le sol fertilisé et amendé au biochar (T_4) (données non montrées). Ceci confirme les résultats obtenus par Lehmann *et al.* (11) et Major *et al.* (13) qui montraient que le biochar améliorait le rendement de la culture de l'aubergine dans un sol tropical acide en diminuant le taux d'aluminium bio-disponible et en réduisant l'acidité du sol. Aussi, selon Steiner (24), une disponibilité suffisante en carbone, apportée par le biochar, stimulerait l'activité biologique du sol tout en améliorant le cycle de l'Azote, grâce à une moindre lixiviation des nitrates (13, 24, 28, 32). Ainsi, avec l'apport du biochar, on a augmenté le rendement du maïs de 78% et celui du manioc de 77% (comparaison entre T_4 et T_3). Au regard de la texture du sol, l'augmentation de ces rendements pourrait également être due à l'accroissement du pouvoir de rétention de l'eau et des éléments minéraux causée par le biochar.

Analyse économique des différents traitements

Si on considère les résultats obtenus pour l'indice d'acceptabilité, le traitement T_4 ($IA= 2,47$) devrait être adopté relativement facilement par les agriculteurs pour peu qu'ils aient accès aux intrants nécessaires (Tableau 5). Pour la même dose des fertilisants utilisés, le manioc pur a produit plus des tubercules que le manioc associé au maïs (comparaison entre T_0 et T_1 et T_2 et T_3). Toutefois, tenant compte du bénéfice qu'on peut obtenir par unité de surface, il est avantageux de planter le manioc en association avec le maïs que de le planter en culture pure (Tableau 5).

Conclusion

Les résultats de cette expérience ont montré que la culture associée du manioc avec le maïs est plus rentable que la culture pure du manioc, même si cette association se traduit par une diminution du rendement du manioc par rapport à la culture pure de ce dernier. De plus, l'apport sous forme d'engrais minéral complet de 40 kg de N, 40 kg de P_2O_5 et de 40 kg de K_2O par ha, associé à celui de 15 t/ha de biochar permet de tripler le rendement du maïs et d'environ doubler celui du manioc par rapport aux résultats obtenus sans apport d'intrants. Ces gains de rendement s'expliquent sans doute par les améliorations des propriétés physiques et biologiques du sol d'Ibi induites par l'apport de biochar. Compte tenu de l'ampleur du gain de rentabilité qu'elle génère, l'application de 235 kg/ha de 17-17-17 en combinaison avec 15 t/ha de biochar devrait être relativement facilement acceptée par les agriculteurs. Ceci d'autant plus que l'investissement consenti dans l'apport de biochar devrait se traduire par des gains de rendement répartis sur plusieurs années. La réalisation d'investigations complémentaires sur plusieurs cycles de culture est nécessaire pour confirmer l'intérêt que présente l'incorporation de biochar dans le sol sur le long terme.

Remerciements

Nous remercions l'ERAIFT et la WBI qui ont financé ces recherches.

Références bibliographiques

1. Cayuela M.L., Monedero M., Roig A., Hanley K., Enders A. & Lehmann J., 2013. Biochar and denitrification in soils: when, how much and why does biochar reduce N₂O emissions?, *Sc. Rep.*, **3**, 1732
2. CIMMYT, 2005, The Development and promotion of quality protein maize in sub-saharan Africa. Progress report submitted to the Nippon foundation.
3. Davet P., 1996, *Vie microbienne du sol et production végétale*, INERA, Paris, 383.
4. De Léon C., 1984, Maladies du maïs. Guide d'identification au champ. Mexico DF, CIMMYT;
5. Guerena D., Lehmann J., Hanley K., Enders A., Hyland C. & Riha S., 2013, Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maize-based production system. *Plant Soil*, **365**, 239-254.
6. Jama B., Palm C.A., Buresh R.J., Niang A.I., Gachengo C. & Nziguheba G., 2000, *Tithonia* as a green manure for soil fertility improvement in Western Kenya: a review, *Agrofor. Syst.*, **49**, 201-221.
7. Joseph S.D., Camps-Arbestain M., Lin Y., Munroe P., Chia CH., Hook J., Van Zwieten L., Kimber S., Cowie A., Singh B.P., Lehmann J., Foidl N., Smernik R.J. & Amonette J.E., 2010, An investigation into the reactions of biochar in soil. *Austr. J. Soil Res.*, **48**, 501-515
8. Kadiata B.D. & Lumpungu K., 2003, Differential phosphorus uptake and use efficiency among selected nitrogen-fixing tree legumes over time, *J. Plant Nutr.*, **26**, 1009-1022.
9. Kasulu V. & Hamel O., 2008, *Boisements privés sur les plateaux de Batéké et terres dégradées du bas Congo pour l'approvisionnement en bois énergie de l'agglomération de Kinshasa*. Projet de PIN (Project Idea Note) 19.
10. Kimetu J.M. & Lehmann J., 2010, Stability and stabilization of biochar and green manure. In: Soil with different organic carbon contents, *Austr. J. Soil Res.*, **48**, 577-585
11. Lehmann J., Gaunt J. & Rondon M., 2006, Biochar sequestration in terrestrial ecosystems a review. *Mitigation and Adaptation Strategies Global Change*, **11**, 403-427
12. Lumpungu K., 2008, *Rapport final sur le système national de recherche agronomique en République Démocratique du Congo*. Analyse de la situation, 8-9.
13. Major J., Rondon M., Molina D., Riha S. & Lehmann J., 2010, Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol, *Plant Soil*, **333**, 117-128.
14. Ministère de l'agriculture, 2008, *Catalogue variétale des cultures vivrières : maïs, riz, haricot, arachide, soja, niébé, manioc, patate douce, pomme de terre et banane*. RDC.
15. Muna-Mucheru M., Mugendi D., Kung'u J., Mugwe J. & Bationo A., 2007, Effects of organic manure and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District, Kenya, *Agrofor. Syst.*, **69**, 189-197.
16. Oleszczuk P., Hale S., Lehmann J. & Cornelissen G., 2012, Activated carbon and biochar amendments decrease pore-water concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge, *Biores. Technol.*, **111**, 84-91
17. Paliwal R.L., 2002, *Introduction au maïs et son importance*. In: *Le maïs en zones tropicales: amélioration et production*. Collection FAO. Pp.1-3.
18. Pieter P., Bimponda W., Lodi-Lama J.P., Lele B., Mulumba R., Kachaka C., Boeckx P., Merckx R. & Vanlauween B., 2012, Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable Cassava Production Cassava production. *Agron. J.*, **104**, 1, 178-187
19. Planet P., Lubet E., Desvignes P. & Sombrum F., 1990, *Fertilisation azoté et composantes du rendement du maïs: effet des niveaux et des modalités d'apport*. In: *Physiologie et production de maïs*. Picard, D. (éd), 1991. INERA, France. Paris, 367-382;
20. Ruganzu V., 2009, *Potentiel d'amélioration de la fertilité des sols acides par l'apport de biomasses végétales naturelles fraîches combinées à du travertin au Rwanda*, Thèse de doctorat, Gembloux Agro Biotech/ Université de Liège, 215.

21. Sanginga N.B., Ibewiro P., Houngnandan B., Vanlauwe J.A., Okogun I.O., Akobundu & Verster, 1990, Evaluation of symbiotic properties and nitrogen contribution of *Mucuna* growth in the derived Savanna of West Africa, *Plant Soil*, **179**, 119-129.
22. Serpantié G., 2009, L'agriculture de conservation à la croisée des chemins (Afrique, Madagascar). *Vertigo*, **9**, 3, 12.
23. Soltner D., 1996, *Les bases de la production végétale. Tome 1: le sol et son amélioration*, 26^è édition. Collection Sciences et techniques agricoles. ISBN: 2- 907710-16-8. 464.
24. Steiner C., Teixeira WG., Lehmann J., Nehls T., Macedo JL.;V., Blum WEH. & Zech W., 2007, Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil*, **291**, 275-290.
25. Uyo Ybesere E.O. & Elemo K.A. 2000. Effect of inorganic fertilizer and foliage of *Azadirachta* and *Parkia* species on the productivity of early maize, *Niger. J. Soil Res.*, **1**, 17-22.
26. Van Den Berghe C., Theeten D. & Totognon J., 1990, Comparative responses of two maize varieties to fertilizers on a newly cleared ferrallitic soil in southern Benin Economic Analysis, *Tropicultura*, **8**,1, 3-8.
27. Violic A.D., 2002, *Gestion intégrée de la culture. In: le maïs en zones tropicales: Amélioration et production*. Collection FAO 2002. Pp. 251-299.
28. Warnock DD., Lehmann J., Kuyper TW. & Rillig MC., 2007, Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms, *Plant Soil*, **300**, 9-20.
29. Whitman T., Nicholson C.F., Torres D. & Lehmann J., 2011, Climate change impact of biochar cook stoves in Western Kenyan farm households: System dynamics model analysis. *Environ. Sci. Technol.*, **45**, 3687-3694.
30. Whitman T., Scholz S. & Lehmann J., 2010, Biochar projects for mitigating climate change: an investigation of critical methodology issues for carbon accounting. *Carbon Manage.*, **1**, 89-107.
31. Woolf D., Amonette J.E., Street-Perrott F.A., Lehmann J. & Joseph S., 2010, Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Commun.*, **1**,56. (climatechange.cornell.edu/soil-biogeochemistry-and-soil-fertility-management).
32. Zhang W., Niu J., Morales V.L., Chen X., Hay A.G., Lehmann J. & Steenhuis T.S., 2010, Transport and retention of biochar particles in porous media: effect of pH, ionic strength, and particle size, *Ecohydrol.*, **3**, 497-508.

B. Lele, Congolais (RDC), Doctorant, Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, R.D. Congo.

J. Lejoly, Belge, PhD, Professeur Emérite, Université Libre de Bruxelles, Belgique; Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, R.D. Congo; ONG Groupe d'Initiatives pour l'Agroforesterie en Afrique, Kinshasa, R.D. Congo.

C. Kachaka, Congolais (RDC), PhD, Professeur, Doyen de la Faculté, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles, Kinshasa, R.D. Congo.

Culture d'une légumineuse et d'une céréale dans le système zaï avec différents amendements organo-minéraux - productivité et impact sur les propriétés biologiques d'un sol ferrugineux dégradé dénudé en Région nord soudanienne au Burkina Faso

D. Some^{1*}, E. Hien^{1, 2}, K. Assigbetse³, J.J. Drevon⁴ & D. Masse³

Keywords: Compost- Manure- Phosphate- Cowpea- Sorghum- Zaï- Soil biological activity- Burkina Faso

Résumé

Le zaï est une pratique agricole qui permet la mise en culture de sols dégradés abandonnés. Une expérimentation a été conduite de 2006 à 2012 au Burkina Faso pour évaluer l'impact de cette pratique sur la production de sorgho et de niébé, ainsi que sur les propriétés biologiques des sols. L'essai a été installé selon un dispositif factoriel en blocs de Fisher. Les parcelles expérimentales ont été cultivées en continu, les cultures recevant différents types d'apport organique (fumier, compost) et minéral (phosphate naturel). Les résultats ont montré que l'apport de fumier et de compost simples augmente significativement la production des deux cultures. L'addition de phosphate naturel (2 t.ha^{-1}) au compost (3 t.ha^{-1}) et au fumier (3 t.ha^{-1}) accroît les rendements en grains du niébé de 70 et 80% et du sorgho de 88 et 160% par rapport à des apports de compost et fumier seuls. L'activité biologique du sol n'a pas été influencée par le type de culture mais plutôt par les apports organo-minéraux. La combinaison du phosphate naturel au fumier a eu un effet particulièrement positif sur l'activité biologique du sol. L'apport de phosphate naturel associé à des matières organiques apparaît donc essentiel pour maintenir la production végétale et les propriétés des sols.

Résumé

Legume and Cereal Cropping in Zaï System with Different Organo-mineral Amendments - Productivity and Impact on Biological Properties of Degraded Bare Alfisol in North Sudanian Zone of Burkina Faso

Zaï is an agricultural practice that allows the cultivation of abandoned degraded soils. An experiment was conducted from 2006 to 2012 in Burkina Faso to assess the impact of this practice on the production of sorghum and cowpea, as well as on the biological properties of soils. The experiment was set up according to a factorial experimental design in Fischer blocks. The crops were grown in the trial, received different types of organic (manure, compost) and mineral (rock phosphate) input. The results showed that the intake of simple manure and compost significantly increased the yield of the two crops. The addition of phosphate (2 t.ha^{-1}) to compost (3 t.ha^{-1}) and to manure (3 t.ha^{-1}) increased the yields of cowpea and sorghum respectively by 70 to 80% and 88 to 160% compared to sole compost and manure applications. The biological activity of the soil was not influenced by the type of crop but rather by organo-mineral intakes. The combination of rock phosphate to manure had a particularly positive effect on soil biological activity. The natural phosphate intake associated with organic matter therefore appears essential to maintain crop production and soil properties.

¹Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre, Ouagadougou 03, Burkina Faso.

² IRD, UMR Eco & Sols, Ouagadougou, Burkina Faso.

³ IRD, UMR Eco & Sols, LEMSAT Bel-Air, Dakar, Sénégal.

⁴ UMR Eco & Sols, Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agroécosystèmes, Montpellier, France.

*Auteur correspondant: E mail: d.some@yahoo.fr

Introduction

Depuis plusieurs décennies, la pression sur les terres cultivées s'est amplifiée pour faire face aux besoins alimentaires d'une population de plus en plus nombreuse. Des pratiques inappropriées permettant des productions élevées à court terme mais ne tenant pas compte du maintien des propriétés des sols ont malheureusement entamé le potentiel agronomique de nombreuses terres. Le Plateau Central du Burkina Faso, plus particulièrement la Région Nord, n'a pas échappé à ce phénomène. Il est marqué par une forte dégradation des sols se manifestant par l'apparition de vastes plages dénudées où rien ne pousse et appelées localement "zipellas". Ces glaciés dénudés occupent depuis des décennies une proportion importante de la zone (20, 27, 29). Ils sont caractérisés par une compaction et un encroûtement de l'horizon de surface limitant la circulation de l'eau dans le sol, une baisse de la fertilité chimique et biologique se traduisant par une diminution de la productivité végétale (29, 30).

La pression démographique élevée et continue dans ces régions a entraîné des besoins en terre supplémentaires (21). Les agriculteurs ont développé des pratiques agricoles permettant d'exploiter ces terres à faible productivité végétale (5, 25). Ancienne pratique traditionnelle, le "*zaï*" a été ainsi reconsidéré et relancé depuis les années quatre-vingt (5). Selon Botoni et Reij (8), il serait appliqué sur environ 200.000 à 300.000 ha de terres dans la région du Plateau Central au Burkina Faso. Le *zaï* consiste à creuser préalablement au semis de petites cuvettes d'une trentaine de centimètre de diamètre et de 5 à 10 cm de profondeur. La terre excavée est placée en aval de la cuvette. La matière organique est apportée dans la cuvette sous forme de fumier et la graine est semée plus tard. Le champ présente alors un ensemble de cuvettes disposées le long d'une ligne, et en quinconce d'une ligne à l'autre de façon à capter le maximum de ruissellement. Il est à noter que cette pratique est souvent associée à un contrôle du ruissellement par un dispositif de cordons pierreux selon les courbes de niveau à l'échelle du petit bassin versant dans lequel se situent les champs cultivés de cette façon.

Plusieurs auteurs ont décrit l'effet du *zaï* sur les rendements qui non seulement permet d'obtenir une production de céréale là où elle était totalement nulle sans aménagement, mais également d'améliorer les rendements obtenus par rapport à des productions plus conventionnelles (25, 28, 29, 31). Les matières organiques introduites dans la cuvette constituent un apport en éléments nutritifs direct pour la plante mais également une source d'éléments nécessaires à une relance de l'activité biologique. Cette dernière est une composante essentielle de la fertilité du sol en agissant d'une part, sur le stock d'éléments minéraux assimilables par la minéralisation de la matière organique et d'autre part, sur la structure du sol sous diverses formes. Les matières organiques offrent également une nourriture pour la mésofaune et la macrofaune du sol qui, attirées par ces produits créent une nouvelle porosité dans laquelle l'eau peut s'infiltrer (25) et sont susceptibles de produire des effets en cascade sur les propriétés de ces sols dégradés. Par ailleurs, les sols de cette région présentent de façon générale des carences en phosphore (14). C'est un élément majeur indispensable au développement des plantes, et il est souvent nécessaire de procéder à des apports de phosphore minéral. La fertilisation phosphatée influence en outre l'activité biologique du sol (6). Les phosphates naturels présents dans la région sont une source de phosphore mais difficilement soluble et donc offrant peu de disponibilité d'ions phosphatés. La combinaison de ces phosphates naturels à des matières organiques notamment à travers leur apport dans les composts est une technique souvent proposée par le développement agricole (3, 15, 23). La plupart des connaissances acquises sur la pratique du *zaï* sont issues d'observations ponctuelles sur des champs d'agriculteurs, ou d'expérimentations sur le court terme. Peu d'études sur le moyen terme ont été menées. On peut se poser la question de l'évolution dans le temps des effets bénéfiques de ces pratiques sur la production végétale. Une expérimentation a été conduite de 2006 à 2012 au Burkina Faso où différentes formes d'apports organiques associés ou non à des apports de phosphate naturel ont été testés. Le sorgho, principale céréale cultivée a été la plante test.

Dans les mêmes conditions expérimentales une culture de niébé a été également testée. En effet, peu d'études sur le *zai* concernaient cette plante. L'effet positif des légumineuses, associées aux processus de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, est reconnu pour améliorer la productivité des milieux cultivés ou non cultivés (4). Il était nécessaire d'évaluer également cette production végétale dans une pratique de *zai*. L'étude a eu pour objectif d'une part, d'évaluer l'impact de l'association de phosphate naturel à la fumure organique dans le système *zai* sur les productions du niébé et du sorgho et de mesurer l'impact des deux systèmes de culture sur les propriétés biologiques du sol d'autre part.

Matériel et Méthode

Site expérimental

L'étude a été conduite à Pougyango (12°58' N; 2°09' W) dans la Région Nord du Burkina Faso. Le climat est de type Nord Soudanien (19) avec deux saisons bien marquées: une saison sèche allant d'Octobre à Mai et une saison pluvieuse qui s'étend de Juin à Septembre. La pluviosité moyenne annuelle est comprise entre 600 et 900 mm. La pluviosité relevée entre 2006 et 2012 varie entre 564 et 1029 mm. Elle présente une grande variabilité inter et intra annuelle. Elle est particulièrement marquée par des arrêts précoces des pluies en 2007 et 2011, années ayant du reste enregistré les plus faibles quantités de pluies (Figure 1). L'essai a été conduit sur un sol ferrugineux tropical lessivé [Lixisol ferrique (18)] induré, et souvent superficiel à peu profond de 18 à 26 cm (16), caractérisé par une structure massive et une texture de type limon argileux. Situé sur glacis pente moyenne, c'est un sol entièrement dénudé et encroûté (zipellé en langue mooré). L'état de surface général est de type ERO, présentant une croûte très compacte, imperméable à l'eau (11).

Les facteurs testés

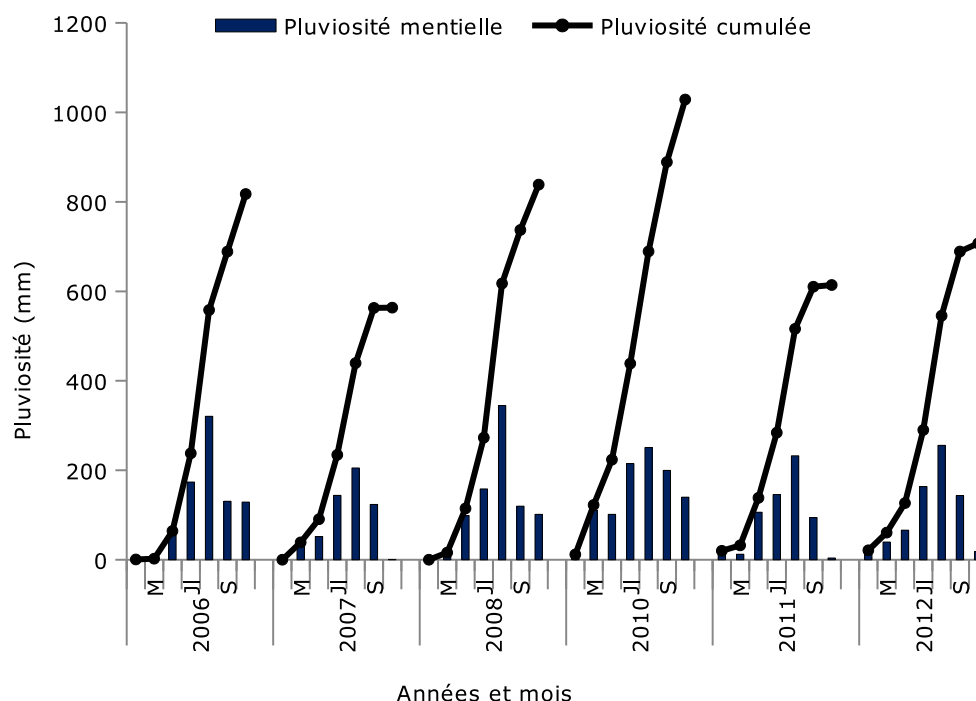
Deux plantes cultivées ont été testées: une légumineuse, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (variété KVX-61) appelée localement niébé avec un rendement grain potentiel estimé à 1500 kg.ha⁻¹ et un rendement grain moyen en milieu paysans à 800 kg.ha⁻¹; la deuxième plante est une céréale, le

sorgho (*Sorghum bicolor* (L.)), variété ICSV 1049 dont le rendement grain potentiel est estimé à 4 t.ha⁻¹ et le rendement grain moyen en milieu paysans de 1 à 1,5 t.ha⁻¹. Ces deux variétés améliorées sont produites par l'INERA (institution Nationale de l'Environnement et de la Recherche Agricole) au Burkina Faso.

Les amendements testés étaient le fumier, le compost et le phosphate naturel. Conformément à l'usage courant des producteurs de la zone, le fumier utilisé est un fumier de parcs de bovins. Ses caractéristiques chimiques moyennes sont: C: 147,3 g.kg⁻¹; N: 16,7 g.kg⁻¹; C/N: 9,3; P₂O₅: 2,3 g.kg⁻¹; K₂O: 16,2 g.kg⁻¹; MgO: 6,7 g.kg⁻¹; CaO: 7,6 g.kg⁻¹.

Le compost est produit à base de mélange de substrats divers (déchets ménagers, restes des résidus de pailles ayant servi d'aliment de bétail, fèces d'animaux). Sa composition chimique moyenne est: C: 106,3 g.kg⁻¹; N: 7,7 g.kg⁻¹; C/N: 14,0; P₂O₅: 0,9 g.kg⁻¹; K₂O: 9,6 g.kg⁻¹; MgO: 5,1 g.kg⁻¹; CaO: 4,2 g.kg⁻¹.

Le phosphate naturel utilisé était celui des mines de Kodjari finement broyé, produit et vendu dans le commerce sous le nom de Burkinaphosphate. Ses caractéristiques chimiques sont: P₂O₅: 25,43%; K₂O: 0,3 %; CaO: 34,61%; MgO: 0,18%; solubilité dans l'eau: 0,03% (Source: Projet Phosphate). Six traitements au total ont été testés sous culture de sorgho d'une part et de niébé d'autre part. Ces traitements se distinguaient par la présence de *zai* ou non et par l'application ou non de différents amendements organiques ou minéraux dans les poquets de *zai*. Ce sont, TA: Témoin absolu (semis direct sans creusement de *zai* et sans amendements); ZS: *Zai* simple (creusement de poquets de *zai* sans apport de fumure); ZC: *Zai* + compost à 3 t.ha⁻¹ (67 g /poquet); ZF: *Zai* + fumier à 3 t.ha⁻¹ (67 g /poquet); ZCP: *Zai* + compost à 3 t.ha⁻¹ + phosphate naturel à 2 t.ha⁻¹ (40 g/poquet) et ZFP: *Zai* + fumier à 3 t.ha⁻¹ + phosphate naturel à 2 t.ha⁻¹ (40 g/poquet). Les quantités des amendements sont exprimées en tonne de matière sèche (MS) par hectare. Il n'y a pas de restitution des résidus de récoltes. La paille et les fanes sont entièrement exportées chaque année.



A= Avril; M= Mai; J= Juin; JI= Juille; At= Août; S= Septembre; O= Octobre.

(Source: Direction provinciale de l'Agriculture du Passoré).

Figure 1: Evolution de la pluviosité de Yako entre 2006 et 2012.

Dispositif expérimental et traitements

L'essai a été mis en place de 2006 à 2012 avec une interruption en 2009. Les parcelles ont été cultivées en continu avec la même plante (niébé ou sorgho) et ont reçu les mêmes traitements pendant les six campagnes.

Le dispositif mis en place était un plan factoriel en blocs de Fisher à 2 facteurs et trois répétitions. Les facteurs testés étant le type de culture (niébé ou sorgho) et le type d'amendement. Les répétitions ont été matérialisées par trois blocs séparés par des allées de 5 m. Chaque bloc renfermait deux sous blocs: un sous bloc de culture pure de niébé en continu et un sous bloc de culture pure de sorgho en continu. Les parcelles élémentaires avaient une superficie de 20 m² (5 m x 4 m) et étaient séparées par des allées de 1 m. Les poquets ont été creusés suivant un rayonnement croisé de 0,5 m; soit une densité de semis de 50 cm entre les lignes et sur les lignes. Ils avaient une profondeur de 10 à 15 cm sur un diamètre de 20 à 25 cm. Les mêmes poquets sont rouverts chaque campagne. Les travaux d'entretien se limitent à un désherbage manuel ou à un sarclage en cas de nécessité. Un cordon pierreux a été aménagé en amont pour freiner la vitesse du ruissellement.

Mesure des rendements

Les rendements en grains ont été mesurés par pesée avec une balance de précision de portée maximale de 5,1 kg (METTLER PJ4000-F). Pour la paille et les fanes, une pesée a été réalisée au champ à l'aide d'un peson (SALTER) de portée maximale de 25 kg; des échantillons ont été prélevés, pesés à l'aide de la balance de précision et séchés à l'étuve à 70 °C pendant 48 h pour déterminer le taux d'humidité. Les rendements sont exprimés en quantité de MS par hectare.

Echantillonnage du sol

Les prélèvements du sol ont été faits dans les poquets et sur toutes les parcelles à la récolte, en fin de campagne 2012. Les échantillons ont été prélevés dans la couche 0-15 cm au niveau de 3 poquets le long d'une diagonale de chaque parcelle élémentaire. Une aliquote de chaque échantillon a été conservé au froid (<4 °C) pour la mesure de la biomasse microbienne. Les aliquotes restantes des trois échantillons élémentaires par parcelle ont été mélangées pour former un échantillon composite. Les échantillons ont été ensuite séchés à l'air libre sous abris avant d'être tamisés à 2 mm puis conservés à température ambiante. Ces derniers ont servi à la mesure de la respiration du sol.

Mesures de l'activité microbienne du sol

Pour la respiration du sol, deux grammes de chaque échantillon de sol sont placés dans un tube en verre et humecté avec 700 µl d'eau distillée. Les tubes fermés hermétiquement sont incubés à la température ambiante. Chaque échantillon est répété 3 fois. La première mesure du dégagement a été faite après quatre heures d'incubation. Les autres mesures ont été faites toutes les 96 heures pendant deux semaines. Les mesures de C-CO₂ ont été effectuées à l'aide d'un respiromètre IRGA. La biomasse microbienne a été déterminée par la méthode de fumigation-extraction (Amato et Ladd, 1988). Elle repose sur le dosage de l'azote α-aminé libéré par les parois des microorganismes par colorimétrie à la ninhydrine. Les prises d'essai sont de 20 g de sol frais. Chaque échantillon est répété 3 fois. Les échantillons sont fumigés par des vapeurs de chlorophorme pendant 10 jours à 20 °C. L'extraction des échantillons fumigés et non fumigés s'est faite après agitation pendant une heure dans 75 ml de solution de KCl 2M. La biomasse exprimée en C biomasse est calculée en multipliant le gain d'azote (N α-aminé dosé après 10 jours d'incubation sous atmosphère saturée en chlorophorme -Na-aminé avant la fumigation) par le facteur 21. Les résultats sont exprimés en mg C.kg⁻¹ sol sec.

Analyse statistique

Une analyse de variance des données a été faite à l'aide du logiciel CoStat 6.4. La séparation des moyennes a été réalisée par le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

Résultats

Rendements du niébé et du sorgho

Les rendements en grains ont fortement variés en fonction des années (Tableau 1). Les rendements en grains du sorgho étaient nuls en 2007 puis en 2011. Les meilleurs rendements en grains du sorgho ont été obtenus en 2012 avec une moyenne tout traitement confondu de 1.136 kg.ha⁻¹. Au niveau de la culture du niébé, les mêmes observations ont été faites. Les rendements en grains ont été nuls en 2006. Les rendements en grains du niébé les plus élevés ont été observés en 2010 avec une moyenne tout traitement confondu de 746 kg.ha⁻¹.

Quelle que soit la culture, en absence de *zaï* et sans apport organique ou minéral, les rendements étaient quasiment nuls. Dans les conditions du *zaï* sans amendement (ZS) la production du niébé était significativement supérieure au traitement sans *zaï* (TA) avec une accentuation de cet effet lors des bonnes années pluviométriques. Concernant le sorgho, la production en grains sous ZS a été très faible les premières années mais a eu tendance à augmenter au cours du temps pour atteindre une valeur moyenne de 588 kg.ha⁻¹ à la dernière campagne.

Quelle que soit la culture, l'apport du compost et du fumier simples (ZF et ZC) a entraîné une augmentation significative des rendements en grains au niveau des deux cultures par rapport au traitement ZS. Mais cet effet positif apparaissait beaucoup plus important avec le fumier qu'avec le compost. Dans le cas du sorgho, le rendement en grains moyen toutes années confondues du traitement ZC n'était pas significativement différent du traitement ZS. En revanche, la moyenne du rendement grain du traitement ZF augmentait de 104% à 113% selon les années par rapport au traitement ZS. Concernant la culture du niébé, l'augmentation des rendements en grains due à l'apport du fumier ou du compost par rapport au traitement ZS était encore plus prononcée. Elle variait respectivement de 49% à 181% selon les années pour le traitement ZC, et de 57% à 439% pour le traitement ZF.

L'apport du phosphate naturel dans le fumier (ZFP) et dans le compost (ZCP) a amélioré significativement les rendements en grains des deux cultures.

L'augmentation due au phosphate était plus importante en mauvaise campagne qu'en année de bonne campagne pluviométrique. Au niveau du niébé, l'augmentation des rendements en grains du traitement ZFP était de 65% en bonne campagne (2010) et de 98% en mauvaise campagne (2007) par rapport au traitement ZF. L'augmentation due au traitement ZCP par rapport à ZC était de 38% en bonne campagne (2010) et de 224% en mauvaise campagne (2007).

Des effets équivalents étaient observés avec la culture de sorgho.

L'effet moyen du *zaï* sans aucun amendement était de +254 kg.ha⁻¹ (SE±54 kg.ha⁻¹) pour le niébé et +302 kg.ha⁻¹ (SE±29 kg.ha⁻¹) pour le sorgho (Figure 2). Le fumier est apparu plus efficace que le compost sur l'augmentation du rendement obtenue avec les apports organiques seuls comparativement au *zaï* sans apport: +73% pour le compost et +131% dans le cas de la culture du niébé. Cet effet était plus élevé dans le cas de la culture de sorgho:

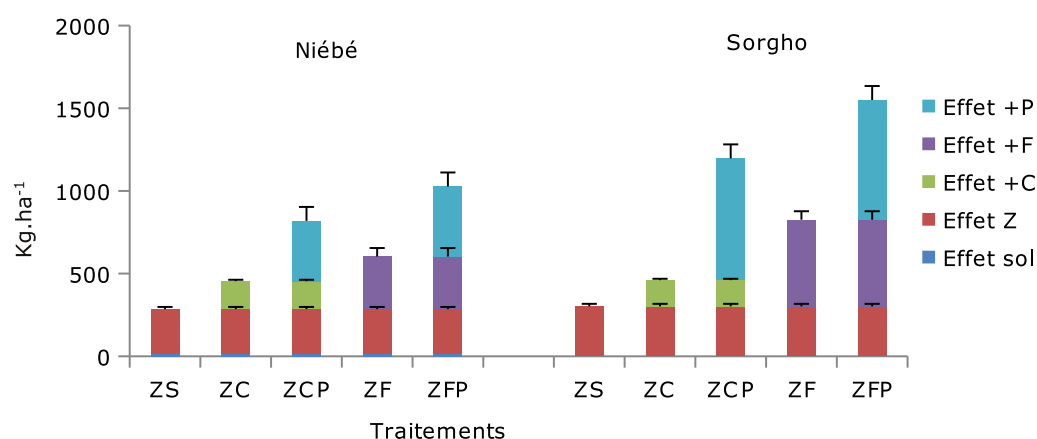
+53% pour le compost et +173% pour le fumier. Concernant l'addition des phosphates naturels, alors que sous niébé il apportait pour le traitement compost un gain de +70% et pour le traitement fumier un gain de 80%; ce gain était amplifié sous culture du sorgho avec une augmentation moyenne de +160% dans les traitements compost additionné de phosphate naturel contre un gain moyen de +88% dans le cas des *zaï* avec fumier.

Tableau 1

Rendements en grains et en fanes/paille du niébé et du sorgho (kg.ha⁻¹) et analyse de variance (ANOVA) des facteurs testés sur l'expérimentation de Pouyango au Burkina Faso entre 2006 et 2012.

Traitements	Rendement en grains (kg.ha ⁻¹ de MS)						Rendement en fanes (kg.ha ⁻¹ de MS)					
	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2006	2007	2008	2010	2011	2012
ZFP	ne	895a	895a	1318a	733a	1217a	2513a	2158a	2992a	3743a	2063a	3375a
ZCP	ne	657b	780a	1048b	602a	930b	1885b	1683b	2340b	3183ab	1863a	2690b
ZF	ne	453b	572b	800c	388b	725bc	1315c	1567b	1927bc	2652bc	1643a	2330b
ZC	ne	203c	425c	757c	240bc	568cd	837c	1017c	1373c	2193c	1112b	1483c
ZS	ne	72 c	248d	508 d	122cd	397d	655c	433d	690d	1478d	808b	1091c
TA	ne	0 c	5 e	42 e	0 d	30 ^e	0.2d	00 e	43 d	152 ^e	128c	168d
Moyenne	ne	380c	488bc	746a	348c	644ab	1201c	1143c	1561bc	2234a	1270c	1856ab
ANOVA												
F pr.	ne	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1
LSD	ne	221	127	231	168	225	563	433	648	692	479	521
CV	ne	32	14	17	27	19	26	21	23	17	21	15
Sorgho												
Traitements	Rendement en grains (en kg.ha ⁻¹ de MS)						Rendement en paille (en kg.ha ⁻¹ de MS)					
	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2006	2007	2008	2010	2011	2012
ZFP	992a	ne	967a	1860a	ne	2380a	7270a	5633a	6854a	6590a	6930a	7820a
ZCP	495 b	ne	708ab	1642a	ne	1943a	4213b	4133a	5897a	5908b	5270b	6218b
ZF	440 b	ne	525 bc	1135b	ne	1203b	4638b	4383a	5802a	5500b	4260bc	6268b
ZC	48 c	ne	435 bc	657c	ne	702bc	2298c	2700b	3375b	4563c	3572bc	5348c
ZS	0 c	ne	247 cd	372c	ne	588bc	1717c	1733b	2005c	4008c	2732c	4185d
TA	0 c	ne	0 d	0 d	ne	0 c	00 d	00 c	24 d	00 d	00 d	00 ^e
Moyenne	329c	ne	480c	944b	ne	1136a	3356b	3097b	3993ab	4428ab	3794ab	4973a
ANOVA												
F pr.	<000.1	ne	<000.1	<000.1	ne	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1
LSD	236	ne	314	310	ne	678	1334	1233	1237	641	1603	682
CV	39	ne	36	18	ne	33	22	22	17	8	23	8

Les traitements affectés de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% (Newman-Keuls). ZF: *zaï* + fumier; ZFP: *zaï* + fumier + phosphate naturel; ZC: *zaï* + compost; ZCP: *zaï* + compost + phosphate naturel; ZS: *zaï* simple sans amendement; TA: témoin sans *zaï* ni amendement; F pr: niveau de signification au seuil 5%; LSD: plus petite différence significative; CV: coefficient de variation. ne: non évalué; MS: matière sèche.



Modèle établi à partir d'une expérimentation au champ, réalisée entre 2006 et 2012 au Burkina Faso, avec deux facteurs testés: type de culture (niébé ou sorgho), *zaï* avec différents amendements organique ou minéral.

Les barres d'erreur représentent la «standard error». ZS: *zaï* simple sans amendement; ZC: *zaï* + compost; ZCP: *zaï* + compost + phosphate naturel; ZF: *zaï* + fumier; ZFP: *zaï* + fumier + phosphate naturel.

Figure 2: Rendement moyen d'une culture de niébé ou de sorgho et effets moyens relatif au sol seul, à la technique de *zaï* seul, à l'application de compost, de fumier associé ou non à du phosphate naturel.

Les rendements en fanes et en paille ont suivi la même tendance que les rendements en grains. Comme les rendements en grains, ils ont fortement variés en fonction des années. Les meilleurs rendements en paille du sorgho ont été obtenus en 2012 avec une moyenne tout traitement confondu de 4973 kg.ha⁻¹. Au niveau de la culture du niébé, les rendements en fanes les plus élevés ont été observés en 2010 avec une moyenne tout traitement confondu de 2234 kg.ha⁻¹.

Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec les traitements ZFP (3743 kg.ha⁻¹ pour le niébé et 7820 kg.ha⁻¹ avec le sorgho) et ZCP (3183 kg.ha⁻¹ avec le niébé et 6218 kg.ha⁻¹ pour le sorgho).

Mais quelque soit la culture et l'année, il n'y a pas de différence significative entre les traitements au fumier simple (ZF) et au compost additionné au phosphate (ZCP).

Les rendements au niveau de TA étaient nuls au niveau de la culture du sorgho sur la quasi-totalité

des années. Par contre, avec le niébé, ils ont été nuls à quasi nuls seulement les deux premières campagnes.

Respiration du sol

Au terme de douze jours d'incubation, les valeurs moyennes cumulées de CO₂ dégagé étaient de 1059 mg de C-CO₂.kg⁻¹ de sol dans les parcelles sous culture de niébé et de 1088 mg de C-CO₂.kg⁻¹ de sol dans celles cultivées en sorgho. Ces valeurs sont statistiquement homogènes (Tableau 2).

Dans les conditions expérimentales, les sols du traitement ZS ont dégagé des quantités de CO₂ significativement supérieures (+54% pour la culture de niébé, et +86% sous culture de sorgho) par rapport à ceux du traitement TA.

L'apport de compost et de fumier dans le *zaï* (ZC, ZF) a entraîné également une augmentation des quantités de CO₂ dégagé par rapport au sol du traitement ZS: de 16 à 31% sous niébé et de 50 à 56% sous culture de sorgho. Entre ZC et ZF il n'y a pas de différence significative.

Tableau 2

Dégagement cumulé de CO₂ après 12 jours d'incubation en conditions contrôlées et biomasse microbienne sur les sols après 6 années d'expérimentation de technique zaï sous des cultures de sorgho et niébé et analyse de variance (ANOVA) des facteurs testés.

Traitements	Respiration	Biomasse microbienne	
	mg C _{CO2} .kg ⁻¹ de sol	mg C _{mic} .kg ⁻¹ sol	g C _{mic} .kg ⁻¹ C _{sol}
Niébé			
ZFP	1571a	61,1a	4,5
ZF	1126 bc	48,6 b	3,5
ZCP	1247 b	46,1 b	3,8
ZC	998 bc	35,5 b	3
ZS	859 c	8,2 c	0,8
TA	556 d	4,9 c	0,4
Sorgho			
ZFP	1850a	76,6a	5,6
ZF	1196 b	49,1 b	3,5
ZCP	1158 b	44,8 b	3,9
ZC	1148 b	38,7 b	3,3
ZS	765 c	15,9 c	1,7
TA	412 d	2,7 c	0,3
Moyenne			
Niébé	1059 a	34 a	
Sorgho	1088 a	38 a	
ANOVA			
Niébé			
F pr.	<000,1	<000,1	
LSD	2583	10,8	
CV	13,4	17,4	
Sorgho			
F pr.	<000,1	<000,1	
LSD	298,6	20,9	
CV	15,1	30,3	
Niébé-Sorgho			
F pr.	<000,1	<000,1	
LSD	132	13,2	
CV	14,3	25,4	

Les traitements affectés de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% (Newman-Keuls). ZF: zaï + fumier ; ZFP: zaï + fumier + phosphate naturel; ZC: zaï + compost; ZCP: zaï + compost + phosphate naturel; ZS: zaï simple sans amendement; TA: témoin sans zaï ni amendement; F pr: niveau de signification au seuil 5%; LSD: plus petite différence significative; CV: coefficient de variation.

L'addition du phosphate naturel au compost (ZCP) n'a pas eu d'effet significatif par rapport à l'apport de compost uniquement (ZC). En revanche, l'addition du phosphate au fumier (ZFP) a entraîné une augmentation des quantités de CO₂ dégagé. Quelle que soit la culture, le dégagement cumulé de CO₂ était significativement plus intense dans le traitement ZFP par rapport à l'ensemble des autres traitements.

Biomasse microbienne

La biomasse microbienne variait de 0,03 à 0,56% du carbone total du sol sur l'ensemble des traitements (Tableau 2). Les moyennes de la biomasse microbienne du sol n'étaient pas significativement différentes entre les deux types de culture: 34 mg C.kg⁻¹ de sol sous cultures de niébé et 38 mg C.kg⁻¹ de sol en culture de sorgho. Le traitement ZS n'a pas eu d'effet significatif sur la biomasse microbienne par rapport au témoin TA que ce soit sous culture de niébé ou de sorgho. L'apport des matières organiques (ZC, ZF) a entraîné une augmentation significative de la biomasse microbienne du sol par rapport au traitement ZS: sous culture de niébé, l'augmentation par rapport à ZS est d'environ 6 fois avec ZF et 4 fois avec ZC; sous sorgho, elle est d'environ 3 fois pour ZF et 2 fois avec ZC. La différence entre les types de matière organique, compost et fumier n'était pas significative quelle que soit la culture. L'addition du phosphate naturel au compost (ZCP) n'a pas eu d'effet significatif par rapport au compost seul (ZC). Par contre, l'addition du phosphate au fumier (ZFP) a entraîné une augmentation significative de la biomasse microbienne du sol par rapport au traitement avec fumier seul: +26% sous niébé et +56% sous le sorgho. Sous les deux cultures, la biomasse microbienne du sol du traitement ZFP était significativement plus élevée par rapport à l'ensemble des autres traitements.

Discussion

Rendements des cultures

La technique du *zaï* est une pratique ancienne permettant de restaurer la capacité de production des sols dégradés et en condition climatique très aléatoire.

L'expérimentation conduite entre 2006 et 2012 a montré clairement qu'il était possible de produire une céréale ou une légumineuse sur des sols qui sans aménagement particulier n'étaient pas productifs. Cette situation pourrait s'expliquer par les effets conjugués de l'amélioration du profil hydrique engendrée par les trous de *zaï* et les apports de fumures organiques et minérales. En effet, le simple fait de casser la croûte du sol à travers les poquets de *zaï* sans aucun apport d'amendements permet déjà d'obtenir une production moyenne potentielle en graines de l'ordre de 254 kg.ha⁻¹ pour le niébé et de l'ordre de 402 kg.ha⁻¹ pour le sorgho. Ces rendements minima obtenus indiquent le premier effet du *zaï* qui consiste à maîtriser le ruissellement de l'eau et de permettre son infiltration au niveau de la rhizosphère. Il est à noter cependant qu'en année de mauvaise pluviosité (arrêt précoce des pluies notamment), la production de sorgho était pratiquement nulle même avec la pratique du *zaï*. La pratique du *zaï* comprend également un apport localisé au niveau du poquet de semis d'intrants organiques. Dans cette expérimentation deux produits organiques ont été testés. Les rendements obtenus avec les apports de composts étaient relativement plus faibles que ceux obtenus avec le fumier. Les composts utilisés sont produits à base de mélange de déchets ménagers, de restes des résidus de pailles ayant servi d'aliment de bétail et de fèces animaux. Leur qualité est liée à celle des substrats utilisés et des conditions de compostage. Ils sont en général moins riches que les fumiers de parc comme l'attestent les données d'analyse citées dans le paragraphe matériels et méthode. La qualité des composts mériterait d'être améliorée. Les rendements en grains les plus élevés mesurés pour le traitement ZC sont inférieurs aux rendements potentiels moyens des variétés en milieu paysan (757 kg.ha⁻¹ contre 800 kg.ha⁻¹ avec le niébé et 702 kg.ha⁻¹ contre 1000 à 1500 kg.ha⁻¹ pour le sorgho). Par contre, avec l'apport du fumier simple les rendements en grains des deux cultures atteignent les rendements potentiels moyens des variétés en milieu paysan. D'autres études menées dans la zone ont abouti à des résultats similaires (28, 29, 31).

Les résultats montrent que les meilleurs rendements en grains comme en fanes et paille ont été obtenus avec les apports combinés de fumier et de phosphate naturel. Les productions en grains atteignent lors des campagnes les mieux arrosées 1217 kg.ha⁻¹ avec le niébé et 2380 kg.ha⁻¹ pour le sorgho. Ces rendements étaient supérieurs aux rendements moyens enregistrés dans la région en 2012, considérée comme une année favorable avec des rendements de l'ordre 1038 kg.ha⁻¹ pour le niébé, 1287 kg.ha⁻¹ pour le sorgho blanc et 1380 kg.ha⁻¹ pour le sorgho rouge (24). De même, les apports en compost combiné au phosphate naturel ont donné pour le niébé des rendements supérieurs au rendement potentiel moyen de la variété en milieu paysan (930 kg.ha⁻¹ de rendement grains obtenu contre 800 kg.ha⁻¹ de rendement potentiel de la variété); avec le sorgho, les rendements obtenus dépassent la moyenne de la Province [1943 kg.ha⁻¹ de rendement grains obtenu contre 1287 kg.ha⁻¹ de rendement moyen provincial (24)]. Les meilleurs rendements obtenus avec l'application du phosphate naturel s'expliquent par la carence en phosphore des sols du Burkina en général et de la zone nord soudanienne en particulier (14) et le rôle du phosphore dans le développement des plantes et particulièrement dans la nodulation et le développement du niébé (26). Certains auteurs ont montré que les apports de phosphate naturel issu des mines de phosphate au Burkina Faso permettaient une augmentation des rendements des cultures (15, 23, 28, 31). Il est montré que les rendements peuvent être d'avantage améliorés en combinant le phosphate naturel au phosphate soluble (15). Toutefois, Compaoré *et al.* (13) ont remarqué que sur un sol ferrugineux faiblement acide (pH 6,2), le phosphate naturel n'a pas d'effet significatif sur la production du niébé et de maïs du fait de sa faible solubilité. A l'état finement broyé, la solubilité du burkinaphosphate dans l'eau est estimée 0,03% (13). Mais il est prouvé que dans les sols acides et en association avec les fumures organiques, la solubilité des phosphates naturels serait augmentée avec l'effet des acides organiques des fumures et de l'acidité du sol (7). De plus, les doses très élevées de phosphate appliquées dans

cette expérimentation, 2 t.ha⁻¹ contre 400 kg.ha⁻¹ recommandés par les services agricoles peuvent compenser l'effet de la faible solubilité.

Sur les six campagnes d'essai, la production en grains a été nulle pendant deux campagnes avec le sorgho en raison des aléas climatiques. Le niébé avec un cycle de développement plus court et avec un recouvrement du sol limitant l'évaporation et le ruissellement, semble plus adapté que le sorgho aux aléas de la pluviosité dans cette zone climatique. En plus, il répond de la même manière que le sorgho aux amendements appliqués dans le *zaï*.

Activité biologique du sol

Dans l'ensemble, la biomasse microbienne du sol, était relativement faible au niveau des deux cultures et pour l'ensemble des traitements. Les valeurs du carbone microbien du sol les plus élevées (ZFP) représentaient environ 0,5% et 0,6% du carbone total du sol respectivement sous culture de niébé et de sorgho; et les plus faibles, correspondant au témoin sans *zaï* ni amendement (TA) ne représentaient que 0,04% et 0,03% du carbone total du sol cultivé en niébé et en sorgho. Elles sont très faibles comparées aux valeurs de 1,6% mesurées par Chaussod *et al.* (12) dans des parcelles de prairie naturelle de zone tropicale considérée en équilibre sur le plan de stock en carbone. De même, les valeurs de biomasse microbienne les plus élevées obtenues ici (61 et 77 mg C.kg⁻¹ de sol) sont largement inférieures à celles observées par Assimi (2009) dans des systèmes de monoculture de sorgho (109 à 138 mg C.kg⁻¹ de sol) et de rotation sorgho-niébé (66 à 118 mg C.kg⁻¹ de sol), qui avait toutefois mesuré ces valeurs sur des sols avec des apports largement plus importants (5 et 40 t.ha⁻¹) que ceux qui ont été appliqués dans notre expérimentation (3 t.ha⁻¹). A l'inverse, Diallo (17) indiquait, dans une formation pédologique similaire, des biomasses microbiennes plus faibles que celles mesurées ici. De nombreuses études ont montré que l'abondance, la diversité et l'activité microbienne baissent, en général, en fin de campagne (à la récolte) ou après un long temps d'incubation dans des expérimentations en condition contrôlée au laboratoire (9, 17, 22).

Ces études révèlent que la communauté microbienne du sol est autant influencée par la période de la saison à laquelle la mesure a été réalisée que par les systèmes de culture (6, 10). L'abondance et l'activité microbienne dépendent en effet de la matière organique facilement minéralisable et des nutriments disponibles ou libérés par la minéralisation des amendements organiques ou minéraux, mais également de l'humidité du sol.

Ces paramètres évoluent au cours de la saison et finissent par baisser fortement, en général, en fin de campagne (à la récolte) et la biomasse microbienne de s'établir à un niveau relativement faible. Comme la biomasse microbienne, la respiration du sol qui traduit l'activité microbienne potentielle du sol était sensiblement de même intensité sous les deux types de culture. Dans les mêmes conditions pédoclimatiques, la masse microbienne et l'intensité de l'activité biologique sont fonction de la disponibilité des substrats carbonés, notamment la fraction facilement biodégradable pour satisfaire les besoins énergétiques des micro-organismes. La similitude de l'abondance et de l'activité microbienne du sol au niveau des deux cultures pourrait s'expliquer par une similitude des caractéristiques chimiques des sols, notamment les contenus en matière organique labile. La variation de l'activité biologique s'est révélée beaucoup plus liée aux traitements effectués dans les différentes parcelles. Sans travail de sol ni amendement (TA), l'activité biologique dans les sols «zipella» se révèle extrêmement faible. Le simple creusement des poquets de *zaï*, malgré la modification de la structure et l'acidité et l'amélioration de l'humidité et l'aération du sol qu'il induit, n'a pas influencé significativement la biomasse microbienne du sol; il a toutefois entraîné un relèvement sensible de l'activité biologique potentielle par rapport au témoin. Il est donc permis de faire l'hypothèse que la matière organique dans ces parcelles est insuffisante pour soutenir une augmentation significative de la biomasse microbienne du sol, mais renferme plus de substrats carbonés biodégradables exogènes piégés dans les poquets et/ou provenant des corps microbiens morts à la dessiccation du sol et pouvant relever l'intensité de la respiration du sol.

Les apports de fumures et le travail du sol sont reconnus comme jouant un rôle déterminant dans la dynamique de l'activité biologique du sol (2, 9, 17). Ils déterminent l'abondance, la diversité et l'activité des communautés microbiennes du sol. L'apport du fumier et du compost simples dans les *zaï* (ZF et ZC) a redynamisé sensiblement l'activité biologique du sol.

Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Zombré (30) qui a observé avec des traitements de *zaï* au compost (3 t.ha⁻¹) sur zippelé développé sur sol ferrugineux, des quantités cumulées de CO₂ dégagé de l'ordre de 120 mg de C-CO₂/100g de sol contre 30 mg de C-CO₂/100g de sol pour les témoins dans l'horizon de surface. La même observation a été faite sur un zippelé développé sur sol brunifié avec un effet plus prononcé (30). Le *zaï* permet, en effet, de casser la croûte de battance, d'améliorer l'humidité et l'aération du sol et les substrats organiques (fumier et compost) qui y sont apportés constituent une source d'énergie et de nutriments propices à la prolifération des communautés microbiennes.

L'addition du phosphate naturel finement broyé au fumier a amélioré d'avantage l'activité biologique du sol au niveau des deux cultures (biomasse microbienne et respiration du sol). En effet, il est montré que la fertilisation phosphatée influence l'abondance, l'activité et la structure des communautés microbiennes (6). Le phosphore est un élément majeur, capital pour le développement et le fonctionnement des organismes végétaux et animaux. Il représente la source d'énergie dans le métabolisme cellulaire et est un constituant essentiel des acides nucléiques et des phospholipides. C'est un élément indispensable au développement des microorganismes.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont révélé que sur un sol dégradé encrouté, induré, peu profond, en améliorant les conditions hydriques et la fertilité chimique par du *zaï* avec un amendement approprié, il est possible d'optimiser la production aussi bien avec une culture de légumineuse (niébé) que celle d'une céréale (sorgho).

La combinaison du phosphate naturel au fumier et compost dans le *zaï* améliore l'efficacité de la pratique et la productivité des zippela.

Sur le plan de la fertilité du sol, après six années de culture continue de niébé et de sorgho, les caractéristiques biologiques mesurées dans les poquets de *zaï* sous les deux cultures ne présentent pas de différences sensibles.

Elles ont été plutôt influencées par les amendements. L'apport de la fumure organique a permis une redynamisation de l'activité biologique du sol. L'addition de phosphate naturel au fumier a permis surtout d'améliorer l'activité biologique du sol. L'apport combiné du phosphate naturel et de la fumure organique dans le système *zaï* apparaît comme une alternative pour une restauration efficace de la productivité des zipella. Par un apport répété d'amendements organiques et minéraux au niveau de la plante cultivée, il est possible de créer

des îlots de fertilité au sein de la parcelle. Le *zaï* est basé sur une gestion locale des ressources nécessaires à la production des plantes, eau et nutriments. Ce principe de technique culturale permet d'assurer une production en limitant la surface cultivée et les quantités d'apports nécessaires, que ce soit pour une culture de céréales ou de légumineuses. Il est toutefois nécessaire de prendre en compte l'intégration de cette technique à l'échelle du bassin versant (nécessité des aménagements en cordons pierreux).

Remerciement

Les auteurs remercient le Projet FABATROPIMED de la Fondation Agropolis qui a soutenu financièrement les travaux. Ils sont reconnaissants à M. Barry, P. Sawadogo, techniciens au Laboratoire d'Agro-Ecologie, UMR Eco & Sols de l'IRD de Ouagadougou et à M. Ramde, technicien de laboratoire à l'INERA Kamboinsé pour leur assistance technique.

Références bibliographiques

1. Amato M. & Ladd J.N., 1988, Assay for microbial biomass based on ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soils, *Soil Biol. Biochem.*, **20**, 107-114
2. Assimi S., 2009, *Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité microbienne dans un système de cultures de longue durée au Burkina Faso*. Thèse de doctorat d'Etat ès-sciences naturelles. Université polytechnique de Bobo Dioulasso, 177.
3. Bado V. & Hien V., 1998, Efficacité agronomique des phosphates naturels du Burkina Faso sur le riz pluvial en sol ferrallitique, *Cah. Agric.*, **7**, 236-238.
4. Bado V., 2002, *Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso*. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation; Université Laval, Québec; 166.
5. Bagré J.T., 1987, *Ranawa/Burkina Faso : diguettes en pierres et poches d'eau*. pp 221-238, Rochette R. M. (Edit), In: Le sahel en lutte contre la désertification. GTZ-CILSS-PAC, 573.
6. Beauregard M.S., 2010, *Impacts de la fertilisation phosphatée sur la biodiversité microbienne de sols agricoles*. Thèse de doctorat. Université de Montréal, 168.
7. Bolan & Hedley, 1990, Dissolution of phosphate rocks in soils. Effect of pH on the dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge, *Fert. Res.*, **24**, 125-134.
8. Botoni & Reij, 2009, *La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au Sahel : Impacts des investissements publics et privés dans la gestion des ressources naturelles*, CILSS, 61.
9. Bouchenafa N., Oulbachir K. & Kouadria M., 2014, Effets du travail du sol sur le comportement physique et biologique d'un sol sous une culture de lentille (*Lens exculenta*) dans la région de Tiaret Algérie, *Eur. Sci. J.*, **10**, 3, 463-473.
10. Calbrix R., Barray S., Chabrierie O., Fourrie L. & Laval K., 2007, Impact of organic amendments on the dynamics of soil microbial biomass and bacterial communities in cultivated land, *Appl. Soil Ecol.*, **35**, 511-522.
11. Casenave A. & Valentin C., 1989, Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM. Paris, France, 229.
12. Chaussod R., Zuvia M., Breuil M. C. & Hetier J.M., 1992, Biomasse microbienne et statut organique des sols tropicaux: exemple d'un sol vénézuélien des Lianos sous différents systèmes de culture, *Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, **28**, 1, 59-67.
13. Compaore E, Grimal J.Y., Morel J.L. & Fardeau J.C. 1997, Efficacité du phosphate naturel de Kodjari (Burkina Faso), *Cah. Agric.*, **6**, 251-255.

14. Compaoré E., Grimal J.Y., Morel J.L. & Fardeau J.C., 2001, Le phosphore biodisponible des sols: une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest, *Cah. Agric*, **10**, 75-142.
15. CORAF ACTION, 2011, *Les phosphates, une richesse pour l'agriculture Ouest africaine*. CORAF ACTION N° 59 Avril-Juin 2011.
16. CPCS, 1967, *Classification des sols. Travaux de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (1963-1967)*. ENSA-Grignon, Laboratoire de Pédologie- Géologie, Paris, 96.
17. Diallo N.H., 2011, *Sols cultivés et fonctions microbiennes: la gestion des résidus organiques permet-elle de manipuler ces fonctions? Cas de l'Afrique de l'ouest*. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop De Dakar, Sénégal, 149.
18. FAO, 2006, World reference base for soil resources, Rome. 126.
19. Fontes J. & Guinko S., 1995, *Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Notice explicative*. Ministère de la Coopération Française, projet Campus, 67.
20. Hien F., Compaoré J.A. & Coulibaly-Somé O., 1996. *La dynamique de la dégradation des sols dans le bassin du Nakambé : une étude diachronique dans le secteur des forêt classées de Bissiga-Nakabé au Burkina Faso*, pp 523-530. In: Escadafal R., Mulders M.A. & Thiombiano L. (Edit), *Surveillance des sols dans l'environnement par télédétection et systèmes d'information géographiques*. Colloque, 06-10/02/1995, Ouagadougou, Burkina Faso; 619.
21. INSD, 2008, Recensement général de la population et de l'habitation (RGPH) de 2006 du Burkina Faso – Résultats Définitifs. MEF/CNR/ BCR, 56.
22. Jedidi N., Hassen A., Cleemput O. V. & M'Hiri A., 2004, Microbial biomass in a soil amended with different types of organic wastes, *Waste Manage. Res.*, **22**, 2, 93-99.
23. Lompo F., Sedogo M. P. & Assa A., 1994, Effet à long terme des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso) sur la production du sorgho. Bilans minéraux, *Rev. Res. Amélior. Prod. Agric. Milieu Aride*, **6**, 163-78.
24. MA/DNSA, 2013, Agristat, janvier 2013.
25. Roose E., Kaboré V. & Guenat C., 1993, Fonctionnement, limite et améliorations d'une pratique culturale africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano – sahélienne (Burkina Faso), *Cah. Orstom Sér. Pedol.*, **28**, 159-73.
26. Salam A.M., Osman A.Z. & Basiouny H., 1968, Interaction of the level and method of phosphorus fertilization on cowpea production in newly reclaimed soils. Isotope and radiation research, **1**, pp.33-39.
27. Sawadogo H., Zombré N. P., Bock L. & Lacroix D., 2008, Etude de l'évolution de l'occupation du sol de Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso) à partir de photographies aériennes, *Rev. Télédétection*, **8**, 1, 59-73.
28. Sawadogo H., Bock L., Lacroix D. & Zombré N. P., 2008, Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **12**, 3, 279-290.
29. Zombré N.P., 2003, *Les sols très dégradés "zipella" du centre nord du Burkina Faso: dynamique, caractéristiques morpho-bio-pédologiques et impacts des techniques de restauration*. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Ouagadougou, 327.
30. Zombré N.P., 2006, Variation de l'activité biologique dans les zipella (sols nus) en zone subsahélienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (techniques des poquets), *Biotechnol. Agron. Soc., Environ.*, **10**, 2, 139-148.
31. Zougmore R., Ouattara K., Mando A. & Ouattara B., 2004, Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso, *Sécheresse*, **15**, 1, 41-48.

D. Some, Burkinabè, DEA, Enseignant, Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre, Ouagadougou, Burkina Faso.

E. Hien, Burkinabè ,PhD, Enseignant chercheur, Université de Ouagadougou; Chercheur associé IRD, UMR Eco & Sols, Ouagadougou, Burkina Faso.

K. Assigbetse, Française, PhD, Ingénieur de recherche, IRD, UMR Eco & Sols, LEMSAT, Bel-Air, Dakar, Sénégal.

J.J. Drevon, Française, PhD, Chercheur, UMR Eco & Sols; Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agroécosystèmes, Montpellier, France.

D. Masse, Française, PhD, Chercheur, IRD, UMR Eco & Sols, LEMSAT, Bel-Air, Dakar, Sénégal.

Sélection des variétés de soja pour la résistance à la pustule bactérienne au Bénin

V.A. Zinsou^{1*}, F. Afloukou¹, E. Sekloka¹, F. Dannon¹, N. Zoumarou-Wallis¹, L.A.C. Afouda¹ & L. Dossou¹

Keywords: *Xanthomonas axonopodis* pv *glycines*- Artificial inoculation- Natural infection- Yield losses- Parakou- Benin

Résumé

La pustule bactérienne causée par Xanthomonas axonopodis pv. *glycines* est une maladie redoutable du soja qui induit d'énormes pertes de rendements à travers le monde. L'objectif de cette étude est de tester 16 variétés de soja pour leur résistance à la pustule bactérienne sous infection naturelle et sous inoculation artificielle. L'étude a été réalisée sous serre et au champ à la ferme expérimentale de l'Université de Parakou de juillet à octobre en 2013 et en 2014. Des résultats, il ressort que les variétés JUPITER, ISRA25/72, TGX1985-77F, TGX1910-2F et TGX1985-11F sont sensibles à moyennement sensibles. Les variétés TGX1448-2E, TGX1987-62F, TGX1990-15F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F et TGX1440-1E sont moyennement résistantes à résistantes. Les variétés TGX1988-5F, TGX1910-14F, TGX1989-21F et TGX1989-19F sont moyennement résistantes en serre et sensibles à moyennement sensibles au champ. En 2013, des pertes de rendement de l'ordre de 2,7 à 28,1% ont été enregistrées avec les variétés TGX1910-2F, ISRA25/72, JUPITER, TGX1910-2F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F. Les pertes de rendement ont été calculées pour chacune des variétés citées en prenant en compte le résultat de la différence entre le rendement de la variété soumise à l'infection naturelle et celui de la variété sous inoculation artificielle divisé par le rendement de la variété soumise à l'infection naturelle. En 2014, les variétés TGX1985-77F, TGX1740-2F, ISRA25/72, TGX1987-62F et TGX1910-14F ont montré des pertes allant de 4,7 à 21,4%. Les autres variétés ont présenté des gains de rendement de 2,7 à 26% en 2013 et de 2,2 à 36,6% en 2014. La variété TGX1985-11F n'a enregistré ni de gain, ni de perte au cours des deux années. Ainsi, parmi les 16 variétés testées, TGX1987-62F et TGX1990-15F les plus résistantes aux symptômes et TGX1989-19F,

Summary

Selection of Soybean Varieties for Resistance to Bacterial Pustule in Benin

Bacterial pustule caused by Xanthomonas axonopodis pv. *glycines* is a dreaded disease on soybeans inducing considerable yield losses worldwide. The aim of this study is to test 16 soybean varieties for resistance to bacterial pustule under natural infection and artificial inoculation. The study was conducted under greenhouse and field conditions at the experimental farm of the University of Parakou from July to October in 2013 and in 2014. The results show that the varieties JUPITER, ISRA25/72, TGX1985-77F, TGX1910-2F and TGX1985-11F are sensitive to moderately sensitive. The varieties TGX1448-2E, TGX1987-62F, TGX1990-15F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F and TGX1440-1E are moderately resistant to resistant. The varieties TGX1988-5F, TGX1910-14F, TGX1989-21F and TGX1989-19F revealed moderately resistant in the greenhouse, but sensitive to moderately sensitive in the field. In 2013, yield losses from 2.7 to 28.1% were recorded with the varieties TGX1910-2F, ISRA25/72, JUPITER, TGX1910-2F, TGX1987-10F, TGX1835-10F and TGX1740-2F. Yield losses were calculated for each variety considering the yield difference between the natural infection and the artificial inoculation conditions. The difference was then divided by the yield obtained in the natural infection conditions. In 2014, varieties TGX1985-77F, TGX1740-2F, ISRA25/72, TGX1987-62F and TGX1910-14F showed losses ranging from 4.7 to 21.4%. The other varieties showed yield increases from 2.7 to 26% in 2013 and from 2.2 to 36.6% in 2014. With variety TGX1985-11F neither yield loss nor gain were observed over the two years. For the 16 tested varieties, TGX1987-62F and TGX1990-15F are the most resistant; while

¹Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

*Auteur correspondant: Email: valerien.zinsou@fa-up.bj, valzinsou@gmail.com

Reçu le 26.02.15 et accepté pour la publication le 07.07.15

TGX1985-11F, TGX1440-1E, TGX1985-77F et TGX1910-14F à symptômes modérés et rendements élevés pourront être recommandées aux producteurs. Les deux variétés les plus résistantes pourront en outre être intégrées dans un programme d'amélioration.

TGX1989-19F, TGX1985-11F, TGX1440-1E, TGX1985-77F and TGX1910-14F are partially resistant. Those varieties have a high yield and could be recommended to the farmers. The two most resistant varieties can be integrated in a plant breeding programs.

Introduction

La pustule bactérienne causée par *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* est une des principales maladies du soja recensée dans le monde (16). Elle a une grande importance économique dans les grandes zones de productions de soja dans le monde (31). La maladie prévaut dans les champs de soja où des températures élevées et de fréquentes pluies subsistent (26). Le pathogène est une bactérie Gram négatif qui cause des maladies et symptômes sur au moins 124 monocotylédones et 268 dicotylédones (9). Il vit dans les résidus de récolte, sur la surface du sol, sur des graines, dans la rhizosphère de racines de blé. La maladie se répand dans le champ de soja par des ouvertures normales (stomates) de la plante et des blessures lorsque le feuillage est humide. Les bactéries se multiplient entre les cellules toutes les fois que les conditions chaudes et humides ou pluvieuses règnent. La pustule bactérienne est reconnue grâce aux symptômes incluent de petites taches vertes pales avec des pustules qui se développent en larges taches nécrotiques conduisant à une défoliation prématurée (19). En Afrique de l'Ouest, elle a été signalée au Nigeria, en Côte d'Ivoire (13). Au Bénin, les prospections réalisées ont montré que la pustule bactérienne était présente sur 33 des 35 champs prospectés dans la savane guinéenne et sur 13 des 18 champs visités dans la savane soudanienne (32). Les pertes de rendement dues à la maladie sont estimées à travers le monde jusqu'à 40% (21).

Au Bénin, la production de soja est en pleine augmentation et a atteint 11.000.tonnes en 2012 sur une superficie de 17500 ha (6).

Au nombre des variétés recommandées dans la savane guinéenne afin d'accroître la productivité et d'offrir de meilleures opportunités aux producteurs

on peut citer TGx1740-2F, TGx1987-10F, et TGx1987-62 (4), Jupiter, ISRA 44A/73, ISRA 25/72, TGx 536-02 D, TGx 1910-14F, TGx 1910-20E , TGx 1910-5F et TGx 1910-3F (2).

Avec l'augmentation de la production du soja, la présence de *X. axonopodis* pv. *glycines* peut limiter le rendement en grains. Pour contrôler la maladie des produits agrochimiques ont été appliqués durant la phase végétative. Cependant, ces produits pourraient avoir des effets négatifs sur l'environnement, les humains et les animaux (20). Aussi, la lutte biologique avec des promoteurs de croissance de plantes ou des bactéries productrices d'antibiotiques avait été considéré comme alternative (11, 15, 23). Une autre forme de lutte est le choix de la date de semis qui peut affecter directement ou indirectement la sévérité de la maladie (5, 10). Cette pratique culturale est facilement utilisable par les producteurs car il permet de réduire les coûts de production en supprimant les charges liées aux pesticides tout en préservant la santé des consommateurs et l'environnement. Cependant l'utilisation des variétés résistantes est une méthode pratique de contrôle de la maladie bien qu'elle soit encore limitée (29). En effet l'émergence de souches pathogènes de virulence diverse entre les saisons et les lieux engendrent également la résistance des plantes contre les pathogènes (25). Ainsi la disponibilité de variétés résistantes est nécessaire et plusieurs études ont également montré que ces variétés combinées avec la date de semis est efficace pour contrôler les maladies foliaires du soja dont la pustule bactérienne. Ainsi, l'objectif de la présente étude est de sélectionner des variétés résistantes à la pustule bactérienne dans la commune de Parakou au Nord-Bénin.

Matériel et méthode

Deux études ont été menées: un essai de criblage de variétés de soja avec trois souches de bactéries sélectionnées pour leur virulence en serre et un essai de criblage de variétés de soja avec une souche au champ.

Essai de criblage de seize variétés de soja avec trois souches de bactériose en serre

Matériel végétal

Le matériel végétal étudié est composé de quatorze variétés de soja améliorées 'TGX' basées sur la sélection de promiscuité provenant du croisement de variétés asiatiques et américaines développés par l'IITA-Ibadan, Nigeria (17) TGX 1910-2F, TGX 1984-77F, TGX 1910-14F, TG X1989-21F, TGX 1990-15F, TGX 1989-19F, TG X1448-2E, TGX 1740-2F, TGX1988-5F, TGX 1835-10F, TGX 1987-62F, TGX 1440-1E, TGX 1987-10F et TGX-1985-11F et des variétés locales ISRA25/72 et JUPITER fournis par le Centre de Recherches Agricoles- Nord à Ina au Bénin. Ces variétés sont recommandées pour la culture dans la savane soudano-guinéenne.

Dispositif expérimental

L'essai de criblage des variétés a été implanté en juillet 2012 selon un dispositif en split plot, avec comme facteur principal l'isolat et facteur secondaire la variété. Il est constitué de quatre blocs subdivisés en quatre sous blocs installés sous serre à 21,4-31,4 °C et 60-96% d'humidité relative. Chaque sous bloc comporte les 16 variétés à raison de 4 pots de 1,5 dm³ par ligne et d'un plant par pot. Le terreau utilisé a été stérilisé à 65°C pendant 72h.

Préparation de l'inoculum

Trois isolats bactériens virulents UP-BK-S1, UP-PE-S2 et UP-PK-S6 provenant respectivement de Banikoara, Pehunco et Parakou (32) et conservés au laboratoire de phytopathologie de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou ont été utilisés. Les inocula bactériens ont été préparés en cultivant les 3 isolats à 30°C pendant 48 h sur milieu de culture gélosé amendé de levure et de glucose (levure 10g/l, glucose 10g/l, peptone 10 g/l, agar 15 g/l), ensuite suspendus dans la solution de sulfate de magnésium pour obtenir une suspension aqueuse de cellules ($OD_{600} = 0.2$, $\approx 10^8$ CFU/ml).

Les suspensions sont ensuite infiltrées à l'aide d'une pompe dans des feuilles des variétés (2 feuilles/plant) de 3 semaines d'âge sous une serre. L'inoculation des plants par les 3 isolats a été effectuée à l'aide d'une pompe infiltrant 3 semaines après semis. Aucun produit insecticide n'a été utilisé dans la serre.

Collecte des données

L'évaluation de la sévérité a consisté à utiliser l'échelle de notation élaborée par Prathuangwong *et al.* (22). Elle a consisté à placer une carte en papier stencil de 4 x 7 cm² avec 9 cercles de 1 cm de diamètre sur la surface de la foliole infectée et à calculer le rapport entre nombre de cercles avec lésion et nombre total de cercles. L'évaluation a débuté 7 jours après l'inoculation en serre sur chaque plant inoculé et 4 fois à l'intervalle de 7 jours. Les valeurs de la sévérité de la bactériose à chaque date d'évaluation ont été utilisées pour calculer la surface sous la courbe d'évolution de la sévérité suivant la formule I:

$$AUSPC = \sum_i [(S_i + S_{i-1}) \times (t_i - t_{i-1})] / 2 \quad I$$

S_i = moyenne de la sévérité à la date t_i et t_i correspond aux différentes dates d'évaluation (14, 24).

Essai de criblage de seize variétés de soja avec une souche de bactériose au champ

Site expérimental

Les essais ont été effectués à la ferme expérimentale de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou situé dans la zone soudano-guinéenne (N 09°18' 908"; E 002°42' 106') de Juin à Octobre en 2013 puis répété en 2014. La pluviométrie totale de la période des essais est de 609,8 mm en 2013 et de 1008,3 mm en 2014. L'hygrométrie est comprise entre 58 et 95% en 2013 et entre 59 et 99% en 2013, et la température a varié de 21,1°C à 31,6°C en 2013 et de 21°C à 31,3°C en 2014. La saison pluvieuse s'étend de Mai à Octobre et la saison sèche de Novembre à Avril. Le sol repose sur le socle granito- gneissique où évoluent essentiellement les sols ferrugineux tropicaux.

Dispositif expérimental

L'essai a été conduit selon un dispositif en 'Augmented Randomised Complete Bloc Design' à sens unique d'hétérogénéité (8, 27, 30). Les trois (3) variétés: ISRA 25/72, JUPITER et TGX-1985-11F (sensibles à la pustule, essai serre 2012 de la présente étude) ont servi de témoins tandis que les treize variétés TGX 1910-2F, TGX 1984-77F, TGX 1910-14F, TG X1989-21F, TGX 1990-15F, TGX 1989-19F, TG X1448-2E, TGX 1740-2F, TGX1988-5F, TGX 1835-10F, TGX 1987-62F, TGX 1440-1E et TGX 1987-10F constituent les nouvelles entrées. Les variétés témoins ont été répétées trois fois. Les variétés ont été semées en condition naturelle (non inoculée) et artificielle (inoculée); les deux conditions étant séparées par un écran de sorgho à paille haute de six mètre de largeur. L'inoculum de l'isolat UP-PK-S6 de la bactérie en provenance de Parakou (32) a été préparé comme précédemment et utilisé pour l'inoculation grâce à un pulvérisateur manuel.

Le semis des graines a été fait selon des écartements de 50 cm entre les lignes et de 30 cm entre les poquets sur la ligne. Deux graines ont été semées par poquet soit une densité maximale attendue de 133333 plants à l'hectare. Les parcelles élémentaires mesuraient 3 m x 3 m soit une superficie de 9 m². La distance entre deux parcelles élémentaires adjacentes était de un mètre alors que les trois blocs (3 répétitions) ont été séparés par une allée de deux mètres. Une bordure de 2 m a été observée au niveau de chaque côté. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué durant tout le cycle de culture. Par contre, deux sarclages manuels ont été faits.

Collecte des données

Sévérité de la bactériose

Pour évaluer la sévérité, 10 plantes de chaque variété ont été respectivement choisies au hasard sur les deux diagonales de chaque parcelle. L'évaluation a été effectuée trois fois et a débuté une semaine après l'inoculation et à l'intervalle de 14 jours. Sur chaque variété, la sévérité a été notée sur les parties basses, moyennes et hautes des plantes et l'AUSPC a été calculé comme ci-dessus.

Rendement en grains

Les plants ont été prélevés dans 15 poquets occupant une superficie de 2,25 m² sur les parcelles élémentaires de 9 m², dans les différents blocs, et dans chaque répétition suivant les variétés. Ensuite le nombre total de graines des plants choisis sur les 9 m² a été séché jusqu'à un taux d'humidité de 10% puis pesé pour trouver le poids des graines sur 2,25 m² qui a été rapporté enfin à l'unité de surface qui est l'hectare.

Analyse des données

L'analyse de variance a été effectuée suivant la procédure du modèle linéaire général (GLM) de SAS version 7 sur les valeurs de sévérité transformées. Le test de Student-Newmann-Keuls a été ensuite utilisé pour comparer les moyennes ($p \leq 0,05$). Les valeurs des tableaux sont les moyennes réelles avec leurs erreurs Standards. Des classes de variétés sensibles (S) (AUSPC $\leq$ 40), moyennement résistants (MR) (40 < AUSPC $\leq$ 10) et résistants (AUSPC<10) sont formés.

Résultats

Sévérité des variétés à l'infection artificielle par différents isolats en serre

Les valeurs des AUSPC observées au niveau des variétés testées sont significativement différentes avec l'isolat UP-BK-S1 de Banikoara ($P=0,0001$) et ont varié de 13,8 à 519,2. Avec l'isolat UP-PE-S3 de Pehunco les valeurs des AUSPC ont significativement varié ($P=0,0048$) sur les variétés allant de 46,12 à 368,57 (Tableau 1).

L'isolat UP-PK-S6 de Parakou a eu un effet significatif ($P=0,0358$) sur les variétés testées pour des AUSPC variant de 6,96 à 70,25. Les isolats UP-BK-S1 et UP-PE-S₃ dont les valeurs d'AUSPC sont respectivement de 138,11 et de 136,44 sont plus virulents que l'isolat UP-PK-S6.

Ainsi, les variétés Jupiter ISRA 25/72, TGX1985-77F et TGX1910-2F ont montré une sensibilité plus élevée à l'infection avec l'isolat UP-BK-S1 (AUSPC respectif: 519,2; 378; 229,4; 227,9), mais la variété TGX1990-15F a développé moins de valeurs de sévérité après inoculation (13,8). Aussi, les variétés TGX1985-11F, TGX1910-2F et ISRA 25/72 ont montré une sensibilité à l'infection avec l'isolat

Tableau 1

Sévérité (AUSPC) de 16 variétés de soja à l'infection artificielle en serre de trois isolats de *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*.

Variétés	Isolat UP-BK-S1	Isolat UP-PE-S3	Isolat UP-PK-S6	Moy AUSPC	F	P
JUPITER	519,2±131,6aA	188,1±58,3abB	66,4±22,2aB	257,9±72,5a	7,75	0,011
TGX1910-2F	227,9±165,6bcA	222,6±51,8abA	70,2±35,9aA	173,6±57,8abc	0,77	0,4932
ISRA 25/72	378±172,1abA	314,2±168abA	46,1±14,7aA	246,1±84,6a	1,6	0,2541
TGX1985-11F	175,2±47,6bcB	368,5±20,2aA	21,6±20,9aC	188,4±45,9ab	29,05	0,0001
TGX1985-77F	229,4±27,5bcA	142,4±73,3abA	64,0±14,8aA	145,3±31,5abc	3,22	0,0879
TGX1910-14F	43,8±9,6bcA	118,9±46,1abA	42,6±19,5aA	68,4±18,7bc	2,2	0,1667
TGX1989-21F	31,4±14,8bcA	103,6±50,7abA	15,0±15,0aA	49,9±20,0bc	2,26	0,1605
TGX1990-15F	13,8±7,7cA	73,1±34,1bA	31,6±18,3aA	39,5±14,0c	1,78	0,2229
TGX1989-19F	51,8±40,4abcA	80,7±26,4bA	8,2±5,2aA	46,9±17,1bc	1,69	0,2377
TGX1448-2E	34,5±15,1bcA	90,0±35,6bA	9,5±5,6aA	44,7±15,5bc	3,32	0,0833
TGX1740-2F	168,9±13,4bcA	46,1±11,8bB	18,1±9,6aB	77,7±20,6bc	46,46	0,0001
TGX1988-5F	25,1±10,3bcB	111,0±10,7abA	6,9±2,9aB	47,7±14,4bc	40,09	0,0001
TGX1835-10F	149,2±33,2bcA	57,1±34,7bA	43,9±11,8aA	83,4±20,5bc	4,04	0,0561
TGX1987-62F	49,6±18,4bcA	48,8±17,4bA	12,9±4,31aA	37,1±9,3c	1,99	0,1921
TGX1440-1E	74,1±16,6bcA	102,3±20,2abA	15,4±5,5aB	63,9±13,5bc	8,22	0,0093
TGX1987-10F	37,9±12,5bcAB	115,0±42,2abA	9,8±6,8aB	54,2±18,9bc	4,47	0,0449
Moy AUSPC	138,11A	136,44A	30,20B			
F	4,04	2,69	2			
P	0,0001	0,0048	0,0358			

UP: Université de Parakou, BK: Banikoara, PE: Pehunco, PK: Parakou, S: Soja.

Les valeurs suivies de mêmes lettres minuscules en colonne et celles suivies de mêmes lettres majuscules dans les lignes ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

UP-PE-S3 alors que la variété TGX1740-2F a développé moins de valeurs de sévérité après inoculation (46,1). Toutes les variétés ont développé moins de symptômes avec l'isolat UP-PK-S6. Comparant les variétés, une réaction différente a été observée. Bien que les isolats UP-BK-S1 et UP-PE-S3 aient produit une moyenne générale d'AUSPC similaire (138,11 et 136,44), six variétés (TGX1910-14F, TGX1989-21F, TGX1990-15F, TGX1418-2E, TGX1988-5F, TGX1987-10F) sont résistantes à l'isolat UP-BK-S₁ et sensibles à l'isolat UP-PE-S₃, alors que le contraire s'observe pour deux autres variétés (TGX1740-2F et TGX1835-10F).

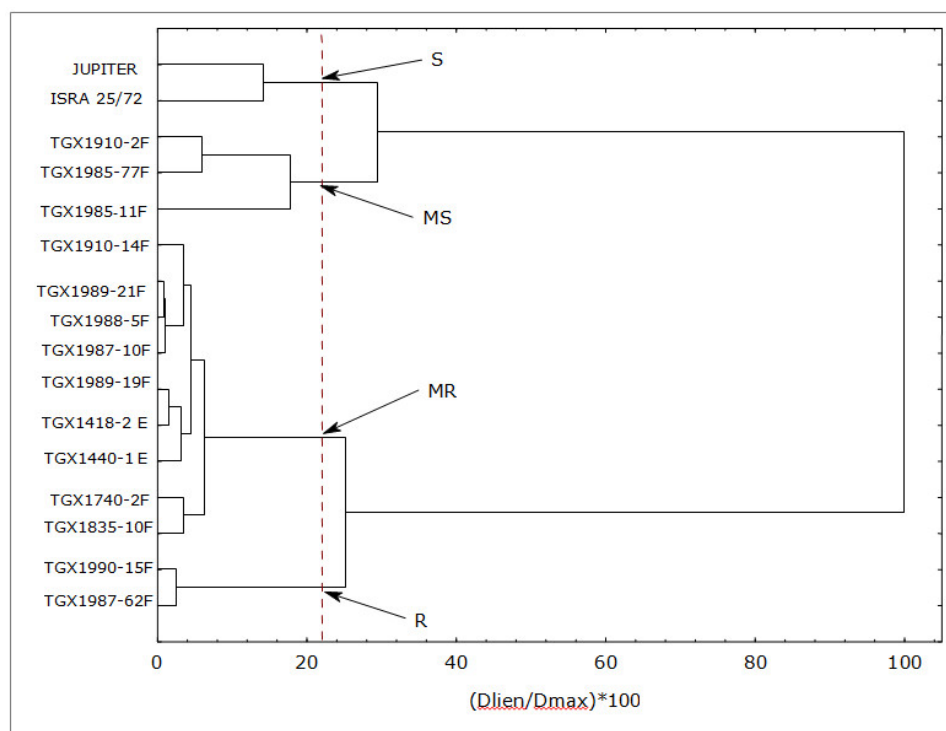
En somme les variétés testées se répartissent en quatre groupes (Figure 1, Tableau 1). Le groupe des variétés sensibles et qui se comportent de la même manière avec les trois isolats. Les deux groupes de variétés sensibles et moyennement sensibles ont des moyennes d'AUSPC supérieures à 100. Le

groupe des variétés moyennement résistantes, et qui se comportent différemment avec les trois isolats. Le groupe des variétés résistantes se comportant de la même manière avec les isolats UP-BK-S1, UP-PE-S3 et différemment avec l'isolat UP-PK-S6. Les deux groupes de variétés moyennement résistantes et résistantes ont des moyennes d'AUSPC inférieures à 100.

Sévérité des variétés à l'infection naturelle et artificielle de *X. axonopodis* pv. *glycines* au champ

L'analyse de variance de l'AUSPC montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les variétés en 2013 et 2014 (Tableau 2).

Elle n'est ni significativement différente en condition naturelle, ni en condition inoculée. Mais, une augmentation de la sévérité a été généralement observée au niveau des variétés seulement après



S: Sensible; MS: moyennement sensible; MR: moyennement résistant; R: résistant

Figure 1: Dendrogramme illustrant le niveau de sensibilité de 16 variétés de soja en serre face à 3 isolats de *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*.

inoculation au champ, mais pas dans les variétés sous infection naturelle. En condition naturelle, elle a varié de 0,6 à 41,6 en 2013 et de 0,8 à 32,7 en 2014. En condition inoculée, les valeurs de la sévérité sont comprises entre 1,8 et 73,1 en 2013 et entre 1,5 et 57,0 en 2014. Aussi, plusieurs variétés résistantes sous infection naturelle sont devenues sensibles après inoculation au champ (Tableau 3).

Ainsi, quatre variétés sont sensibles, cinq variétés moyennement résistantes et une variété résistante (TGX1440-1E) en condition inoculée au champ au cours des deux années, alors que six autres variétés sensibles en 2013 sont moyennement résistantes en 2014.

Sous infection naturelle, cinq variétés (TGX1990-15F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F, TGX1440-1E) sont résistantes, sept variétés moyennement résistantes, alors que deux autres variétés sensibles en 2013 sont moyennement résistantes en 2014 et deux autres variétés résistantes en 2013 sont moyennement résistantes en 2014.

Réaction des variétés à l'infection au champ et sous serre de *X. axonopodis* pv. *glycines*

Une comparaison des résultats enregistrés en condition inoculée au champ et sous serre permet de noter qu'une seule variété (TGX1910-2F) est sensible en serre sur les quatre sensibles au champ et les trois autres sont moyennement résistantes (Tableau 3). Sur les cinq variétés moyennement résistantes au champ, trois sont moyennement résistantes sous serre (TGX1987-10F, TGX1835-10F et TGX1740-2F) et les deux autres (TGX1987-62F et TGX1990-15F) sont résistantes. La seule variété résistante au champ (TGX1440-1E) est moyennement résistante sous serre.

Evaluation du rendement en grain des variétés sous infection naturelle et inoculation

Des pertes de rendement (2,7 à 28,1% en 2013; 4,7 à 21,4% en 2014) et aussi des regains de rendement (2,7 à 26% en 2013 et de 2,2 à 36,6% en 2014) sont observés en comparant l'infection naturelle avec généralement une faible valeur d'AUSPC à une inoculation au champ avec généralement une valeur élevée d'AUSPC.

Tableau 2

Sévérité (AUSPC) de 16 variétés de soja sous infection naturelle et inoculation au champ avec l'isolat UP-PK-S6 de *X. axonopodis* pv. *glycines* en 2013 et 2014.

Variétés	Infection naturelle	Inoculée	Infection naturelle	Inoculée
	2013		2014	
TGX1988-5F	41,6	73,1	24,6	57,0
TGX1910-14F	6,0	71,0	19,1	35,0
TGX1985-77F	37,0	66,7	28,9	30,8
TGX1989-21F	41,0	62,7	30,5	41,4
TGX1910-2F	10,9	59,7	21,1	50,3
ISRA 25/72	35,1	54,4	20,5	29,7
TGX1989-19F	14,3	54,2	32,7	38,0
TGX1985-11F	30,2	49,2	23,9	24,4
JUPITER	40,9	48,2	21,1	38,1
TGX1448-2E	39,8	41,6	13,0	46,1
TGX1987-62F	15,3	29,8	12,1	27,7
TGX1990-15F	9,6	29,5	9,8	23,7
TGX1987-10F	9,3	27,9	2,2	22,2
TGX1835-10F	9,5	12,1	7,2	12,1
TGX1740-2F	4,0	11,6	4,6	17,1
TGX1440-1E	0,6	1,8	0,8	1,5
ES T	5,5	11,9	4,4	10,2
ES X	13,7	29,2	0,4	10,8
P	0,1	0,7	0,4	0,5

ES= erreur standard X= Nouvelles entrées de variétés, non répétées dans chaque bloc.

T= Témoins répétés dans chaque bloc P= probabilité.

Tableau 3

Réaction de 16 variétés de soja sous infection au champ et sous serre avec *X. axonopodis* pv. *glycines*.

Variétés		Infection naturelle	Inoculée au champ	Infection naturelle	Inoculée au champ	Inoculée en serre
		2013		2014		2012
TGX1988-5F X	S	S	MR	S	MR	MR
TGX1910-14F X	R	S	MR	MR	MR	MR
TGX1985-77F X	MR	S	MR	MR	MR	MS
TGX1989-21F X	S	S	MR	S	MR	MR
TGX1910-2F X	MR	S	MR	S	MR	MS
ISRA 25/72 T	MR	S	MR	MR	MR	S
TGX1989-19F X	MR	S	MR	MR	MR	MR
TGX1985-11F T	MR	S	MR	MR	MR	MS
JUPITER T	S	S	MR	MR	MR	S
TGX1448-2E X	MR	S	MR	S	MR	MR
TGX1987-62F X	MR	MR	MR	MR	MR	R
TGX1990-15F X	R	MR	R	MR	MR	R
TGX1987-10F X	R	MR	R	MR	MR	MR
TGX1835-10F X	R	MR	R	MR	MR	MR
TGX1740-2F X	R	MR	R	MR	MR	MR
TGX1440-1E X	R	R	R	R	MR	MR

X= Nouvelles entrées de variétés, non répétées dans chaque bloc.

T= Témoins répétés dans chaque bloc.

S- Sensible (AUSPC≤40), MR- moyennement résistant (40 <AUSPC≤10), R- Résistant (AUSPC<10).

Tableau 4

Rendement (t/ha) de 16 variétés de soja sous infection naturelle et inoculation artificielle en 2013 et 2014.

Variétés	Rendement (t/ha)					
	Infection naturelle	Inoculée	Perte (%)	Infection naturelle	Inoculée	Perte (%)
	2013			2014		
TGX1988-5F X	2,3	2,6	13,0	2,2	3,0	36,6
TGX1990-15F X	3,5	3,7	5,7	3,3	3,7	12,1
TGX1910-2F X	3,6	3,5	-2,7	4,4	4,5	2,2
ISRA 25/72 T	3,6	3,5	-2,7	3,9	3,3	-15,3
TGX1985-77F X	3,6	3,7	2,7	4,2	4,0	-4,7
TGX1987-62F X	2,3	2,7	26,0	2,4	2,0	-16,6
JUPITER T	3,0	2,9	-3,3	3,2	3,8	18,7
TGX1985-11F T	3,9	3,9	0,0	3,7	3,7	0,0
TGX1835-10F X	2,9	2,2	-24,1	2,6	2,7	3,8
TGX1987-10F X	2,9	2,3	-20,6	2,8	2,9	3,5
TGX1740-2F X	3,2	2,3	-28,1	2,8	2,4	-14,2
TGX1448-2E X	3,7	3,4	-8,1	3,1	3,5	12,9
TGX1440-1E X	2,7	3,6	3,3	3,6	4,2	16,6
TGX1910-14F X	2,8	3,1	10,7	4,2	3,3	-21,4
TGX1989-21F X	2,8	3,4	21,4	2,6	3,0	15,3
TGX1989-19F X	3,6	4,2	16,6	2,6	3,3	26,9
ES T	0,23	0,16		0,39	0,41	
ES X	0,66	0,47		1,12	1,16	
CV	20,85	14,77		20,53	21,66	
P	0,03	0,00		0,19	0,01	

ES = erreur standard X= Nouvelles entrées de variétés, non répétées dans chaque bloc.

T= Témoins répétés dans chaque bloc CV : coefficient de variation P= probabilité.

Le rendement en grain est significativement différent sous infection naturelle en 2013 ($P=0,03$) et en 2014 ($p=0,01$). Il varie de 2,3 t/ha (TGX1987-62F) à 3,7 t/ha (TGX1448-2E) en 2013. En 2014, le rendement est passé de 2 t/ha (TGX1989-21F) à 4,4 t/ha (TGX1910-2F) (Tableau 4). En condition inoculée, la différence de rendement est significative en 2013 ($P= 0,009$). Le rendement varie en 2013 entre 2,2 t/ha (TGX1835-10F) et 4,2 t/ha (TGX1989-19F).

En 2014, il est passé de 2t/ha (TGX1740-2F) à 4,5 t/ha (TGX1910-2F).

Vu, les résultats obtenus entre l'infection naturelle et l'inoculation au champ qui ne montrent pas une différence assez grande entre les rendements, une perte de rendement assez claire due à la maladie ne pourrait être déterminée. Aussi, nous n'avons aucune donnée sur le rendement potentiel des variétés sans infection.

Ainsi, aucune corrélation claire entre l'infection et le rendement ne pourrait être trouvée dans ces conditions.

L'analyse de corrélation révèle qu'il y a une corrélation positive non significative entre sévérité de la pustule exprimée par les valeurs d'AUSPC et le rendement en condition inoculée au cours des deux années ($r= +0,35$ en 2013; $r= + 0,12$ en 2014).

Discussion

Seize variétés de soja sont soumises à une inoculation artificielle en serre et à une inoculation naturelle et artificielle pour évaluer leur réaction à la pustule bactérienne et leur rendement en 2013 et 2014.

Suite à l'inoculation artificielle en serre, 2 variétés sont sensibles, 3 variétés sont moyennement sensibles, 9 variétés sont moyennement résistantes et 2 variétés sont résistantes. La variation de la sensibilité observée au sein des variétés peut s'expliquer par les caractéristiques génétiques de chaque variété et de l'habileté du pathogène à surmonter les conditions environnementales spécifiques de l'hôte et à réguler l'expression des gènes de virulence (18).

Aussi les interactions spécifiques entre isolat et variété pourraient expliquer cette différence de sensibilité entre variété.

Les variétés TGX1988-5F, TGX1910-14F, TGX1989-21F et TGX1989-19F moyennement résistants, ont montré des valeurs d'AUSPC élevées en 2013 et 2014 se retrouvant dans le même groupe que des variétés sensibles et moyennement sensibles. Ceci pourrait être dû au fait que certaines maladies sont parfois difficiles à évaluer à cause du fait que certaines variétés avec une résistance adéquate dans une zone pourraient devenir sensibles dans une autre (1). En effet, (3) et (7) ont montré que la diversité des réactions obtenues sous différents environnements pour une même variété est due aux réponses différentielles d'un même groupe de gènes ou à l'expression de différents groupes de gènes. Cette fluctuation de la sévérité au champ pourrait également être due aux conditions environnementales et aux types de variétés. *Xanthomonas* est un genre dont le développement exige de fortes conditions d'humidité, avec une température comprise entre 30-33°C (12). Cette condition est bien caractéristique de la zone Nord. Les variétés témoins ISRA25/72, JUPITER, TGX1985-11F ont développé des valeurs d'AUSPC similaires montrant qu'elles appartiennent à un même groupe de variétés.

Des variétés moyennement résistantes et résistants TGX1740-2F, TGX1835-10F, TGX1987-10F et TGX1740-2F en 2013 et TGX1987-62F en 2014 ont enregistré un faible rendement soit 2-2,3t/ha. Ceci pourrait être dû à une activité photosynthétique intense à cause d'une forte expression du mécanisme de résistance au dépend de l'énergie nécessaire au remplissage des gousses.

Ceci a été démontré par les résultats de Smedegaard-Petersen et Tolstrup (28) dans les interactions incompatibles entre le l'orge et l'oïdium de l'orge.

Des regains de rendement de 2,7 à 26% en 2013 et de 2,2 à 36,6% en 2014 ont été observés au niveau de certaines variétés de soja.

Celles ayant développé de grandes valeurs d'AUSPC seront classées dans le groupe des variétés tolérantes et celles ayant développé de faibles d'AUSPC seront rangées dans le groupe des variétés moyennement résistantes à résistantes.

La nécessité de rechercher d'autres variétés résistantes de soja au sein du pool des variétés améliorées est nécessaire et l'utilisation ces variétés pourraient être combinées avec les dates de semis afin d'assurer un contrôle effectif de la pustule bactérienne du soja.

Conclusion

Il a été montré au cours de cette étude que les variétés TGX1987-62F et TGX1990-15F plus résistantes aux symptômes sont adaptées pour la sélection, et les variétés TGX1989-19F, TGX1985-11F, TGX1440-1E, TGX1985-77F et TGX1910-14F à symptômes modérés et rendements élevés pourront être recommandées aux producteurs. Ces variétés pourraient être explorées à une échelle plus grande dans d'autres centres de productions pour aussi bien leur mécanisme de durabilité que leur efficacité dans la lutte contre la pustule bactérienne du soja.

Remerciements

Les auteurs remercient le Conseil Scientifique de l'Université de Parakou pour le financement de la présente étude.

Références bibliographiques

- Bai G. & Shaner G., 1994, Scab of wheat: prospects for control, *Plant Disease*, **78**, 760-766.
- CaBEV, 2011, *Catalogue Béninois des Espèces Végétales*, 1^{er} éd septembre 2011. 34.
- Cockerham C.C., 1963, *Estimation of genetic variance components*, In: Statistical Genetics and Plant Breeding, Hanson W.D. & Robinson H.F., (eds.), Academic Science of National Research Council Publication, UK, 53-94.
- Dugje I.Y., Omoigui L.O., Ekeleme F., Bandyopadhyay R., Lava Kumar P. & Kamara A.Y., 2009, *Farmers' Guide to Soybean Production in Northern Nigeria*, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, 21.
- Egli D.B. & Bruening W., 1992, Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO, *Agric. & Forest Meteorol.*, **62**, 19-29.
- FAO, 2013, Disponible sur <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.
- Falconer D.S., 1990, Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance, *Genet. Res. Cambridge*, **56**, 57-70.
- Federer W.T., 1956, Augmented (or hoynuiaku) designs, *Hawaiian Plant Rec.*, **55**, 191-208.
- Hayward A. C., 1993, *The hosts of Xanthomonas*, Pages 1-17, In: *Xanthomonas*, Swings J.G. & Civerolo E.L., eds, Chapman & Hall, London.
- Hershman D.E., Hendrix J.W., Stuckey R.E., Bachi P.R. & Henson G., 1990, Influence of planting date and cultivar on soybean sudden death syndrome in Kentucky, *Plant Dis.*, **74**, 761-766.
- Hong J.K., Sung C.H., Kim D.K., Yun H.T., Jung W. & Kim K.D., 2012, Differential effect of delayed planting on soybean cultivars varying in susceptibility to bacterial pustule and wildfire in Korea, *Crop Prot.*, **42**, 244-249.
- Huang X., Zhai J., Luo Y. & Rudolph K., 2008, Identification of a highly virulent strain of *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*, *Eur. J. Plant Pathol.*, **122**, 461-469.
- Janse J.D., 2005, *Phytopathology: principles and practice*, CAB publishing, 360.
- Jeger M.J. & Viljanen-Rollinson S.L.H., 2001, The use of the area under the disease progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars, *Theor. Appl. Genet.*, **102**, 32- 40.
- Jung W.J., Park R.D., Mabood F., Souleimanov A. & Smith D.L., 2011, Effects of *Pseudomonas aureofaciens* 63-28 on defense responses in soybean plants infected by *Rhizoctonia solani*, *J. of Microbiol. Biotechnol.* **21**, 379-386.
- Kaewnum S., Prathuangwong S. & Burr T.J., 2005, Aggressiveness of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* isolates to soybean and hypersensitivity responses by other plant, *Plant Pathol.*, **54**, 409-415.
- Kueneman E.A., Root W.R., Dashiell K.E. & Hohenberg, 1984, Breeding soybean for the tropics capable of nodulating effectively with indigenous *Rhizobium* spp, *Plant Soil*, **82**, 387-396.
- Mekalanos J.J., 1992, Environmental signals controlling expression of virulence determinants in bacteria, *J. Bacteriol.*, **174**, 1-7.
- Narvel J.M., Jakkula L.R., Phillips D.V., Wang T., Lee S.H. & Boerma H.R., 2001, Molecular mapping of Rxp conditioning reaction to bacterial pustule in soybean, *J. Heredity*, **92**, 267-70,
- Ochoa-Acuña H.G., Bialkowski W., Yale G. & Hahn L., 2009, Toxicity of soybean rust fungicides to freshwater algae and *Daphnia magna*, *Ecotoxicol.*, **18**, 440-446.
- Prathuangwong S. & Amnuaykit K., 1987, Studies on tolerance and rate reducing bacterial pustule of soybean cultivars/lines, *Kasetsart J. Nat. Sci.*, **21**, 408-420.
- Prathuangwong S., Preecha C. & Thaveechai N., 1993, *Development standard method and format for measuring severity of soybean bacterial pustule*, In: Proceedings of the 6th International Congress of Plant Pathology 1993, Montreal, Canada, Abstract **6,4.1**.
- Sang M.K., Kim J.D., Kim B.S. & Kim K.D., 2011, Root treatment with rhizobacteria antagonistic to *Phytophthora* blight affects anthracnose occurrence, ripening, and yield of pepper fruit in the plastic house and field, *Phytopathol.*, **101**, 666-678.

24. Shaner G. & Finney R.E., 1977, The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in known wheat, *Phytopathol.*, **67**, 1051-1056.
25. Sharma A., Nair P.M., Pawar S.E., 1993, Identification of soybean strains resistant to *X. campestris* pv. *glycines*, *Euphytica*, **67**, 95-99.
26. Sinclair J.B., 1999, *Bacterial pustule*, In: Hartman G.L., Sinclair J.B. & Rupe, J.B., (Eds.), Compendium of Soybean Disease, *Am. Phytopathol. Soci.*, St. Paul, MN, 6-7.
27. Scott R.A. & Milliken G.A., 1993, A SAS program for analyzing augmented randomized complete-block designs, *Crop Sci.*, **33**, 865-867.
28. Smedegaard-Petersen V. & Tolstrup K., 1985, The limiting effect of disease resistance on yield, *Annual Rev. Phytopathol.*, **23**, 475-490.
29. Suryadi Y., Suhendar M.A., Akhdiya A., Manzila I., Wawan, 2012, Evaluation of soybean germplasm for its resistance to several foliar pathogens in Indonesia, *J. Agric. Technol.*, **8**, 761-773.
30. Wolfinger R.D., Federer W.T. & Cordero-Brana O., 1997, Recovering information in augmented designs using SAS PROC GLM and PROC MIXED, *Agron. J.*, **89**, 856-859.
31. Wrather J.A., Anderson T.R., Arsyad D.M., Tan Y., Ploper L.D., Porta-Puglia A., Ram H.H. & Yorinori J.T., 2001, Soybean disease loss estimates for the top ten soybean-producing countries in 1998, *Can. J. Plant Pathol.*, **23**, 115-121.
32. Zinsou V., Afouda L., Zoumarou-Wallis N., Pate-Bata T., Dannon F., Götz M. & Winter S., 2013, *Présence et caractérisation de Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, agent causal de la pustule bactérienne dans les savanes guinéenne et soudanienne du Bénin, CAMES – Premières journées scientifiques – Abidjan, 5, 6 et 7 décembre 2013, Communication 5.15, 55.

V.A. Zinsou, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

F. Afloukou, Béninois, Ingénieur Agronome, Assistant de Recherche, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

E. Sekloka, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

F. Dannon, Béninois, Ingénieur Agronome, Assistant de Recherche, Université de Parakou, Parakou, Bénin.

N. Zoumarou-Wallis, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

L.A.C. Afouda, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Bénin.

L. Dossou, Béninois, Ingénieur Agronome, Assistant de Recherche Université de Parakou, au LAReM3P, Parakou, Bénin.

Intégration des marchés ruraux et urbains de la banane à cuire dans le sud-est de la Province du Sud du Rwanda

F. Niyitanga^{1*}

Keywords: Rural and urban markets- Cooking banana- Price transmission- Markets integration- Rwanda

Résumé

Ce travail consiste à analyser l'intégration spatiale des marchés ruraux et urbains de la banane à cuire dans le Sud-est de la province du Sud du Rwanda. Il utilise des séries de prix chronologiques allant de 2001 à 2006 constituées à partir d'une enquête sur la commercialisation des produits agricoles sur les marchés ruraux et urbains. L'analyse se fait à l'aide des méthodes de cointégration accompagnées d'un modèle à correction d'erreur (ECM). Les résultats de l'étude montrent qu'il n'y a généralement pas de transmission de prix entre les marchés ruraux et urbains de la banane à cuire. Par conséquent, leur intégration spatiale est faible. Cette faible intégration signifie qu'il existe des opportunités d'arbitrage non exploitées qui auraient conduit à la création de «monopoles géographiques» car, il y a sur chaque marché rural, des commerçants qui collectent la banane à cuire pour la commercialiser uniquement localement. Cette faible intégration spatiale de ces marchés ruraux et urbains peut être liée aux infrastructures commerciales pauvres (routes et infrastructures pour la communication) et au manque d'information sur les forces du marché (offre, demande et prix). Il serait ainsi nécessaire de développer et d'améliorer les infrastructures commerciales pour améliorer l'intégration des marchés de la banane à cuire dans le Sud-Est de la province du Sud du Rwanda. L'intégration des marchés peut à son tour conduire à la spécialisation de producteurs de la banane à cuire et à l'augmentation de la production de cette denrée.

Summary

Integration of Rural and Urban Cooking Banana Markets in the South-East of Rwanda Southern Province

This study consists of the analysis of spatial integration of rural and urban markets of cooking banana in the South-East of Southern province of Rwanda. It uses time series of 2001-2006 period resulting from a survey on agricultural products commercialization in rural and urban markets. The analysis used the methods of co-integration and error correction model (ECM). The results of the study show that there is, in general, weak price transmission between rural and urban markets of cooking banana. Hence rural and urban markets of cooking banana are weakly integrated. The weak integration of markets means that there exist unexploited opportunities of arbitration that would have led to the creation of "geographical monopolies" because, on each rural market, there are traders who collect the cooking banana to sell it only on the same market. This weak spatial integration of rural and urban markets can result from poor commercial infrastructures (roads and communication infrastructures) and the lack of information on market (supply, demand and price). It would be necessary to develop and improve the commercial infrastructures for improving the spatial integration of cooking banana rural and urban markets in the South-East of the Southern province of Rwanda. Market integration can in turn lead to the specialization of producers of cooking banana and to the increase of cooking banana production.

¹Université du Rwanda, Ecole d'Agriculture, Développement rural et Economie agricole, Busogo, Rwanda.

*Auteur correspondant: E mail: fniyitanga@yahoo.fr

Reçu le 17.03.15 et accepté pour publication le 05.07.15

Introduction

Le Rwanda envisage d'être un pays à revenu moyen à l'horizon 2020 (10). D'après le MINECOFIN, ceci exige que l'agriculture contribue à 6.3% à la croissance annuelle du PIB (11). C'est dans ce cadre que le gouvernement recommande l'utilisation de l'engrais chimique et des variétés améliorées, la régionalisation des cultures et le développement des filières agricoles en fonction des marchés (10). Ces derniers stimulent la production agricole et facilitent son écoulement et le transfert du surplus agricole aux autres secteurs de l'économie, condition d'une croissance rapide (6).

Les marchés agricoles domestiques consistent en marchés urbains et ruraux. Ces derniers se trouvent, comme ailleurs au monde, dans des milieux ruraux où ils jouent le rôle fondamental «en tant que structures commerciales de proximité où les petits paysans vendent leurs produits et achètent des biens de consommation» (12). Ils sont donc en amont des filières agricoles qui solidarisent tous les intermédiaires le long d'elles et qui contribuent ainsi à faire progresser le produit vers le consommateur et la rémunération monétaire vers le producteur. Par conséquent, l'écart entre le prix d'achat en amont de la filière et le prix de vente en aval importante implique une diminution des débits des flux ascendants des biens de consommation et des flux descendants des rémunérations (7). Autrement dit, les biens de consommation deviennent plus chers; ce qui implique la diminution des rémunérations des producteurs agricoles qui vendent des produits agricoles pour acheter des biens de consommation. Ce fonctionnement de marché débouche à la démotivation des fermiers, au désinvestissement agricole (c'est-à-dire que le secteur agricole est moins considéré comme un secteur d'investissement rentable) et le retour des fermiers à l'agriculture d'autosubsistance (3 et 4). Les produits agricoles doivent alors circuler des zones de production vers les zones de consommation et chaque opération doit être rétribuée à sa juste valeur pour une commercialisation agricole efficiente (3 et 4); une des conditions pour le développement agricole. Il est donc nécessaire que le bon fonctionnement des

marchés agricoles aille de pair avec le développement des filières agricoles axées sur le marché.

Dans cette optique, le Gouvernement rwandais s'est engagé à promouvoir les systèmes de commercialisation agricoles à travers le développement des filières agricoles d'exportation (internationale et régionale) et de réduction des importations (demande intérieure), la transformation des produits agricoles et le développement des infrastructures économiques (10). Parmi les filières de réduction des importations figurent la filière des bananes composée de trois sous-filières notamment la banane à bière (vin), la banane à cuire et la banane dessert. Le gouvernement a décidé de transformer et de moderniser la filière des bananes en mettant, d'une part, l'accent sur la production de la banane à cuire et dessert pour augmenter les revenus des agriculteurs à travers la commercialisation de la récolte et en décourageant, d'autre part, la production de la banane à bière pour lutter contre l'alcoolisme (9). Ainsi, la production de la banane à cuire devrait passer de 30% à 45%; celle de la banane dessert de 10% à 25% tandis que celle de la banane à bière de 60% à 30% (9). En plus, le gouvernement recommande l'utilisation massive d'engrais minéral et de rejets de banane améliorés, la mise en place de plantations bananières (banane à cuire ou banane dessert) pures et la considération des caractéristiques agro-écologiques et de conditions climatiques favorables au développement de culture de la banane pour mettre en place les plantations bananières.

L'intégration des marchés est l'un des aspects important du bon système de commercialisation des produits agricoles. En effet, elle accroît les revenus des producteurs grâce à une meilleure exploitation des économies d'échelle et des avantages comparatifs et stabilise les prix agricoles en protégeant les marchés intérieurs des chocs; contribuant ainsi à la sécurité alimentaire (8). Son absence empêche, par contre, la transmission des signaux de prix des régions à excédent alimentaire aux régions à déficit alimentaire et la spécialisation des producteurs agricoles selon la théorie de l'avantage comparatif à long terme (8).

Elle implique aussi plus de volatilité de prix et la réalisation difficile des gains du commerce (8). Autrement dit, l'absence d'intégration empêche la spécialisation et de profiter adéquatement les gains du commerce notamment la meilleure application des ressources, l'augmentation rapide des possibilités d'innovation et de changements techniques, le développement d'une économie plus florissante, etc. Par conséquent, cet article vise à analyser l'intégration spatiale des marchés ruraux et urbains de la banane à cuire dans le Sud-Est de la province du Sud du Rwanda.

Matériel et méthodes

Cette étude utilise les séries de prix hebdomadaires de la banane à cuire pour la période 2001-2006 extraites de la base de données du Centre de Recherche et d'Information en Socio-Economie Rurale (CRISER) de l'ancienne Université Nationale du Rwanda. Elles sont traitées à l'aide du logiciel « Eviews 7 » et analysées à l'aide des tests de stationnarité et de cointégration et du modèle à correction d'erreur; les méthodes plus appropriées pour analyser l'efficacité des marchés quand les prix sont les seules données disponibles (1).

Test de stationnarité

Une série chronologique y_t est stationnaire si: -sa moyenne est constante et indépendante du temps (Equation I):

$$(y_t) = \sum (y_{(t+m)}) = \mu \quad \forall t \text{ et } \forall m \quad \text{I}$$

-sa variance est finie et indépendante du temps (Equation II):

$$\text{var}(y_t) < \infty \quad \forall t, \quad \text{II}$$

-sa covariance est indépendante du temps (Equation III):

$$\text{cov}(y_t, y_{(t+k)}) = E[(y_t - \mu)(y_{(t+k)} - \mu)] = \gamma_t \quad \text{III}$$

Le test de stationnarité est utile pour connaître précisément les moments d'une série à étudier et de la rendre stationnaire le cas échéant (2). Les tests de Dickey-Fuller augmentés (ADF) suivants sont appliqués à cette fin (Equations IV, V et VI):

$$\Delta(y_t) = \rho y_{(t-1)} - \sum_{j=2}^p \Phi_j \Delta y_{(t-j+1)} + \varepsilon_t \quad \text{IV}$$

$$\Delta(y_t) = \rho y_{(t-1)} - \sum_{j=2}^p \Phi_j \Delta y_{(t-j+1)} + c + \varepsilon_t \quad \text{V}$$

$$\Delta(y_t) = \rho y_{(t-1)} - \sum_{j=2}^p \Phi_j \Delta y_{(t-j+1)} + c + bt + \varepsilon_t \quad \text{VI}$$

Avec $\varepsilon_t \rightarrow i.i.d$

On estime par les MCO les trois modèles et on teste l'hypothèse $H_0: |\rho| = 1$ contre l'hypothèse $H_1: |\rho| < 1$. Si H_0 est retenue dans l'un de ces trois modèles, la série est non stationnaire (2).

Test de cointégration des variables

On étudie d'abord l'ordre de l'intégration des séries. Une série est intégrée d'ordre d (notée $x_t \rightarrow I(d)$), s'il faut la différencier d fois pour la rendre stationnaire. La cointégration exige que les séries soient intégrées de même ordre. On estime ensuite par les MCO l'équilibre de long terme entre les variables: $y_t = a_1 x_t + a_0 + \varepsilon_t$.

Cette estimation dégage un résidu $e_t = y_t - \hat{a}_1 x_t - \hat{a}_0$ qui doit être stationnaire pour que la relation de cointégration soit acceptée (2).

Estimation du modèle à correction d'erreur (ECM)

On estime d'abord par les MCO la relation de long terme et on calcule le résidu e_t (Equations VII et VIII):

$$y_t = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x_{(1t)} + \hat{a}_2 x_{(2t)} + \dots + \hat{a}_k x_{(kt)} + e_t \quad \text{VII}$$

$$e_t = y_t - \hat{a}_0 - \hat{a}_1 x_{(1t)} - \hat{a}_2 x_{(2t)} - \dots - \hat{a}_k x_{(kt)} \quad \text{VIII}$$

Ensuite, on estime par les MCO l'ECM (Equation IX):

$$\Delta(y_t) = \beta_1 \Delta x_{1t} + \beta_2 \Delta x_{2t} + \dots + \beta_k \Delta x_{kt} + \lambda_1 e_{(t-1)} + \rho y_{(t-1)} + \mu_t \quad \text{IX}$$

$\lambda_1 < 0$.

Le coefficient λ qui est une force de rappel vers l'équilibre doit être significativement négatif. Dans le cas contraire; il faut rejeter la spécification ECM car le mécanisme de correction d'erreur irait dans le sens contraire et s'éloignerait de la cible de long terme (2).

Résultats et discussion

Echange de la banane à cuire entre marchés urbains et ruraux

Il y a deux principaux blocs de commercialisation de la banane à cuire dans le Sud-Est de la province du Sud du Rwanda. Le premier bloc est celui du Nord qui est constitué du marché urbain de Nyanza et des marchés ruraux de Ntyazo et de Rugogwe. Le deuxième bloc est celui du Sud constitué du marché urbain de Ngoma (ville de Butare) et des marchés de production de Nyaruteja et de Viro. Les marchés de Ngoma et de Nyanza s'approvisionnent aussi auprès d'autres zones de production de la banane à cuire. C'est dans ce cadre que le marché de Nyanza s'approvisionne souvent auprès du secteur de Rukondo du district de Nyamagabe (ex-province de Gikongoro). Le marché de Ngoma accueille par contre la banane à cuire provenant du district de Rusizi (ex-province de Cyangugu), de la RDC. Notons que l'analyse économétrique de la transmission de prix entre les marchés urbains et ruraux de la banane à cuire se base sur ces deux blocs d'échange de la banane à cuire.

Transmission de prix entre les marchés urbains et ruraux de la banane à cuire

Etude de la stationnarité des séries

Les séries de prix sur lesquelles porte le test de la stationnarité sont *pnyanza*, *pntyazo*, *pngoma*, *prugogwe*, *pnaruteja* et *pviro*. La Lettre «p» signifie le prix; elle est suivie du nom du marché sur lequel la banane à cuire est commercialisée. Les marchés de Ngoma et Nyanza sont urbains alors les marchés de Viro, Nyaruteja, Rugogwe et Ntyazo sont ruraux.

On constate que pour chacune des séries étudiées, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse d'une racine unitaire quels que soient le modèle et le seuil de décision. Les séries de prix en niveau sont toutes non-stationnaires.

Etude de la relation de long terme entre les marchés ruraux et urbains

Toutes les séries de prix en différences premières n'ont pas de racine unitaire et sont intégrées d'ordre 1 (Tableau 1).

Par conséquent, il y a un risque de la cointégration entre les marchés urbains et ruraux de la banane à cuire. La condition nécessaire à la cointégration étant vérifiée, nous estimons la relation de long terme entre les marchés. Les séries sont transformées en logarithme pour pouvoir interpréter les coefficients des estimations de la relation de long terme comme des élasticités de transmission de prix si les marchés sont intégrés (13). L'estimation se fait en double sens car les marchés peuvent s'influencer mutuellement sur la formation de prix.

Estimons d'abord la relation de long terme entre les marchés du Nord. Les modèles à estimer sont spécifiés comme suit:

$$\text{Modèle 1: } \ln p_{nyanza_t} = \beta_1 + \beta_2 \ln p_{ntyazo_t} + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 2: } \ln p_{ntyazo_t} = \beta_1 + \beta_2 \ln p_{nyanza_t} + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 3: } \ln p_{nyanza_t} = \beta_1 + \beta_2 \ln p_{rugogwe_t} + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 4: } \ln p_{rugogwe_t} = \beta_1 + \beta_2 \ln p_{nyanza_t} + \varepsilon_t$$

L'étude de la stationnarité de la série de résidus issus de chaque estimation montre que les résidus sont tous stationnaires quelque soient le modèle et le seuil considérés (Tableau 2). Par conséquent, il existe la relation de long terme entre les marchés de Nyanza et de Ntyazo d'une part; et de Rugogwe d'autre part.

Etudions ensuite la relation de long terme entre les marchés du Sud. Les modèles à estimer sont spécifiés comme suit:

$$\text{Modèle 1: } \ln p_{nyaruteja_t} = \beta_1 + \beta_2 \ln p_{ngoma_t} + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 2: } \ln p_{ngoma_t} = \beta_1 + \beta_2 \ln p_{nyaruteja_t} + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 3: } \ln p_{viro_t} = \beta_1 + \beta_2 \ln p_{ngoma_t} + \varepsilon_t$$

$$\text{Modèle 4: } \ln p_{ngoma_t} = \beta_1 + \beta_2 \ln p_{viro_t} + \varepsilon_t$$

L'étude de la stationnarité de la série de résidus issue de chaque estimation montre que les résidus sont tous stationnaires quelque soient le modèle et le seuil considérés (Tableau 3). Il existe alors la relation de long terme entre les marchés de Ngoma et de Nyaruteja d'une part; et de Viro d'autre part.

Tableau 1

Tests ADF sur les séries de prix en niveau.

Series de prix	ADF		
	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3
$pngoma_t$	0.02	-0.99	-2.49
$pnyanza_t$	-0.17	-1.72	-2.54
$pntyazo_t$	-0.29	-1.78	-3.06
$prugogwe_t$	-0.35	-2.18	-3.23
$pnyaruteja_t$	0.47	-1.19	-2.68
$pviro_t$	0.71	-1.14	-3.04

Source: Nos calculs avec Eviews

Seuils	1,00%	5,00%	10,00%
Modele1	-2.57	-1.94	-1.61
Modèle 2	-3.45	-2.87	-2.57
Modèle 3	-4.00	-3.43	-3.13

Tableau 2

Résultats de l'estimation des dynamiques de court terme de prix sur les marchés du Nord.

Paramètres de la régression	Equation 1	Equation 2	Equation 3	Equation 4
γ	-0.20 [0.00]	-0.21 [0.00]	-0.14 [0.00]	-0.31 [0.00]
β_1	0.13 [0.06]	0.07 [0.16]	0.07 [0.11]	0.08 [0.30]
β_2	-0.16 [0.00]	-0.21 [0.00]	-0.26 [0.00]	-0.04 [0.49]
R ² ajusté	0.13	0.17	0.15	0.17

Source: Nos calculs avec Eviews, Seuil : 5%, []: Probabilité.

Tableau 3

Résultats de l'estimation des dynamiques de court terme de prix sur les marchés du Sud.

Paramètres de la régression	Equation 1	Equation 2	Equation 3	Equation 4
γ	-0.11 [0.00]	-0.42 [0.00]	0.004 [0.86]	-0.41 [0.00]
β_1	0.08 [0.00]	0.30 [0.01]	0.03 [0.31]	-0.05 [0.61]
β_2	-0.36 [0.00]	-0.04 [0.50]	-0.39 [0.00]	-0.07 [0.23]
R ² ajusté	0.20	0.20	0.16	0.24

Source: Nos calculs avec Eviews, Seuil: 5%, []: Probabilité.

Les résultats de l'étude de la relation de long terme entre marchés urbains et ruraux de la banane à cuire appellent à analyser les dynamiques de court terme de prix sur les marchés ruraux et urbains.

Dynamiques de court terme de prix ruraux et urbains

Analysons d'abord les dynamiques de court terme de prix sur les marchés du Nord. Les équations à estimer sont spécifiées comme suit:

$$1: \Delta \ln pntyazo_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pnyanza_t + \beta_2 \Delta \ln pntyazo_{t-1}$$

$$2: \Delta \ln pnyanza_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pntyazo_t + \beta_2 \Delta \ln pnyanza_{t-1}$$

$$3: \Delta \ln pnyanza_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln prugogwe_t + \beta_2 \Delta \ln pnyanza_{t-1}$$

$$4: \Delta \ln prugogwe_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pnyanza_t + \beta_2 \Delta \ln prugogwe_{t-1}$$

À la lecture du tableau 3, on voit que le terme à correction d'erreur (ECT_{t-1}) est bien significativement négatif pour toutes équations estimées.

Il apparaît aussi que la dynamique de court terme de $\ln pnyanza_t$ dépend de l'erreur (ECT_{t-1}) observée sur la relation de cointégration et de ses propres variations passées ($\Delta \ln pnyanza_{t-1}$)

La dynamique de court terme de $\ln pntyazo_t$ dépend de l'erreur (ECT_{t-1}) observée: sur la relation de cointégration et de ses propres variations passées ($\Delta \ln pntyazo_{t-1}$).

La dynamique de court terme $\ln prugogwe_t$ ne dépend que de l'erreur (ECT_{t-1}) observée sur la relation de cointégration. Aucun coefficient de la relation de long terme n'est significatif. Ceci met en cause l'intégration de marchés de Nyanza et de Ntyazo d'une part, et de Rugogwe d'autre part.

Etudions ensuite les dynamiques de court terme de prix sur les marchés du Sud. Les équations à estimer sont spécifiées comme suit:

$$1: \Delta \ln pngoma_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pnyaruteja_t + \beta_2 \Delta \ln pngoma_{t-1}$$

$$2: \Delta \ln pnyaruteja_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pngoma_t + \beta_2 \Delta \ln pnyaruteja_{t-1}$$

$$3: \Delta \ln pngoma_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pviro_t + \beta_2 \Delta \ln pngoma_{t-1}$$

$$4: \Delta \ln pviro_t =$$

$$\gamma ECT_{t-1} + \beta_1 \Delta \ln pngoma_t + \beta_2 \Delta \ln pviro_{t-1}$$

À la lecture du tableau 3, on s'aperçoit que le terme à correction (ECT_{t-1}) est bien significativement négatif pour toutes les équations estimées à l'exception de l'équation 3. La dynamique de court terme de $\ln pngoma_t$ ne dépend que de l'erreur observée (ECT_{t-1}) sur la relation de cointégration et de ses propres variations passées ($\Delta \ln pngoma_{t-1}$) ainsi que de variation de $\ln pnyaruteja_t$. La dynamique de court terme de $\ln pnyaruteja_t$ ne dépend que de l'erreur observée ECT_{t-1} sur la relation d'équilibre de long terme et de variation de $\ln pngoma_{t-1}$. Les coefficients de la relation de cointégration sont significatifs. Ceci permet de conclure que les marchés de Ngoma et de Nyaruteja sont intégrés. L'élasticité de transmission de prix entre ces marchés est plus ou moins parfaite. La vitesse d'ajustement du marché de Ngoma au marché de Nyaruteja est de 42% dans une période de 7 jours alors que celle du marché de Nyaruteja au marché de Ngoma est de 11% dans une période de 7 jours. Ces vitesses d'ajustement sont faibles étant donné la distance qui sépare ces deux marchés qui peut exiger une heure à deux heures de voyage en camionnette. La dynamique de court terme de $\ln pviro_t$ dépend seulement de l'erreur observée sur la relation de cointégration. Il n'y a aucun coefficient de la relation de long terme qui est significatif. Ceci met en cause l'intégration de marchés de Ngoma et de Viro. La dynamique de court terme de prix sur chaque marché dépend généralement de l'erreur observée sur la relation de cointégration et de ses propres variations passées.

Conclusion

L'analyse de la transmission de prix entre marchés ruraux et urbains de la banane à cuire montre qu'il n'y a généralement pas de transmission de prix entre les marchés ruraux et les marchés urbains à l'exception de marchés de Nyaruteja et de Ngoma pour lesquels l'élasticité de transmission de prix est plus ou moins parfaite. La vitesse d'ajustement de prix sur ces marchés de Nyaruteja et de Ngoma est par contre faible. Ces résultats montrent que les marchés ruraux et urbains de la banane à cuire fonctionnent presque indépendamment les uns des autres.

Les marchés ruraux et urbains de la banane à cuire sont donc faiblement intégrés. Cette faible intégration peut montrer qu'il existe des opportunités d'arbitrage non exploitées. Ces dernières auraient conduit à la création de «monopoles géographiques» qui se traduisent par les commerçants collecteurs basés sur chaque marché rural pour y commercialiser la banane à cuire. Ces commerçants s'intéressent peu donc à la collecte de la banane à cuire pour l'approvisionnement des marchés urbains. La faible intégration des marchés ruraux et urbains peut être liée aux infrastructures commerciales pauvres

(routes et infrastructures pour la communication) et au manque d'information sur les conditions du marché (offre, demande et prix).

Il serait ainsi inévitable de développer et d'améliorer les infrastructures commerciales pour promouvoir et faciliter l'intégration spatiale des marchés de production et de consommation de la banane à cuire dans le Sud-Est de la province du Sud du Rwanda et les échanges commerciaux de la banane à cuire éventuels entre ces marchés. L'intégration spatiale et le développement des échanges commerciaux peuvent à son tour conduire à la spécialisation de producteurs de la banane à cuire et à l'augmentation de la production de la banane à cuire.

Références bibliographiques

1. Barrett C.B. & Li J.R., Distinguishing between Equilibrium and integration in spatial price analysis. In: *Am. J. Agric. Econ.*, **84**, 2, 2002, 292-307.
2. Bourbonnais R., 2005, *Econométrie, manuel et exercices corrigés*, 6^e Edition, DUNOD, 352.
3. Degand J., 2004, *Marchés défaillants ou paysans trop prudents*, communication au séminaire du CRISER, UNR, Butare, 12.
4. Degand J., 2003, *Problématique du fonctionnement des marchés ruraux dans le contexte d'autosuffisance et de sécurité alimentaire*. Communication au séminaire sur l'Étude des marchés des produits agricoles dans la région des grands lacs: cas du Burundi et du Rwanda. Ngozi, 13.
5. Fackler P.L. & Goodwin B.K., 2001, *Spatial price analysis*. In: *Handbook of Agricultural Economics*, 971-1024. Department of Agricultural & Resource Economics, North Carolina State University.
6. Hayami Y. & Ruttan V.W., 1998, *Agriculture et développement, une approche internationale*, Editions INRA, France.
7. Leplaideur A., 1998, *Conflits et alliances entre les marchés internationaux et locaux: riz et légumes dans cinq pays africains*, 473-490. In: *Prix, produits et acteurs. Méthodes pour analyser la commercialisation agricole dans les pays en développement*. Editions KARTHALA- CIRAD - CIP, France.
8. Mabaya E., 2004, *L'intégration spatiale de marchés et échange discontinu: une analyse des marchés spot urbains pour la tomate au Zimbabwe*. In: *Économie rurale*, **283**, 62-71.
9. MINAGRI, 2005, *Programme national pour le développement de la banane*, Kigali, 19.
10. MINAGRI, 2004, *Plan Stratégique pour la Transformation de l'Agriculture au Rwanda*, Kigali, 71.
11. MINECOFIN, 2000, *Vision 2020 du Rwanda*, Kigali, 29.
12. Porter G., 1998, *Méthodes de terrain pour l'étude du rôle des marchés ruraux périodiques dans les PVD*, 175-200. In: *Prix, produits et acteurs. Méthodes pour analyser la commercialisation agricole dans les pays en développement*. Editions KARTHALA-CIRAD- CIP, France.
13. Simioni M., 2003, *Étude sur les liens entre prix agricoles à la production et prix alimentaires*, INRA, 146.

Caractéristiques des sols sous savane et sous forêt naturelle sur le plateau des Batéké en République Démocratique du Congo

B.M. Nsombo^{1*}, R.S. Lumbuenamo¹, J. Lejoly³, J.K. Aloni⁴ & P.M-M. Mafuka⁵

Keywords: Sandy soils- Savanna- Forest- Fertility- Bateke- DR Congo

Résumé

Le raccourcissement continu des jachères dans le système traditionnel de culture sur brûlis figure parmi les contraintes majeures pour la reconstitution naturelle de la fertilité des sols sableux des savanes, qui représentent le tiers des terres arables de la RDC. Au plateau des Batéké, l'agroforesterie en savane figure parmi les alternatives pour l'amélioration de la productivité des sols. La présente étude fait une évaluation préliminaire du cortège de nutriments dans les 120 premiers cm du sol, afin de caractériser la parcelle de savane et de forêt évoluant sur le même matériel parental, ayant la kaolinite comme argile dominante, et de vérifier l'opportunité de soutenir l'agroforesterie en savane. Quatre-vingt-dix échantillons composites ont été prélevés et analysés. La comparaison des moyennes et l'analyse discriminante ont été utilisées. Les résultats d'analyses n'ont pas montré de différences significatives des teneurs en nutriments sous savane et sous forêt. Les meilleurs rendements des cultures sur brûlis en forêt s'expliqueraient plus par la contribution de la matière organique qui produit des grandes quantités de cendre en améliorant la balance nutritionnelle du sol. L'agroforesterie se justifierait alors car elle constitue non seulement une source importante de matière organique, mais permettrait également d'écourter le temps de la jachère.

Summary

Soil Characteristics Under Savanna and Natural Forest on the Bateke Plateau in the Democratic Republic of Congo

One of the major constraints for the natural replenishment of the fertility of savanna sandy soils is the continual shortening of fallow in the traditional slash and burn system. On the Bateke plateau, agroforestry appeared as one of the alternative systems to cope with soils poverty. This study is a preliminary assessment of soil nutrient contents up to 120 cm deep, under natural savanna and forest, developed on the same parent material with kaolinite as dominant clay and to assess the opportunity to support agroforestry. Ninety composite soil samples were collected and analyzed. Mean comparisons and discriminate analyses were used for statistical purpose. The result of statistical analysis did not show significant differences in soil composition. The high yields in shifting cultivation after forest clearance could be explained by the contribution of organic matter, due to large quantities of ashes that improves the nutrient balances in the soil. Agroforestry is then justified not only because of its high supply of organic matter, but also because it can really shorten the fallow duration.

¹Ecole régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux, Kinshasa, RD Congo.

²Professeur Émérite Université libre de Bruxelles, Bxuxelles, Belgique.

³Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, Kinshasa, RD Congo.

⁴Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles, Kinshasa, RD Congo.

*Auteur correspondant: E mail: blnsombo@gmail.com

Introduction

En République Démocratique du Congo (RDC) comme dans toute l'Afrique centrale, les sols sous forêt constituent la cible des agriculteurs qui les préfèrent aux sols de savane, ces derniers donnant des rendements des cultures moins élevés, et ils sont majoritairement sablonneux.

De ces sols sablonneux qui représentent le tiers des terres arables du pays, il y a ceux du plateau des Bateke qui sont issus des sables de recouvrement du groupe de Kalahari (> 90% de sable). Ce sont des sols acides (pH eau moyen inférieur à 5.5), secs, lessivés, et à faible capacité d'échange cationique. Les contraintes majeures pour la reconstitution naturelle de la fertilité du sol sont entre autres dues à un raccourcissement continu des jachères et au système traditionnel de culture sur brûlis, entraînant à brève échéance la dégradation de l'environnement productif; on y pratique que 2 cultures successives au maximum. Les facteurs limitant la mise en valeur de ces sols sont ainsi leur faible fertilité biochimique, leur sécheresse et leur acidité (12).

Pour relever le niveau de fertilité des sols de savane en vue d'une agriculture durable, plusieurs solutions ont été tentées. Parmi celles-ci figure l'usage d'engrais chimiques qui, dans le contexte actuel de l'agriculture rurale paysanne, est fortement limité d'une part, par les coûts élevés d'acquisition et/ou l'inaccessibilité pour les agriculteurs, et d'autre part, l'irrégularité de l'approvisionnement en intrants agricole (5, 8). C'est ainsi que l'utilisation des plantes améliorantes à usages multiples telles que les légumineuses ligneuses, figure parmi les alternatives de premier ordre (15, 17).

C'est dans ce cadre que l'agroforesterie avec *Acacia auriculiformis* Benth. et *Acacia mangium* Willd. prend de l'ampleur au plateau des Bateke. Les plantations de ces essences exotiques sont ainsi établies en remplacement de la savane qui est le couvert végétal dominant de la zone, afin de recréer plus ou moins les conditions de fertilité des sols sous forêt, grâce à l'abondante biomasse produite et incorporer au sol, et leur aptitude à fixer l'azote atmosphérique.

La présente étude est une évaluation préliminaire du cortège des nutriments sous deux parcelles couvertes d'une savane à *Loudetia* sp, couvert végétal dominant du plateau des Bateke et d'un bosquet à *Milletia laurentii* De Wild, relique et témoin des forêts qui recouvraient autrefois le plateau des Bateke. Ces deux couverts qui sont situés à Ibi village ont plus de 10 ans, se développent sur le même *substratum* et sous les mêmes conditions climatiques. L'étude se veut entre autres de vérifier l'opportunité de développer l'agroforesterie avec *Acacia* sp pour l'amélioration de la productivité des sols sableux (du plateau des Bateke), dont les effets sont diversement interprétés. De ces effets il y a l'augmentation des rendements agronomiques des cultures et la diversification des sources de revenu pour les exploitants (11, 23); l'augmentation substantielle de la quantité de litière (12, 21); la diminution du pH du sol sous les plantations d'*Acacias* sp d'au moins 10 ans d'âge (12); la création d'un micro climat aux effets positifs sur l'environnement (19, 22).

Milieu, matériels et méthodes

Le plateau de Bateke est constitué de sols sableux où la kaolinite est l'argile dominante, classés selon le système WRB comme Ferralic Arenosol (Dystric) (2, 10). Son relief monotone est parsemé des dépressions subcirculaires et des rivières encaissées dans les vallées profondes (> 150 m) spécialement dans la partie ouest. La strate herbacée qui constitue la formation végétale la plus étendue est dominée par les *Loudetia demeusei* (De Wild.) C.E. Hubb et *Loudetia simplex* (Nees) C.E. Hubb sur le plateau, et par l'*Hyparrhenia diplandra* (Hack.) Stapf sur les sols des dépressions. La strate arbustive est très discontinue, les arbustes tel que *Hymenocardia acida* Tul. et *Combretum psidioides* Welw. se mêlant aux arbres avec *Pterocarpus angolensis* DC parmi les plus communs. Les forêts galeries semi-sempervirentes et les forêts édaphiques liées aux sols hydro-morphes occupent les berges des cours d'eau, les vallées et les versants des rivières.

Les forêts initiales qui recouvraient essentiellement ces versants sont fortement réduites à des jachères de différents âges en dégradation continue. Des rares îlots forestiers subsistent çà et là, avec des espèces reliques telles que *Millettia laurentii* De Wild., *Dracaena nitens* Welw., *Pentaclethra eetveldeana* De Wild et Th. Dur et bien d'autres (14, 25); ils témoignent de la végétation d'autre fois.

Parmi ces rares îlots figure un bosquet d'une superficie de plus de 10 hectares, protégé depuis plus de 10 ans, qui a suscité un grand intérêt pour la recherche pédologique dans la présente étude. Il est situé sur le plateau des Bateke, à ± 150 km au nord-est dans l'hinterland de la ville de Kinshasa. Ce plateau s'étend sur environ 7.948 km²; dans cette partie de la RDC, le sol est lessivé, profond et sec car bien drainé, la nappe phréatique s'y trouve à plus de 180 m de profondeur (selon les données sur le forage de Mampu). Le climat y est de type Aw₄ selon la classification de Köppen; c'est un climat tropical humide avec 4 mois de saison sèche bien marquée (13).

Des échantillons des sols ont été prélevés autour de deux points géographiquement localisés à 04,32617° S - 16,11630° E en savane et à 04,33022° S - 16,12401° E en forêt. Ces deux sites évoluant côte à côte n'ont pas été mis en culture et ont été protégés des feux de brousse les 10 dernières années (Figure 1).

Chaque échantillon était un composite issu de 3 prélèvements, effectués jusqu'à une profondeur de 120 cm, subdivisée en 3 tranches [de 0 - 30 cm (Pr1); 30 - 60 cm (Pr2) et 60 - 120 cm (Pr3)]. Pour chaque site, il y avait 3 répétitions spatiales et 5 répétitions temporelles (février 2012 - juillet 2012 - novembre 2012 - février 2013 - juillet 2013), suivant la pluviométrie du terroir qui se présente comme repris sur la figure 2.

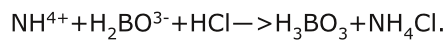
Le nombre total d'échantillons analysés est de 90, soit 45 échantillons par site (2 sites * 3 répétitions spatiales * 3 profondeurs de prélèvement * 5 temps de prélèvement).

Après une semaine de séchage à l'ombre et à l'air libre, les échantillons ont été conditionnés et expédiés au laboratoire «Crop Nutrition Laboratory Services» de Nairobi.

Les caractéristiques suivantes ont été déterminées: le pH, les macros nutriments (N, P, K, Ca, Mg, S); la capacité d'échange cationique (CEC) et les micros nutriments (Na, Zn, B, Cu, Mn, Fe).

Les méthodes de dosage de ces éléments sont décrites par Morgan (18), Mehlich, (16) Anderson & Ingram (1), Faithfull (7) et Okalebo *et al.* (24): Le pH a été mesuré dans une suspension sol/eau, dans un rapport de 1:2, après une agitation magnétique et un temps d'équilibrage de 10 minutes.

L'azote a été déterminé par la méthode Kjeldahl qui a consisté en une minéralisation à l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, suivie d'une distillation par entraînement à la vapeur et enfin la titration de l'ammonium par l'acide chlorhydrique 0.05N en présence d'indicateur suivant la réaction:



Le phosphore a été dosé au spectrophotomètre d'absorption atomique par la méthode d'Olsen dans un rapport de 1:10 (sol/solution d'extraction d'Olsen).

Le potassium, le calcium, le magnésium, le fer, le bore, le soufre, le zinc, le manganèse, le cuivre et le sodium ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique en utilisant l'extrait de Mehlich 3 qui est composé d'acide acétique (C₂H₄O₂) 0.2N, nitrate d'ammonium (NH₄NO₃) 0.25N, fluorure d'ammonium (NH₄F) 0.015N, acide nitrique (HNO₃) 0.013N et d'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA) (C₁₀H₁₆N₂O₈) 0.001M.

Les analyses statistiques (Analyse discriminante et boîtes à moustaches) ont été conduites grâce aux logiciels SPSS 21 et Minitab 16. Il a s'agit d'abord d'une comparaison des moyennes deux à deux pour chaque variable pris isolément (au niveau de signification de 0,05); et d'une analyse discriminante proprement dite (méthode Lambda de Wilks) servant à déterminer les quels des nutriments qui, pris dans l'ensemble, sont les plus différenciant des sols évoluant sous savane de ceux sous forêt.

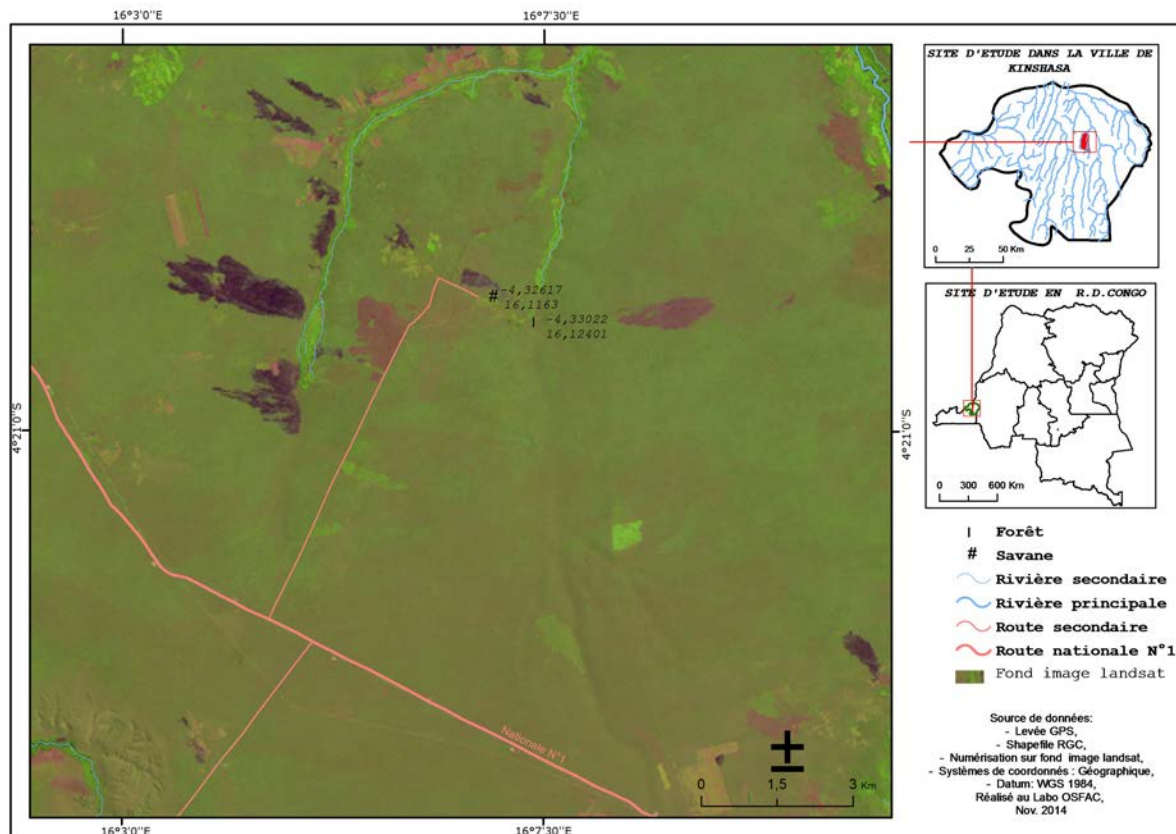


Figure 1: Localisation des sites d'échantillonnage dans la ville de Kinshasa.

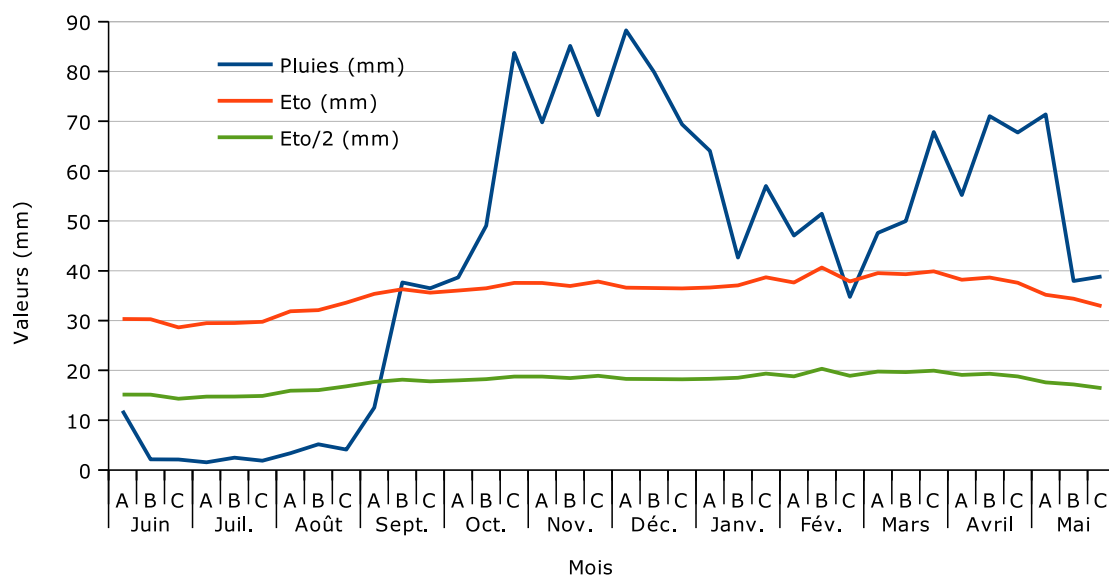


Figure 2: Configuration de la Pluviométrie annuelle du plateau des Bateke.

Résultats et discussion

Caractérisation des écosystèmes et comparaison des moyennes

De 0 à 30 cm de profondeur (Pr1) (Tableau 1), seuls le manganèse ($P_{\text{value}} = 0,001$) et le cuivre ($P_{\text{value}} = 0,004$) présentent des moyennes statistiquement différentes entre la savane et la forêt, les valeurs trouvées en forêt étant les plus basses. Cette supériorité relative de la savane résulterait de l'aération plus importante des sols (le sol étant plus meuble), et de la grande quantité de matière organique dans le sol forestier de surface, affectant négativement la disponibilité du manganèse (27). Le cuivre étant positivement corrélé au manganèse (3), il apparaît logique qu'il présente la même tendance que ce dernier. Les pH des sols sous les deux couverts sont du même ordre de grandeur, ils ont donc la même influence sur la disponibilité des nutriments et les organismes vivants du sol. En effet, selon Bradly (6), les sols ayant des pH de l'ordre 5 à 6 sont classés comme ayant une acidité modérée. En arrondissant à l'unité, les valeurs moyennes des pH en savane (5.16) et en forêt (4.89) se retrouvent dans la gamme des pH autour de 5, en dehors de la gamme optimale (6-7) (6), pour la mobilisation de tous les macronutriments et pour un bon développement et une bonne activité d'un bon nombre de bactéries et d'actinomycètes du sol. Le fer est l'élément le plus abondant, caractéristique pour les sols fortement altérés avec la kaolinite comme argile dominante des Ferralic Arenosols qui forment les sols du plateau des Bateke.

A l'instar des valeurs moyennes de pH, celles des macronutriments (N, P, K, Ca, Mg, S et C), sont de même ordre de grandeur en savane comme en forêt. Les sols sous les deux couverts végétaux sont carencés en K (< 20 g/kg), Mg (< 25 g/kg) et S (< 20 g/kg), mais présentent une suffisance en N (> 2 %), P (> 30 g/kg), Ca (> 40 g/kg) et C (> 1,7 %). De même, sauf le fer, la CEC (<< 15 cmol(+)/kg sol) et les autres micronutriments, ont des valeurs déficitaires (27), authentifiant la nature du substratum en place.

Selon Bradly (6) aux pH inférieur à 5.5, les micronutriments (Zn, Cu et Mn) se retrouvent en abondance dans la solution du sol, pouvant devenir toxiques pour les cultures.

Cependant, dans les sols sous étude, les pH bien qu'inférieur à 5.5, les micronutriments excepté le fer, sont en quantités inférieures aux valeurs minimales recommandées (Tableau 1). Les carences ainsi notées, pour les sols sous savane et sous forêt confirment donc la pauvreté des Ferralic Arenosols du plateau des Bateke, quel que soit le couvert végétal sous le quel ils se trouvent.

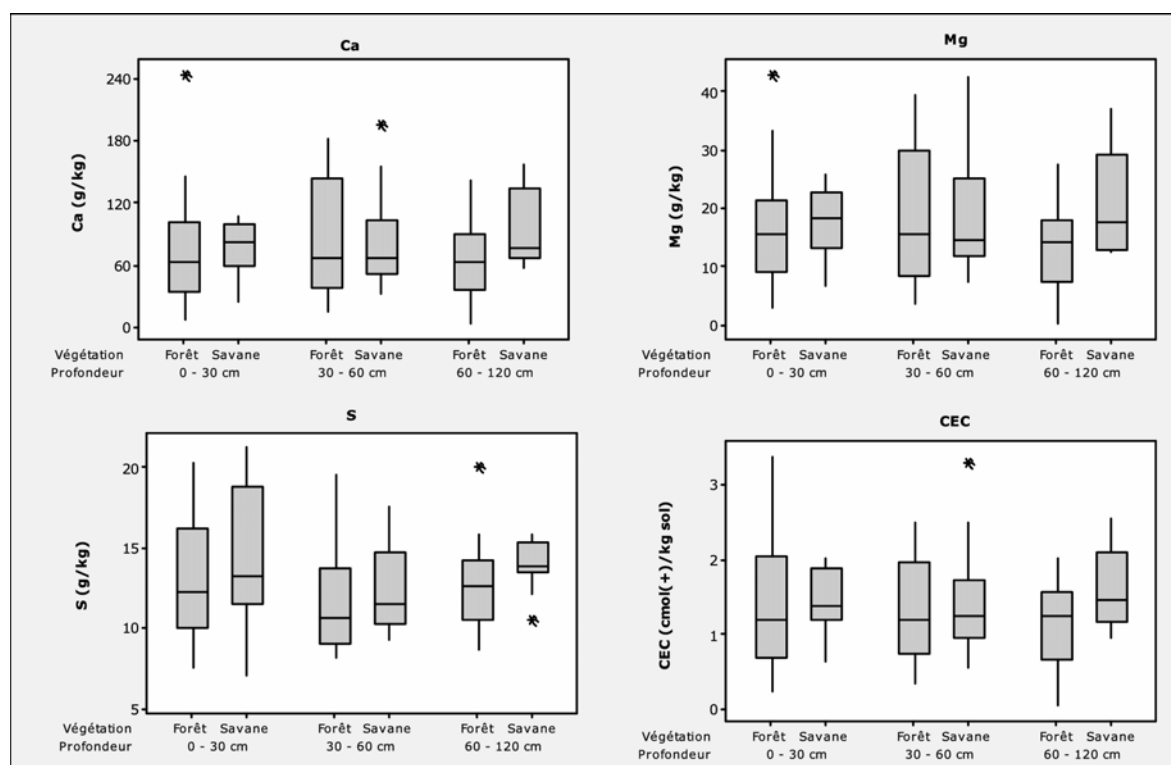
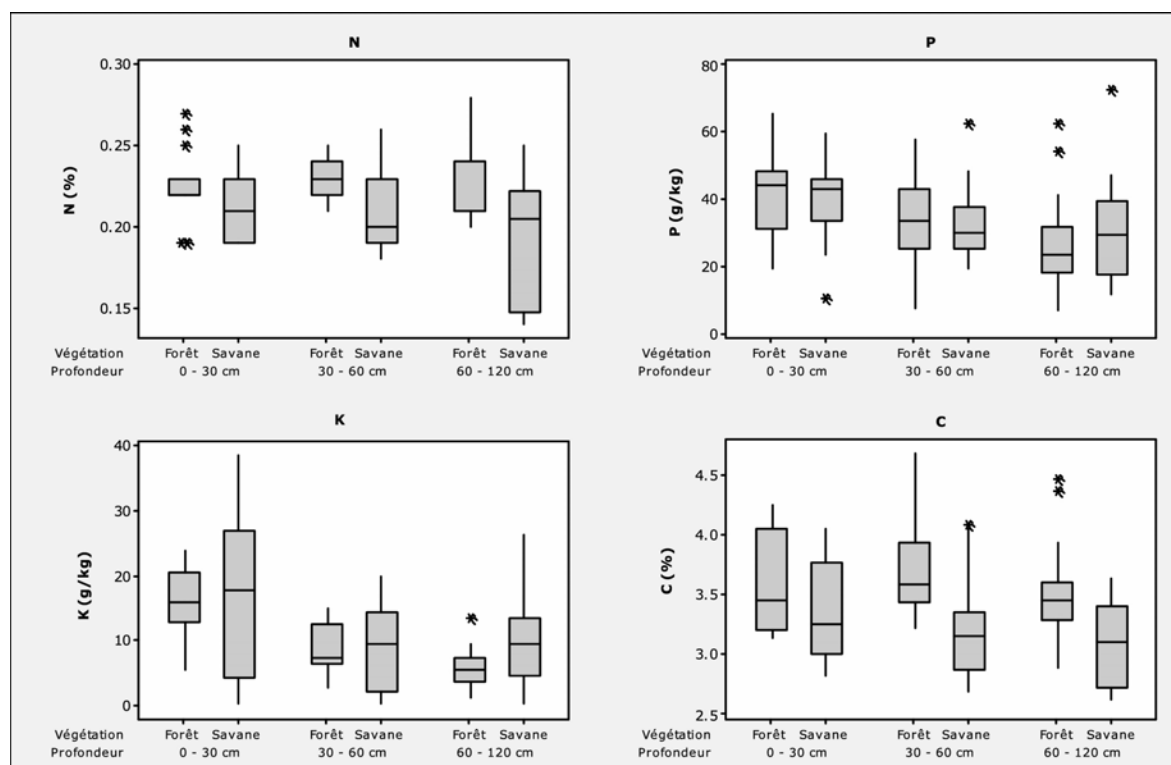
De 30 à 60 cm (Pr2) et de 60 à 120 cm (Pr3), les ressemblances et les différences de la Pr1 se confirment. Les diagrammes en boîtes à moustaches (Figure 3) entre le couvert végétal et la profondeur d'échantillonnage présentent des allures quasi similaires entre la savane et la forêt. Ainsi, les quantités de N, P et K diminuent avec la profondeur, le N diminuant plus vite en savane qu'en forêt; les quantités de P et de K sont plus élevées à la Pr3 en savane qu'en forêt. La même tendance est observée pour le Ca, Mg et S; les concentrations en profondeur sont relativement plus élevées en savane qu'en forêt.

Les diagrammes en boîtes à moustaches couvert végétal – profondeur d'échantillonnage pour les micronutriments (Figure 3) montrent une tendance générale des valeurs moyennes plus élevées sous savane que sous forêt. Les racelles plus abondantes et plus actives dans les horizons supérieures sous forêt peuvent expliquer en partie la consommation plus grande des nutriments rendus disponibles. Ainsi les quantités libérées par la décomposition de la matière organique sont immédiatement récupérées par le système racinaire comme cela a lieu dans toutes les forêts tropicales humides, pour faire la luxuriance de celle-ci. Les quantités de carbone (Tableau 1), et de l'azote sont relativement plus élevées à toutes les profondeurs sous forêt. Ceci confirmerait la présence des grandes quantités de matières organiques produites et en décomposition sous forêts, qui migrent en partie vers les profondeurs.

Tableau 1

Comparaison des moyennes des caractéristiques chimiques des sols sous végétation naturelle sur le plateau des Bateke ($P_{\text{value}} = 0,05$).

Caractéristiques des sols	Profondeur (cm)	Végétation		P_{value}
		Forêt	Savane	
PH (6 - 7)	0 - 30	4,89 ± 0,23	5,16 ± 0,14	0,353
	30 - 60	5,12 ± 0,20	5,30 ± 0,13	0,514
	60 - 120	5,20 ± 0,18	5,19 ± 0,16	0,427
N (%) (0,2 - 0,5)	0 - 30	0,21 ± 0,02	0,20 ± 0,01	0,05
	30 - 60	0,22 ± 0,01	0,21 ± 0,03	0,001
	60 - 120	0,23 ± 0,03	0,17 ± 0,04	0,001
C (%) (2 - 4)	0 - 30	3,61 ± 0,41	3,38 ± 0,45	0,152
	30 - 60	3,72 ± 0,43	3,24 ± 0,44	0,005
	60 - 120	3,37 ± 0,41	3,08 ± 0,34	0,055
P (g/kg) (30 - 100)	0 - 30	42,05 ± 11,84	40,17 ± 6,04	0,571
	30 - 60	26,51 ± 11,10	27,52 ± 6,26	0,694
	60 - 120	22,87 ± 4,43	28,32 ± 12,51	0,4
K (g/kg) (20 - 200)	0 - 30	14,82 ± 5,24	23,73 ± 8,71	0,221
	30 - 60	8,10 ± 3,51	10,99 ± 5,48	0,681
	60 - 120	7,74 ± 1,44	5,52 ± 4,36	0,18
Ca (g/kg) (40 - 400)	0 - 30	36,80 ± 28,70	64,70 ± 24,50	0,471
	30 - 60	42,17 ± 19,97	77,50 ± 59,80	0,29
	60 - 120	45,45 ± 15,48	68,18 ± 8,34	0,148
Mg (g/kg) (25 - 400)	0 - 30	9,68 ± 6,12	15,03 ± 5,54	0,479
	30 - 60	9,63 ± 4,91	16,95 ± 12,88	0,315
	60 - 120	9,34 ± 3,50	15,00 ± 2,33	0,138
S (g/kg) (20 - 200)	0 - 30	17,03 ± 2,62	17,07 ± 3,41	0,982
	30 - 60	15,65 ± 3,15	16,03 ± 1,81	0,843
	60 - 120	12,94 ± 2,40	14,68 ± 1,14	0,239
CEC (cmol(+)/kg sol) (15 - 30)	0 - 30	0,86 ± 0,49	1,22 ± 0,37	0,502
	30 - 60	0,85 ± 0,44	1,33 ± 0,98	0,352
	60 - 120	0,86 ± 0,29	1,25 ± 0,22	0,197
Zn (g/kg) (2 - 20)	0 - 30	0,77 ± 0,38	1,11 ± 0,49	0,306
	30 - 60	0,79 ± 0,34	1,36 ± 0,65	0,174
	60 - 120	0,35 ± 0,27	0,77 ± 0,09	0,004
Cu (g/kg) (2 - 10)	0 - 30	0,19 ± 0,01	0,36 ± 0,08	0,004
	30 - 60	0,19 ± 0,02	0,26 ± 0,11	0,267
	60 - 120	0,26 ± 0,12	0,18 ± 0,00	0,23
Mn (g/kg) (60 - 250)	0 - 30	1,37 ± 0,37	4,53 ± 0,24	0,001
	30 - 60	1,09 ± 0,18	1,73 ± 0,73	0,139
	60 - 120	1,24 ± 0,29	1,16 ± 0,14	0,64
Fe (g/kg) (60 - 350)	0 - 30	266,50 ± 49,40	316,50 ± 26,60	0,121
	30 - 60	205,50 ± 29,60	231,50 ± 18,63	0,188
	60 - 120	178,90 ± 49,40	237,30 ± 51,20	0,152



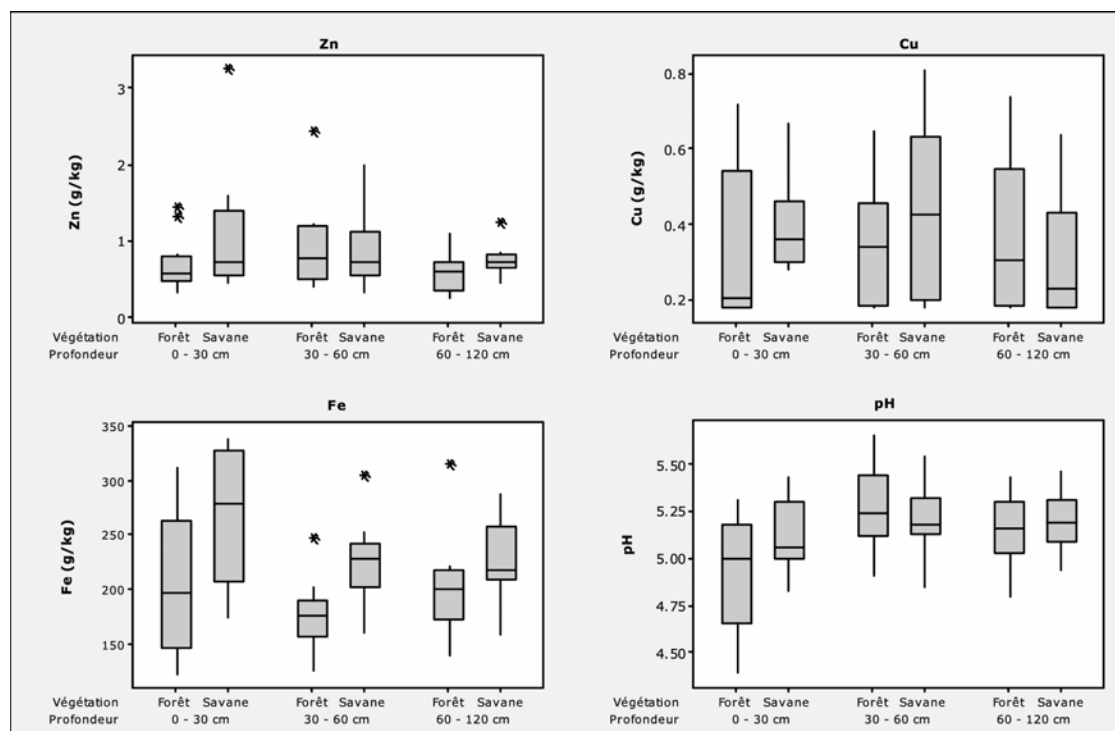


Figure 3: Boîtes à moustaches des caractéristiques chimiques des sols analysés en fonction du couvert végétal et de la profondeur d'échantillonnage.

Éléments discriminants la savane de la forêt

À la Pr1, le fer ($P_{\text{value}} = 0.023$) est le premier nutriment qui différencie les sols sous savane ($270,30 \pm 59,50$ g/kg) des sols sous forêt ($208,80 \pm 63,90$ g/kg). Il est associé ensuite avec le Cu ($0,40 \pm 0,13$ g/kg sous savane et $0,35 \pm 0,21$ g/kg sous forêt) ($P_{\text{value}} = 0,012$) et le P ($39,26 \pm 11,80$ g/kg sous savane et $40,17 \pm 13,04$ g/kg sous forêt) ($P_{\text{value}} = 0.003$).

Les sols du plateau de Bateke sont tous des Ferralic Arenosols; le fer est l'un des éléments caractéristiques dans ce type de sol. Que ce dernier soit l'élément discriminant à priori la savane de la forêt dans les 30 premiers cm de profondeur, peut s'expliquer par une plus grande formation de complexe «fer-matière organique» sous forêt. Ce complexe migre en profondeur, appauvrissant quelque peu l'horizon superficiel du sol en cet élément. Bien que le cuivre et le phosphore soient aussi introduits comme éléments différenciant les deux couverts dans la première profondeur, le cuivre comme oligoélément est déficitaire sous les deux couverts tandis que les valeurs moyennes, tout comme les minimums et les maximums de phosphore sont quasi les mêmes.

À la Pr2 (Tableau 2), l'azote ($P_{\text{value}} = 0,001$) et le cuivre ($P_{\text{value}} = 0,001$) différencient les deux couverts, avec une accumulation plus prononcée du cuivre sous savane et une migration plus efficace du Pr1 vers le Pr2, de l'azote (ou du moins du complexe organo-minéral) sous forêt.

À la Pr3 (Tableau 2), c'est le magnésium ($P_{\text{value}} = 0,001$), l'azote ($P_{\text{value}} = 0,005$), le soufre ($P_{\text{value}} = 0,001$) et le cuivre qui discriminent les sols de la savane de ceux du couvert forestier.

Tableau 2

Résultats de l'analyse discriminante par la méthode Lambda de Wilk.

Profondeur (cm)	Variables	Signification
0 - 30	Fe	0,02
	Cu	0,01
	P	0
30 - 60	N	0
	Cu	0
60 - 120	Na	0,01
	Mg	0
	N	0
	S	0
	Cu	0

À l'instar du phosphore à la Pr1, les teneurs en azote à la Pr2 et en soufre à la Pr3 sont quasi les mêmes sous savane et sous forêt; par contre, les différences sont nettement marquées pour le cuivre dans les deux premières profondeurs et pour le magnésium à la Pr3.

Ainsi, en considérant la disponibilité en nutriments des sols sous savane et sous forêt, les teneurs moyennes de la couche allant de 0 à 30 cm de profondeur de tous les macronutriments et de la majorité des micronutriments sont similaires. Les différences minimales des teneurs, par ailleurs statistiquement non significatives dans la majorité des cas, ne peuvent justifier les différences des rendements observées dans les cultures pratiquées en savane ou en forêt, après la coupe et le brûlis de l'un ou l'autre couvert végétal. L'obtention des meilleurs rendements après la coupe de la forêt pourrait être attribuable à une présence plus abondante de la matière organique (4, 9), libérant dans la cendre, les nutriments que contenaient la litière et autres débris venant de l'abattage des arbres. L'agroforesterie sous toutes ses formes, les cultures de couverture, etc., sont autant d'alternative à la production de grandes quantités de matière organique (21, 26) pour compenser la pauvreté chimique des sols, sur des vastes étendues des sols arables mais pauvres de savane.

Conclusion

Ce travail sur les propriétés chimiques (pH, N, P, K, Ca, Mg, S, C, Na, Zn, Cu, Fe) des sols des parcelles à couvert végétal naturel, s'était proposé de trouver les caractéristiques spécifiques susceptibles de différencier les sols sous une végétation savannicole et forestière évoluant sur un substratum sableux (> 90% de sable), afin de justifier la nécessité ou non de soutenir l'agroforesterie sur le plateau des Bateke en RDC.

L'interprétation des résultats issus des différentes analyses a permis de conclure qu'il est difficile à partir des analyses des sols, de trouver des différences agronomiques significatives sous des couverts végétaux naturels évoluant sur le même substrat sableux, sous les mêmes conditions climatiques.

Ainsi, les meilleurs rendements obtenus après culture sur brûlis en forêt sur ce substrat sableux, résulteraient de l'apport élevé en matière organique provenant de l'abondante biomasse de la litière et autres matières organiques issues directement de l'abattage des arbres lors de la préparation du terrain de culture. Ceci par le fait que la grande quantité de cendre produite, améliore la balance en éléments fertilisants du sol, du moins pour les premières semaines, avant que le lessivage et le ruissellement n'interviennent. Il y a aussi le rôle même de la matière organique sur les propriétés biologiques et physiques du sol. L'agroforesterie se justifierait alors bien car non seulement qu'elle va constituer une source non contestée de la matière organique, mais elle permet aussi d'écourter le temps de la jachère à 5-8 ans au lieu de 10 à 15 ans. C'est le cas depuis plus de 20 ans au centre agroforestier de Mampu; bien qu'on y pratique toujours une rotation de culture après la jachère améliorée avec *Acacia* sp., la rotation spatio-temporelle est de maximum 8 ans. Les fermiers ont vu les rendements fréquemment obtenus pour le manioc passé de 9 à 15 t/ha, et celui du maïs passé de 0,5 à environ 1,5 t/ha. En plus, la part de leur revenu total venant de la carbonisation et de l'apiculture (les principales activités découlant des plantations d'*Acacia* sp.) est d'environ 40% (23).

Références bibliographiques

1. Anderson J.M. & Ingram J.S.I., 1993, *Tropical soil biology and fertility: A Handbook of methods*. CABI International, Wallingford, Oxon, England. 240.
2. Baert G., Van Ranst E., Ngongo M.L., Kasongo E.L., Verdoodt A., Mujinya B.B. & Mukalay J.M. 2009, Guide des sols en R.D. Congo. Tome II: *Description et données physico-chimiques de profils types*. Imprimerie Salama Don-Bosco, Lubumbashi, R.D. Congo. 321.
3. Baize D., 1997, *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols* (France). Éditions Quae, France, 408.
4. Bakele-Tesemma A., 2007, *Profitable agroforestry innovation for Eastern Africa: Experiences from 10 agroclimatic zones of Ethiopia, India, Kenya, Tanzania and Uganda*. World Agroforestry Center (ICRAF), Eastern Africa region. 358.
5. Bekunda M.A., Bationo A. & Ssali H., 1997, *Soil fertility management in Africa : A review of selected research trials*. In Replenishing soil fertility in Africa. SSSA special publication, n° 51.
6. Brady N.C., 1974, *The nature and properties of soils*, 8th Edition. Macmillan Publishing CO., INC. 639
7. Faithfull N.T., 2002, *Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook*. CABI publishing Wallingford UK. 206
8. FAO, 2007, *Management of tropical sandy soils for sustainable agriculture. A holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics*. FAO, Rome, 536.
9. FAO, 2005, *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food and production*. FAO, Rome, 95.
10. IUSS Working Group WRB., 2014, World Reference Base for Soil Resources 2014. *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome Italie, 191.
11. Kalaba K.F., Chirwa P., Syampungani S. & Ajayi C.O., 2010, Contribution of agroforestry to biodiversity and livelihoods improvement in rural communities of Southern African regions. 461 – 476 in Tschardt T., Leuschner C., Veldkamp E., Faust H., Guhardja E., Bidin A. (Eds.), *Tropical Rainforests and Agroforests under Global Change*, Environmental Science and Engineering. Springer. 519.
12. Kasongo K., 2010, *Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau des Batéké (RD Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux*. Thèse de doctorat; Université de Gant, 400.
13. Köppen W., 1931, *Grundriss der Klimakunde. Handbuch*. 2nd eds., Berlin, Walter de Gruyter. 388 p.
14. Lubini A., 1988, *Les sols de jachères et les pâturages du Centre agricole de Mbankana*. Fondation Hanns-seidel, Kinshasa, 38.
15. Mboukou-Kimbatsa I.M.C., Bernhard-Reversat F. & Loumeto J.J., 1998, Change in soil macrofauna and vegetation when fast-growing trees are planted on savanna soils. *Forest Ecology and Management* 110, *Elsevier Sci. B.V.*, 1 -12.
16. Mehlich A., 1984, Mehlich-3 soil test extractant. A modification of mehlich -2 extractant, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **15**, 12, 1409 – 1416.
17. Mlambo D., Nyathi P. & Mapaure I., 2005, Influence of *Colophospermum mopane* on surface soil properties and understorey vegetation in a southern African savanna. *Forest Ecology and Management* 212, *Elsevier B.V.*, 394–404
18. Morgan M.F., 1941, Chemical soil diagnosis by the universal soil testing system. [New Haven] Connecticut Agricultural Experiment Station; Bulletin 450, *Revision Bull.*, **392**, 579 – 626.
19. Nair P.K.R. & Garrity D., 2012, *Agroforestry: The future of global land use*, *Adv. Agrofor.*, **9**, Springer, 541.
20. N’Goran K.E., Kassim K.E., Zohouri G.P. & Yoro G.R., 2012, Gestion améliorée de la jachère dans le système de culture à base d’igname par l’utilisation de légumineuse de couverture, *J. Appl. Biosci.*, **52**, 3716 - 3724.
21. N’Goran A., 2005, *Amélioration de la fertilité chimique des sables quaternaires en Côte d’Ivoire dans l’association cocotier/Acacia spp.* Thèse de doctorat; Université de Gant, Faculté des sciences en Bio – ingénierie, 193.

22. Nsombo M.B., Thomas T.S., Kyotalimye M. & Waithaka M., 2013, *Democratic Republic of Congo*, Pp 89–119. In: Waithaka M., Nelson G.C., Thomas T.S., & Kyotalimye M.: East African Agriculture and climate change: A comprehensive analysis. IFPRI, Washington DC; USA. 402.
23. Nsombo M.B., 2005, *Utilisation actuelle des terres dans le Rayon du centre d'appui au Développement Intégré de Mbankana au Plateau des Bateke*. Mémoire de DESS, ERAIFT, 71.
24. Okalebo J.R., Gathua K.W. & Woomer P.L., 2002, Laboratory methods of soil and plant analysis: A working Manual 2nd edition. TSBT-CIAT and SACRED Africa, Nairobi, Kenya, 128.
25. Pauwels L. & Nzayilu N'ti, 1993, Guide des arbres et arbustes de la région de Kinshasa – Brazzaville. Jardin Botanique national de Belgique, 495.
26. Schroth G. & Sinclair F.L., 2003, Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods. CABI Publishing, 437.
27. Wolf B., 2000, The fertile triangle: The Interrelationship of Air, Water, and Nutrients in Maximizing Soil Productivity. Food products press. 463.

B.M. Nsombo, Congolaise (RDC), Doctorant, Ecole régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux, Kinshasa, RD Congo.

R.S. Lumbuenamo, Congolais (RDC), PhD, Professeur, Ecole régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux, Kinshasa, RD Congo.

J. Lejoly, Belge, PhD, Professeur Émérite, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique; Professeur, Ecole régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux, Kinshasa, RD Congo.

J.K. Aloni, Congolais (RDC), PhD, Professeur à l'Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la terre, Kinshasa, RD Congo.

P.M-M. Mafuka, Congolaise (RDC), PhD, Professeur, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles, Kinshasa, RD Congo.

Dynamique des populations du puceron *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) sur le cotonnier en conditions de fertilisation minérale et rhizobacteriologique

G.D. Fayalo^{1, 2}, A. Aouco¹ & T.B.C. Alavo^{1*}

Keywords: Aphids- *Aphis gossypii*- Rhizobacteria- *Bacillus amyloliquefaciens*- Crop protection- Benin

Résumé

Pour améliorer le rendement agricole, on est amené à établir des programmes de fertilisation des sols et de protection phytosanitaire souvent basés essentiellement sur l'utilisation des intrants chimiques. Cependant, l'utilisation des engrais chimiques peut entraîner la dégradation des sols et favorise le développement des insectes ravageurs piqueurs-suceurs. Il est donc nécessaire de rechercher des méthodes de fertilisation alternatives qui permettraient de limiter la prolifération des insectes. La rhizobactérie *Bacillus amyloliquefaciens* est connue comme bio-fertilisant. Le présent travail vise à évaluer la dynamique des populations du puceron *A. gossypii* Glover sur le cotonnier en fonction du matériel de fertilisation utilisé, à savoir la souche de *B. amyloliquefaciens* FZB 42 et l'engrais minéral (NPKSMgB: 21-17-10-4,5-3,5-0,75). A cet effet, trois variantes ont été testées: trempage des semences dans la suspension de la rhizobactérie, application de NPKSMgB et un témoin (sans apport de fertilisant). Les résultats ont montré que les cotonniers fertilisés avec de l'engrais minéral ont de façon significative attiré plus de pucerons que les plantes fertilisées avec *B. amyloliquefaciens*. Sur la base de ces résultats et de données obtenues dans d'autres essais menés en plein champ qui montraient un effet positif de l'application de *B. amyloliquefaciens* sur le rendement du cotonnier, on peut conclure que l'utilisation de cette rhizobactérie peut constituer une solution intéressante pour la fertilisation du cotonnier.

Summary

Population dynamics of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on cotton under mineral and rhizobacteria fertilization conditions

The intensive use of chemical fertilizers might lead to soil degradation and promotes the proliferation of sucking insect pests. It is therefore necessary to look for alternative crop fertilization system enabling reduction of such insect pests' proliferation. The rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* is known as bio-fertilizer. The present work aimed at assessing the population dynamics of the aphid *Aphis gossypii* Glover on cotton based on different fertilization treatments, namely: *B. amyloliquefaciens* FZB42 and mineral fertilizers (NPKSMgB: 21-17-10-4, 5-3, 5-0,75). Three treatments were tested: soaking cotton seeds in the rhizobacterium suspension, application of mineral fertilizers, and control (no fertilizer). The results showed that the cotton plants fertilized with NPKSMgB attracted significantly more aphids than plants which were fertilized with *B. amyloliquefaciens* FZB 42. Based on these results and data obtained in other trials in the field that showed a positive effect of the application of *B. amyloliquefaciens* on cotton yield, one can conclude that the use of this bacterium may be an interesting solution for fertilizing cotton crops.

¹ Université d'Abomey Calavi, Laboratoire d'Entomologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques, Godomey, Bénin.

² Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres, Godomey, Bénin.

*Auteur correspondant: Email: thieryalavo@hotmail.com

Introduction

Le puceron *Aphis gossypii* Glover est un insecte piqueur-suceur polyphage très répandu dans les régions chaudes du monde. De par sa reproduction rapide (par parthénogenèse), cet insecte ravageur se rencontre en nombre impressionnant sur plusieurs cultures. *A. gossypii* occasionne la déformation du feuillage tout en produisant du miellat sur lequel se développe une fumagine; il transmettrait une cinquantaine de virus (3).

Au Bénin, les programmes de fertilisation du cotonnier sont exclusivement minéraux et recommandent l'utilisation annuelle d'environ 200 kg/ha d'engrais NPKSMgB. Ces programmes de fertilisation en plus d'être onéreux pourraient favoriser la prolifération des pucerons du fait de l'augmentation de la teneur en azote des plantes qu'ils induisent. Une concentration élevée en azote accélère en effet la multiplication de ces insectes (9, 10, 16). Il est donc nécessaire de mettre au point un système de fertilisation qui permettrait de réduire la vulnérabilité des plantes par rapport à ces insectes ravageurs.

On trouve les bactéries dans le sol, à raison de 6.10^8 cellules/g en moyenne. Avec un poids vif d'environ 10.000 kg/ha (5), les bactéries représentent les microorganismes les plus fréquents dans les échantillons de sol. Les espèces de bactéries les plus fréquemment isolées des échantillons de sol appartiennent au genre *Bacillus* (7).

Déjà en 1897, un biofertilisant rhizobactériologique a été commercialisé sous le nom de 'Alinit' par la compagnie allemande Bayer AG pour l'inoculation des céréales. Ce produit était composé de spores d'une bactérie connue aujourd'hui sous le nom de *Bacillus subtilis*. L'utilisation d'Alinit a permis d'obtenir une augmentation de 40% du rendement des céréales. Au milieu des années 90, on a commencé par utiliser massivement *Bacillus subtilis* aux Etats-Unis pour le traitement des semences sur plus de 2 millions d'hectares (4).

B. subtilis FZB24® est commercialisé en Allemagne depuis 1999 et est utilisée principalement pour le traitement des semences de pomme de terre. *B. subtilis* FZB24® s'établit à titre provisoire dans la rhizosphère de la plante cultivée.

De nombreux travaux ont décrit les mécanismes d'action bénéfique de cette souche sur la plante cultivée (7,8,19).

Des travaux conduits sur le cotonnier au Tadjikistan ont révélé que l'inoculation des semences du cotonnier avec *B. subtilis* FZB 24® a permis d'obtenir un rendement similaire à ce qu'on obtient avec une fertilisation minérale complète (18). RhizoVital ® 42 I est un produit naturel contenant des spores de la rhizobactérie *Bacillus amyloliquefaciens* FZB 42, un microorganisme non pathogène qui existe naturellement dans les sols.

Cette rhizobactérie stimule la croissance des plantes et augmente la tolérance au stress abiotique et le rendement des plantes (1). Au Bénin, l'effet de *B. amyloliquefaciens* FZB 42 combinée avec des doses réduites d'engrais minéraux pour la fertilisation du cotonnier a été étudié. Les résultats ont montré que, combinée à 50% de la dose d'engrais minéraux recommandée, cette rhizobactérie permet d'obtenir un rendement en coton-graine comparable à celui obtenu en conditions de fertilisation minérale pleine (2).

La présente étude vise à évaluer la dynamique des populations du puceron *A. gossypii* Glover sur le cotonnier, sous l'effet de l'application de la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* FZB42 et d'engrais minéraux, en vue de déterminer si la fertilisation basée sur l'utilisation de cette rhizobactérie permettrait de limiter la prolifération de ce ravageur.

Matériel et méthodes

Milieu d'étude

Les travaux ont été conduits à la station expérimentale de la Faculté des Sciences Agronomiques (Université d'Abomey-Calavi) (06° 24'N, 02° 20'E). Le climat dans la zone d'étude est de type subéquatorial et caractérisé par deux saisons de pluies et deux saisons sèches.

Application du biofertilisant *Bacillus amyloliquefaciens* et d'engrais minéraux

Le matériel végétal utilisé est le cotonnier (*Gossypium hirsutum*) (variété H279-1). Les plants ont été cultivés dans des pots de sept litres de volume arrosés régulièrement pour éviter l'apparition de stress hydrique.

Trois variantes ont été testées, à savoir:

- trempage des semences dans la suspension de la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens*,
- fertilisation avec de l'engrais minéral composé (NPKSMgB: 21-17-10-4,5-3,5-0,75) et
- le témoin (sans apport de fertilisant).

L'essai a été réalisé selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets (blocs de Fisher) avec 6 blocs composés chacun de 12 plants. Pour pouvoir tirer des conclusions fiables, cet essai a été répété 3 fois dans le temps; le semis a eu lieu respectivement le 16 juillet, le 14 novembre et le 3 décembre 2013 pour la première, deuxième et troisième répétition.

Nous avons utilisé la souche FZB 42 de la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* (formulation commerciale dénommée "*Rhizo Vital*") (ABITEP GmbH, Allemagne). "*Rhizo Vital*" est un produit contenant $2,5 \cdot 10^{10}$ cfu /ml.

Pour réaliser les essais, les semences ont été traitées avec la suspension de rhizobactéries à la concentration de 10^7 spores/ml.

Pour ce faire, 10 ml de '*RhizoVital*' ont été dilués dans 1 L d'eau potable. Les semences ont été trempées dans la préparation ainsi obtenue pendant 30 min puis séchées à l'ombre durant 15 minutes, avant d'être semées aussitôt après.

Quant aux engrais minéraux, ils ont été appliqués 3 fois, à intervalles de 10 jours à raison de 5 g de granulés par pot et par application.

A cet effet, 5 g de granulés d'engrais minéraux ont été dissous dans un litre d'eau et la solution ainsi obtenue a été appliquée au pied de la plante. La première application d'engrais a eu lieu 14 jours après semis.

La composition chimique de l'engrais utilisé est la suivante:

N (21%): P_2O_5 (17%): K_2O (10%): S (4,5%): MgO (3,5%): B_2O_3 (0,75%).

Cet engrais est fabriqué par la firme YARA (France) et est commercialisé au Bénin pour la production cotonnière.

Détermination de la dynamique des populations d'*Aphis gossypii* sur les plants expérimentaux

Pour déterminer la dynamique des populations des pucerons, nous les avons comptés un à un sur chaque plant tous les trois jours ($n = 72$ pour chaque traitement).

On arrête ces observations au moment où les populations de pucerons deviennent trop denses et difficiles à compter. Cela se produit en général 26 jours après le semis.

Analyse statistique

Pour l'analyse statistique des données, nous avons réalisé des tests non paramétriques (Mann-Whitney test), étant donné que les résultats ne remplissent pas les critères pour subir les tests paramétriques (ANOVA).

Le seuil de signification utilisé était de 5%. Le progiciel de statistique SPSS version 16.0 a été utilisé.

Résultats

Dynamique des populations d'*Aphis gossypii* au cours de la première répétition

La figure 1 montre l'évolution des populations du puceron *A. gossypii* selon les variantes testées. La densité des pucerons a augmenté rapidement au niveau de la variante "NPK" (engrais minéraux) et a atteint un nombre moyen de 128,99 individus par plant au 24^{ème} jour après semis, contre respectivement 31,64 et 49,06 individus par plant au niveau des variantes "*Bacillus*" (bio-fertilisant) et "*Témoin*" (sans traitement).

A la fin de l'expérience, le nombre moyen de pucerons par plant se chiffre respectivement à 50,71; 104,82 et 40,82 individus pour les variantes "*Témoin*", "NPK" et "*Bacillus*".

L'analyse statistique a révélé qu'il y a une différence significative au seuil de 5% entre les trois variantes.

Dynamique des populations d'*A. gossypii* au cours de la deuxième répétition

Les résultats obtenus au cours de la deuxième répétition de l'essai sont présentés dans la figure 2.

Au niveau de la variante "NPK" les pucerons se sont rapidement multipliés et leur nombre a atteint une moyenne de 74,27 par plant à la fin de l'essai. Au niveau des autres variantes, la densité des pucerons a lentement augmenté pour atteindre, à la fin de l'essai, une moyenne de 6,5 et 24,33 individus par plant, respectivement pour les variantes "*Témoin*" et "*Bacillus*".

L'analyse statistique des données a révélé qu'il y a une différence significative au seuil de 5% entre les trois variantes.

Dynamique des populations d'*A. gossypii* au cours de la troisième répétition

Les résultats obtenus ici sont présentés dans la figure 3.

Comme dans le cas des deux premières répétitions, les pucerons se sont rapidement multipliés au niveau de la variante "NPK" et leur nombre a atteint une moyenne de 96,73 par plant à la fin de l'essai.

Au niveau des autres variantes, la densité des pucerons a lentement augmenté pour atteindre au dernier jour de l'essai une moyenne de 32,06 et 6,56 individus par plant, respectivement pour les variantes "*Témoin*" et "*Bacillus*".

L'analyse statistique des données a révélé qu'il y a une différence significative au seuil de 5% entre les trois variantes.

Discussion

La présente étude a montré que pour les trois répétitions dans le temps de l'essai, les plants traités avec la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* FZB42 ont attiré considérablement moins de pucerons que les plants ayant été fertilisés avec de l'engrais minéral. D'après Strong *et al.* (16), l'azote serait la principale composante des tissus d'une plante qui soit essentielle aux espèces d'insectes piqueurs-suceurs. De même, Leclant (9) et Maltais (10) ont montré que l'azote contenu dans la sève est nécessaire à la croissance et à la reproduction des pucerons. Il est donc probable que les plants ayant reçu l'engrais minéral (NKPSMgB) ont une sève plus riche en azote. En conséquence, les pucerons se sont moins multipliés sur les plants traités avec la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* FZB42 probablement parce que leur sève contient moins d'azote et serait donc peu favorable à la reproduction de ces insectes.

Dans la troisième répétition de l'essai, la densité des pucerons est considérablement moins élevée dans la variante '*Bacillus*' en comparaison au '*Témoin*'. Au cours de cette répétition, nous avons observé un nombre important de larves et d'adultes de coccinelles du genre *Cheilomenes* dans un bloc de la variante '*Bacillus*'. Nous pensons que la faible densité des pucerons dans cette variante est due à la présence des coccinelles dans ce bloc.

En effet, *Cheilomenes* spp. est un genre de coccinelle connu comme prédateur des pucerons dans les régions tropicales; ces espèces de coccinelle pouvant consommer une cinquantaine de pucerons par jour (12-15).

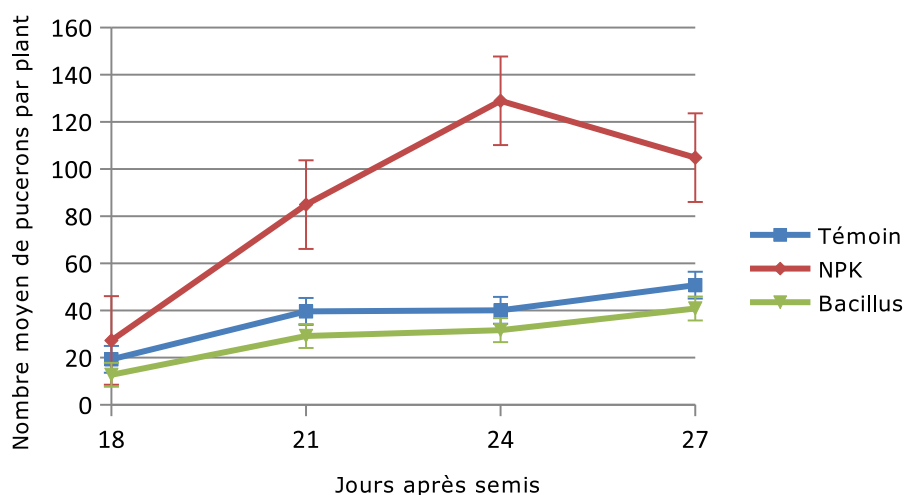


Figure 1: Dynamique des populations d'*Aphis gossypii* dans les variantes testées au cours de la première répétition (semis le 16 juillet 2013- n=72 pour chaque point) (Barre d'erreur= Erreur standard).

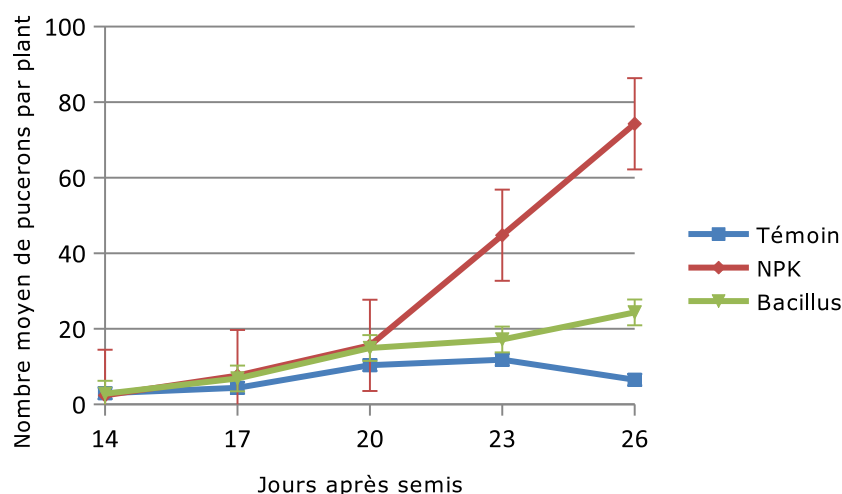


Figure 2: Dynamique des populations d'*Aphis gossypii* dans les variantes testées au cours de la deuxième répétition (semis le 14 novembre 2013- n=72 pour chaque point) (Barre d'erreur= Erreur standard).

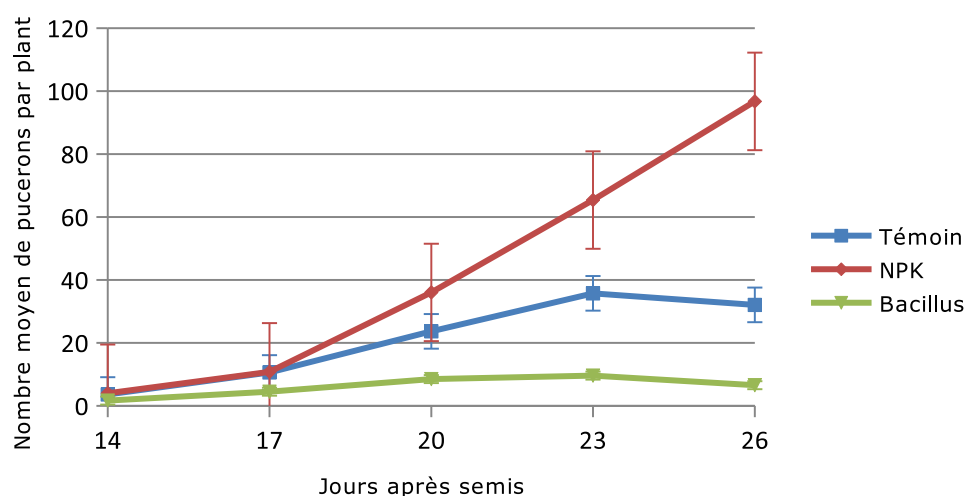


Figure 3: Dynamique des populations d'*Aphis gossypii* dans les variantes testées au cours de la troisième répétition (semis le 3 décembre 2013- n=72 pour chaque point) (Barre d'erreur= Erreur standard).

Des essais menés au champ ont montré qu'en plus d'être peu favorable à la prolifération des pucerons, la rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* FZB42 permettait d'améliorer le rendement en coton-graine.

En effet, dans une étude qui visait à comparer l'effet de cette rhizobactérie avec celui du compost dans un système de production de coton biologique, on a pu obtenir une augmentation de rendement en coton graine de l'ordre de 39% au niveau des plants traités avec *B. amyloliquefaciens* FZB42 (5).

De plus, la combinaison de la rhizobactérie avec une dose réduite d'engrais minéraux a également permis d'obtenir un rendement en coton-graine comparable à celui de la fertilisation minérale pleine (2,11).

Conclusion

La rhizobactérie *B. amyloliquefaciens* FZB 42 constitue un moyen non seulement de fertilisation du cotonnier mais aussi de gestion intégrée des pucerons. Elle peut être utilisée pour la production de coton biologique mais aussi servir pour la réduction des doses d'engrais minéraux en production cotonnière classique.

Références bibliographiques

1. ABITEP GmbH, 2015, *RhizoVital*® 42 l. *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 liquid a plant growth-promoting rhizobacteria. <http://www.abitep.de>. Consulté le 27/03/2015
2. Aboudou M.A., 2014, *Utilisation de la rhizobactérie Bacillus amyloliquefaciens et de l'huile de colza pour la production cotonnière au Nord-Bénin: Impact sur l'entomofaune*. Mémoire de Master en Entomologie Appliquée. Université d'Abomey-Calavi, Bénin. 41.
3. Appert J. & Deuse J., 1982, *Les Ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques*. Edition G. P. Maisonneuve et Larose. ISBN. Paris, France. 2-7068-0814-4. 137-138.
4. Backmann P.A., Brannen P.M. & Mahaffe W.F., 1994, *Plant response and disease control following seed inoculation with Bacillus subtilis*. In: Improving plant productivity with Rhizosphere Bacteria, Ryder M. H. et al. (eds.), CSIRO Division of soils, Glen Osmond
5. Boukari S., 2011, *Biodiversité et dynamique des populations des ravageurs et des entomophages dans un système de production de coton biologique: impact sur le rendement en coton-graine*. Mémoire de Master en Entomologie Appliquée. Université d'Abomey-Calavi, Bénin. 40.
6. Islam A.A., Sarosh B. & Johan M., 2014, Improved heat stress tolerance of wheat seedlings by bacterial seed treatment, *Plant Soil*, **379**,337-350,
7. Kilian M., Steiner U., Krebs B., Junge H., Schmiedeknecht G. & Hain R., 2000, FZB24® *bacillus subtilis* - mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 1/00, **1**, 72-93.
8. Krebs B., Hoding B., Kubart S., Alemayehu M., Junge H., Schmiedeknecht G., Grosch R., Bochow H. & Hevesi M., 1998, Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent. I. activities and caraterization of *Bacillus subtilis* strains, *Z. Pflanzenkh. Pflanzenschutz*, **105**, 181-197.
9. Leclant F., 1982, *Les effets nuisibles des pucerons sur les cultures*. In journée d'étude et d'information sur les pucerons des cultures, Association de coordination technique agricole (A.C.T.A), Paris, 37-56.
10. Maltais J.B., 1951, The nitrogen content of different varieties of peas as a factor affecting infestations by *Macrosiphum pisi* (Kltb.) (Homoptera: Aphididae). A preliminary report, *The Can. Entomol.*, **83**, 02, 29-33.
11. Monir M.E.H., Bochow H. & Junge H., 2012, The biofertilising effect of seed dressing with PGPR *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 combined with two levels of mineral fertilising in African cotton production, *Arch. Phytopathol. Plant Prot.*, DOI:10.1080/03235408.2012.67325.

12. Ofuya T.I., 1986, Predation by *Cheilomenes vicina* (Coleoptera: Coccinellidae) on the cowpea aphid, *Aphis craccivora* (Homoptera: Aphididae): Effect of prey stage and density, *Bio Control*, **31**, 4, 331-335.
13. Ofuya T. I. 1995, Studies on the capability of *Cheilomenes lunata* (Fabricius) (Coleoptera: Coccinellidae) to prey on the cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) in Nigeria, *Agric. Ecosyst. Environ.*, **52**, 1, 35-38.
14. Pandi G.G., Bishwajeet P, Shah V. & Shankarganesh K., 2012, Feeding potential and biology of coccinellid predator *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius) (Coleoptera) on aphid hosts. *Indian J. Entomol.*, **74**, 4, 388-393.
15. Prabhakar A.K. & Roy S., 2010, Evaluation of the consumption rates of dominant coccinellid predators on aphids in North- East Bihar, *Bioscan.*, **5**, 3, 491-493.
16. Strong D.R., Lawton J.H. & Southwood R., 1984, Insect of plant community pattern and mechanisms. Black well scientific publications. Oxford. 313.
17. Wedad A.K., Mohammed E.O., Mohammed N.O, Islam A.A., Sarosh B. & Johan M., 2013, Control of Drought Stress in Wheat Using Plant-Growth-Promoting Bacteria, *J. Plant Growth Regul.*, **32**, 122-130.
18. Yao A.V., Bochow H., Karimov S., Boturov U., Sanginboy S. & Sharipov A.K., 2006, Effect of FZB 24 *Bacillus subtilis* as biofertilizer on cotton yields in field tests, *Arch. Phytopathol. Plant Pathol.*, **39**, 4, 323-328.
19. Zimmer J., Issoufou I., Schmiedeknecht G. & Bochow H., 1998, Population dynamics of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent Under controlled conditions, *Med. Fac. Lan.*, **29**, 17-26.

G.D. Fayalo, Béninois, Ingénieur agronome, Responsable des activités Agronomiques de Antenne Nord CRA-CF/ INRAB, Université d'Abomey Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire d'Entomologie Appliquée, Godomey, Bénin.

A. Aouco, Béninoise, Master, Université d'Abomey Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire d'Entomologie Appliquée, Godomey, Bénin.

T.B.C. Alavo, Béninois, Ph.D., Assistant Professeur, Université d'Abomey Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire d'Entomologie Appliquée, Godomey, Bénin.

Annonces **Announcements**

Koninklijke Academie
voor
Overzeese Wetenschappen



Aankondigingen **Anuncios**

Académie Royale
des
Sciences d'Outre-Mer

JAARLIJKSE WEDSTRIJDEN

Om het wetenschappelijk onderzoek van goede kwaliteit i.v.m. problemen eigen aan de overzeese gebieden te bevorderen, organiseert de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen (KAOW) jaarlijkse wedstrijden.

a) Opstellen van de vragen en indiening van de werken

Art. 1. Elke klasse schrijft jaarlijks een wedstrijd uit over een vraag die verband houdt met de door haar behandelde materies.

Tijdens haar februarizitting bepaalt elke klasse het thema waarover de vraag zal handelen en duidt zij twee leden aan om ze op te stellen. Tijdens haar maartzitting legt elke klasse de tekst van de vraag definitief vast. Deze vraag moet voldoende ruim geformuleerd worden zodat het tot een echte competitie kan komen.

Art. 2. De wedstrijd is toegankelijk voor wetenschappers wereldwijd zonder enige leeftijdsbeperking. De leden van de Academie mogen niet deelnemen.

Art. 3. Elk door de Academie voor de jaarlijkse wedstrijd bekroonde werk krijgt een prijs in speciën (2 500 EUR).

Art. 4. Het voor de jaarlijkse wedstrijd van de Academie ingediende werk moet een origineel en recent (max. drie jaar oud) wetenschappelijk manuscript zijn: een doctoraal proefschrift of een werk van ten minste hetzelfde niveau.

Het werk mag niet uitgegeven zijn vóór de bekendmaking van de vraag. Het indienen van een werk voor de jaarlijkse wedstrijd impliceert dat de potentiële laureaat instemt met de voorwaarden die aan het aanvaarden van de prijs verbonden zijn.

Art. 5. De Academie neemt werken in het Nederlands, het Frans, het Duits, het Engels en het Spaans in overweging.

Art. 6. De auteurs van de voor de wedstrijd ingediende werken mogen anoniem blijven. In dat geval voegen zij bij hun werk een verzegelde enveloppe met daarin hun naam en adres en voorzien van een duidelijk herkenbaar devies dat ook aan het begin van hun werk terug te vinden is. Deze enveloppe wordt opengemaakt na de toekenning van de prijs.

Art. 7. De voor de wedstrijd ingediende werken moeten in vijf exemplaren op het secretariaat van de Academie toekomen vóór 1 maart van het tweede kalenderjaar dat op de publicatie van de vragen volgt.

b) Beoordeling van de ingediende werken

Art. 1. Tijdens hun maartzitting duiden de klassen voor elk werk drie lezers aan om het te onderzoeken en er voor de jury een verslag over op te stellen.

Art. 2. De jury wordt voorgezeten door de Voorzitter van de Academie en is samengesteld uit zes gewone of eregewone leden, nl. twee per klasse, hetzij een per taalrol. Zij worden voor twee jaar aangeduid door de klasse. Elk jaar tijdens de maartzitting wordt de helft van de jury hernieuwd.

Art. 3. De prijzen worden in de maand mei door de klasse toegekend nadat zij het verslag van de jury gelezen en goedgekeurd heeft. De auteur van het bekroonde werk zal de titel van « Laureaat van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen » dragen.

Art. 4. Na toekenning van de prijzen blijven de werken op het secretariaat van de Academie ter beschikking van de leden.

CONCOURS ANNUELS

En vue de promouvoir la recherche scientifique de haute qualité relative à des matières propres aux régions d'outre-mer, l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer (ARSOM) organise des concours annuels.

a) Rédaction des questions et introduction des travaux

Art. 1. Chaque classe met annuellement au concours une question sur les matières qui lui sont spécifiques.

En sa séance de février, chaque classe détermine le thème sur lequel portera la question et désigne deux membres chargés de la rédiger. En sa séance de mars, chaque classe arrête définitivement le texte de la question. Cette question doit être formulée de manière suffisamment large pour susciter une vraie compétition.

Art. 2. Le concours est accessible aux scientifiques du monde entier sans aucune restriction d'âge. Les membres de l'Académie ne peuvent y prendre part.

Art. 3. Chaque travail couronné par l'Académie au concours annuel est doté d'un prix en espèces (2 500 EUR).

Art. 4. Le travail soumis au concours annuel de l'Académie doit être un manuscrit scientifique, original et récent (max. trois ans): une thèse de doctorat ou un travail de niveau au moins équivalent. Le travail ne peut avoir été publié avant la diffusion de la question. L'introduction d'un travail au concours annuel implique de la part du lauréat potentiel qu'il souscrive aux conditions liées à l'acceptation du prix.

Art. 5. Seront pris en considération par l'Académie les travaux rédigés en français, en néerlandais, en allemand, en anglais et en espagnol.

Art. 6. Les auteurs des travaux présentés au concours peuvent garder l'anonymat. Dans ce cas, ils joindront à leur travail un pli cacheté contenant leur nom et adresse et portant une devise clairement identifiable reproduite en tête de leur ouvrage. Ce pli sera ouvert après l'attribution du prix.

Art. 7. Les travaux présentés au concours doivent parvenir au secrétariat de l'Académie en cinq exemplaires avant le premier mars de la deuxième année civile qui suit celle de la diffusion des questions.

b) Appréciation des travaux introduits

Art. 1. En leur séance de mars, les classes désignent pour chaque travail trois lecteurs chargés de les examiner et d'en faire rapport auprès du jury.

Art. 2. Le jury est présidé par le Président de l'Académie et est constitué de six membres titulaires ou titulaires honoraires, à savoir deux par classe, dont un par régime linguistique. Ils sont désignés pour deux ans par la classe. Chaque année, lors de la séance de mars, le jury est renouvelé de moitié.

Art. 3. Les prix sont attribués par la classe au mois de mai après lecture et approbation du rapport du jury. L'auteur de l'ouvrage couronné portera le titre de «Lauréat de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer».

Art. 4. Après attribution des prix, les travaux restent au secrétariat de l'Académie à la disposition des membres.

Yearly Competitions

In order to stimulate high-quality scientific research regarding problems inherent to overseas regions, the Royal Academy for Overseas Sciences (RAOS) organizes yearly competitions.

a) Writing the questions and submitting the works

1. Every year, each Section of the Academy puts one question forward on specific subjects.

In its February meeting, each Section sets the theme on which the question will be focused and appoints two members in charge of writing it. In its March meeting, each Section approves the final text of the question. Each question should be worded as broadly as possible in order to generate a real competition.

2. The competition is open to all scientists worldwide without any age restriction. Academy members are not allowed to take part.

3. Each award-winning work in the yearly competition is granted a cash prize (2,500 EUR).

4. The work submitted to the Academy's yearly competition should be an original and recent (max. three years old) scientific manuscript: a PhD thesis or a work of at least the same level. The work may not have been published before the announcement of the question.

Submitting a work to yearly competition implies that the potential laureate subscribes to the conditions linked to the acceptance of the prize.

5. Only the works written in English, French, Dutch, German and Spanish will be taken into consideration by the Academy.

6. The authors of works intended for the competition may remain anonymous. In this case, they should add to their submission a sealed envelope containing their name and address and bearing a distinctive sign or motto reproduced at the beginning of their work. This envelope is opened after awarding the prize.

7. The works submitted to the competition should reach the Academy's secretariat by 1 March of the year following that of the announcement of questions. Five copies are required.

b) Assessment of the works submitted

1. In their March meeting, the Sections appoint for each work three readers in charge of inspecting them and making a report to the jury.

2. The jury is chaired by the President of the Academy and includes six fellow or honorary fellow members, i.e. two per Section, one per linguistic community. These are appointed by the Section for two years. Every year, in the meeting of March, half of the jury is re-elected.

3. Prizes are awarded by each Section in May after reading and approving the jury's report. The author of the award-winning work will be conferred the title of "Prizewinner of the Royal Academy for Overseas Sciences".

4. After awarding the prizes, the works remain at the Academy's secretariat where they are made available to members.

Concursos anuales

Con el fin de promover la investigación científica de alta calidad sobre temas propios de las regiones de ultramar la Real Academia de Ciencias de Ultramar organiza concursos anuales.

a) Formulación de las cuestiones y presentación de las obras

1. Cada Sección de la Academia formula cada año una cuestión sobre asuntos que le son específicos.

En su sesión de febrero, cada Sección determina el asunto al que se referirá la cuestión y nombra a dos miembros encargados de formularla. En su sesión de marzo, cada Sección aprueba el texto final de la cuestión. Esta cuestión debe ser formulada de manera suficientemente amplia para suscitar una competición verdadera.

2. El concurso está abierto a los científicos del mundo entero sin ninguna restricción de edad. Los miembros de la Academia no pueden participar en él.

3. Cada obra galardonada por la Academia en el concurso anual está dotada de un premio en metálico (2 500 EUR).

4. La obra sometida al concurso anual de la Academia debe ser un manuscrito científico, original y reciente (máx. tres años): una tesis de doctorado o una obra que alcance al menos el mismo nivel.

La obra no puede haber sido publicada antes de la difusión de la cuestión.

La presentación de una obra para el concurso anual implica que el laureado potencial suscriba a las condiciones relacionadas con la aceptación del premio.

5. Sólo tendrá en cuenta la Academia las obras escritas en español, inglés, francés, neerlandés y alemán.

6. Los autores de las obras presentadas para el concurso pueden conservar el anónimo. En este caso, adjuntarán a su trabajo su nombre y su dirección dentro de un sobre sellado. El sobre llevará una señal o una divisa que estará reproducida en el encabezamiento de su obra.. El sobre será abierto después de la selección de la obra premiada.

7. Las obras sometidas al concurso deben llegar a la secretaría de la Academia antes del primero de marzo del año siguiente de la difusión de las cuestiones. Se requieren cinco ejemplares.

b) Evaluación de las obras presentadas

1. En su sesión de marzo, las Secciones nombran para cada obra a tres lectores encargados de examinarlas y de hacer un informe para el jurado.

2. El jurado está dirigido por el Presidente de la Academia y constituido por seis miembros titulares o titulares honorarios, sea dos por Sección, de quienes uno por comunidad lingüística. Están nombrados para dos años por la Sección. Cada año, en la sesión de marzo, la mitad del jurado está reelegida.

3. Los premios son otorgados por la Sección correspondiente en el mes de mayo tras lectura y aprobación del informe del jurado. El autor de la obra premiada llevará el título de «Laureado de la Real Academia de Ciencias de Ultramar».

4. Después del otorgamiento de los premios, las obras permanecen en la secretaría de la Academia a la disposición de los miembros.



Questions du concours 2017

Première question. - On demande une étude sur les conséquences du tourisme international dans un (ou plusieurs) pays en développement.

2^e question. - On demande une application de la génétique des populations, et en particulier de la génomique, pour la compréhension de l'épidémiologie d'une maladie parasitaire ou infectieuse.

3^e question. - On demande une étude sur les possibilités d'une amélioration des plantes cultivées orphelines basée sur la caractérisation de leur diversité génétique, afin de résoudre des problèmes tels que la sécurité alimentaire, la pauvreté ou l'adaptation au changement climatique.

Les ouvrages présentés au concours doivent parvenir au secrétariat de l'Académie avant le **1^{er} mars 2017**.

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

Tél.- en Belgique 02.538.02.11

Tél.- 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: kaowarsom@skynet.be

Web: <http://www.kaowarsom.be>

Vragen voor de wedstrijd 2017

Eerste vraag. - Men vraagt een studie over de impact van het internationale toerisme in één (of meerdere) ontwikkelingslanden.

2^{de} vraag. - Men vraagt een studie over het gebruik van populatiegenetica, en meer bepaald van genomics, voor een beter begrip van de epidemiologie van een parasitaire of een infectieuze ziekte.

3^{de} vraag. - Men vraagt een studie naar mogelijkheden voor de veredeling van ondergewaardeerde plantensoorten, die een antwoord moeten bieden op problemen zoals voedselzekerheid, armoede of aanpassing aan klimaatverandering, op basis van de karakterisering van hun genetische diversiteit.

De werken die voor de wedstrijd ingediend worden, moeten op het secretariaat van de Academie toekomen vóór **1 maart 2017**.

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: kaowarsom@skynet.be

Web: <http://www.kaowarsom.be>

University Curricula and Research on Water Management and Agriculture for Climate Change Responses

A regional NUFFIC-NICHE science conference

Venue: Vietnam National University of Agriculture, Gia Lam campus, Hanoi
24 to 26 August 2016

The goals of the conference are to disseminate:

1. Approaches of developing competency oriented learning in BSc and MSc curricula related to Agriculture and Water Management considering Gender and Climate Change in SE Asia.
2. Methods for developing national strategies of Integrated Water Resources Management, Coastal Engineering and Management and Disaster Management, in view of Climate Change.
3. Approaches to, and results of, assessment and planning for Climate Change responses of agriculture and water management at local level.

The expected outcomes of the conference are to acquire:

- Broader insights of institutional and structural conditions, advantages and methods of professional competency oriented and student centred learning based upon the market demand, in particular of Vietnamese Universities and in general at Asian Universities.
- Increased know-how on developing curricula and plans for climate smart agriculture and water related disaster prevention and management, at national and local level.

The targeted audiences of the conference:

The targeted audiences of the conference are, next to the partners* of the organising projects, staff of universities, ministries, agencies and projects aiming at curriculum innovation and climate change responses. To be invited are agencies such ADB, AUSAID, DED, EU and USAID, projects focussing on academic education, ministries of Higher Education, Science & Technology, Agriculture and Rural Development, and Vietnamese universities in the field agriculture and water management.

Program:

24-08 afternoon: Interactive learning workshops (both in Vietnamese and English) with keynote speakers and submitted cases to discuss the methods of (1) curriculum development, (2) course programming and (3) student centred teaching, and (4) the constraints of the implementation of student centred curricula.

Targeted participants: partners and other SEA universities, and other Niche projects.

25-08 morning: Opening of the Niche VietNam symposium:
8:30 Welcome by VNUA and ACCCU.
8:40 General introduction of the Niche program in Vietnam (MOET & NUFFIC).
9:00 Results of the Niche/VNM projects at the three partner universities at the level of institutions, strategies, education, research and technology transfer.
10:00 Break
10:30 Keynote of Dr. Arjen Wals, Professor at Universities of Stockholm, UNESCO and Wageningen, government advisor and author on education for sustainability.

11:00 Overview of results from POHE and other Vietnamese Niche projects.

11:40 General discussion.

12:00 Closing of Niche Viet Nam Symposium by NL embassy and other VNM ministry.

12:15 Lunch

25-08 afternoon: 14:00 to 17:00 with break at 15:15. Parallel sessions to present research on:

- o Coastal engineering and management of disasters related to water and CC;
- o Assessment of climate change impact on safety and food production;
- o Research on and planning for responses to climate change.

26-08 morning: Know-how Exchange on Innovation and Business Incubation at Universities.

CALL FOR PAPERS

The scientific committee of the regional NUFFIC-NICHE science conference University Curricula and Research on Water Management and Agriculture for Climate Change Responses calls for the submission of abstracts for oral presentations. A limited number of abstracts may be published in a special issues of Tropicultura and/or writing a full paper. The presenters of the accepted Abstracts and Papers may submit a request for a travel grant.

Deadlines: Submit abstracts before 26 May 2016

- Communication of selection for oral presentations and full-papers: 20 June 2016.
- Deadline for submission of registration forms: 30 June 2016.
- Submission deadline of selected full-papers: 18 July 2016.
- Each oral presenter shall be entitled to 15 minutes for presenting, plus 5 minutes for questions.
- Oral presentations should use Power Point type of files; no other projectors will be allowed.
- Presenters and other participants are required to pay their own travel and hotel costs.

All abstracts must be in English - the official language of the conference

A Book of abstracts will be printed by VNUA's publication office. A limited number of full papers and abstracts can be published in a special issue of Tropicultura. Please indicate your interest in the latter when submitting the abstract.

INSTRUCTIONS FOR PREPARATION OF ABSTRACTS

Expanded Abstract Format

1. **TITLE OF PAPER:** The paper title is printed in bold, with the exception of scientific names which should be italicized. Scientific names should not be preceded or followed by commas or parentheses or other markings.
2. **AUTHOR(S):** The first name should be the presenting author. Use * after the presenting author. Type in upper/lower case.
3. **ADDRESS AND EMAIL:** Type only the presenting author's institution, address and email.
4. **MAXIMUM LENGTH:** One Page.
5. **PAGE SIZE:** Standard A4, orientation portrait (210mm x 297mm = 8.27" x 11.69").
6. **MARGINS:** Top and bottom: 2.5 cm, Left and right 3 cm.

7. SPACING: Single spaced.
8. PARAGRAPHS: Paragraphs should be separated by a blank line and should not be indented.
9. FONTS: Character fonts should be 12 point type Times New Roman.
10. PHOTOS, FIGURES & TABLES: Photo, figures and tables are recommended. Make sure that the graph formats match a black & white printing also. They should be reduced to a size fitting the one page abstract (see example at the right) and still be clearly readable.

PLEASE SUBMIT YOUR ABSTRACT TO: NicheVNM105-conference@vnua.edu.vn

Présentation

Tropicultura est une revue multidisciplinaire qui publie des articles originaux, des notes de recherche et de synthèse, des résumés de livres et de thèses, des annonces ainsi que des comptes rendus de films et de supports audiovisuels concernant tous les domaines liés au développement rural et à la gestion durable de l'environnement outre-mer.

Parrainage scientifique

Tropicultura est éditée par l'asbl AGRI-OVERSEAS et bénéficie du patronage scientifique de l'Académie Royale des Sciences d'Outre Mer de Belgique (ARSOM : www.kaowarsom.be).

Tropicultura remplit le rôle joué avant 1963 par le Bulletin agricole du Congo belge et du Ruanda- Urundi. Le premier volume de Tropicultura a été publié en 1983 sur support papier (ISSN 0771-3312). Une version électronique a pris le relais depuis 2013 (eISSN 2295-8010).

Domaines scientifiques

Tropicultura publie les articles liés au développement rural et à la gestion durable de l'environnement dans les pays chauds: productions végétales et animales, sciences vétérinaires, sciences forestières, sciences du sol et de la terre, génie rural, sciences de l'environnement, pêches et pisciculture, bio-industries, agroalimentaire, sociologie et économie.

Soutien financier

Tropicultura est éditée avec le soutien financier de la région Bruxelles Capitale (be.brussels.be) et de l'Ecole Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion intégré des Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIFT: www.eraift-rdc.cd).

Tropicultura et le CAMES

Les publications dans Tropicultura sont reconnues par le Conseil africain et malgache pour l'enseignement Supérieur pour la promotion et l'avancement des enseignants - chercheurs (CAMES: <http://www.lecames.org/>).

Membres de l'asbl Agri-Overseas

Agri-Overseas asbl se compose de membres individuels et de représentants des institutions belges suivantes: les quatre facultés en sciences agronomiques de Belgique (Gembloux - GxABT/ULg, Gent - UGent, Leuven - KULeuven et Louvain-La-Neuve - UCL), les deux facultés en médecine vétérinaire (Gent - UGent et Liège - ULg), les unités de santé animale du Département de Sciences biomédicales de l'Institut de Médecine tropicale d'Anvers - IMTA, la Section interfacultaire d'Agronomie de l'Université libre de Bruxelles - ULB, l'Université de Namur (Namur - UNamur), le Département des Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université de Liège (Arlon - DSGE ULg), et l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer (KAOW - ARSOM).

Régularité

Tropicultura est édité trimestriellement en mars, juin, septembre et décembre.

Publication en Open Access

Tous les articles de Tropicultura depuis sa création en 1983 sont publiés avec accès libre. Le texte intégral et les résumés sont gratuits. Les articles sont diffusés sous la licence Creative Commons (CC BY-NC 4.0 - <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fr>).

Indexation dans les principales bases de données

Tropicultura est indexé dans les bases de données AGRICOLA, AGRIS, CABI, SESAME et DOAJ. Une demande d'indexation de Tropicultura dans la base de données SCOPUS a été introduite.

Facteur d'impact

Les démarches sont en cours pour l'obtention d'un facteur d'impact.

Diffusion de Tropicultura

Tropicultura a été publié en version imprimée de 1983 à 2012. La version papier était tirée à 2.650 exemplaires et diffusée dans 110 pays différents).

Tous les articles, depuis le premier fascicule, sont accessibles en texte intégral sur le site web (<http://www.tropicultura.org/content/>) et sur le DOAJ (<https://doaj.org/toc/0771-3312>).

En 2014, Google analytics a comptabilisé 8.648 visites en provenance de 141 pays et régions. Le nombre de téléchargement de la revue Tropicultura était de 2.173 téléchargements en provenance de 101 pays en 2014.

Tropicultura est également accessible sur les sites EBSCO et Bielefeld (<http://www.basesearch.net/Search/Results?lookfor=dcoll%3Aftdoaj%2Btropicultura.org&refid=dclink>) et via google scholar (<https://scholar.google.be/scholar?q=Tropicultura>).

Coordonnées

Comité de rédaction

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

Rédacteur en chef : Prof. Dr. Ir. G. Mergeai (GxABT/ULg)

Membres : Prof. Dr. Ir. P. Bertin (UCL), Prof. Dr. Ir. E. Tollens (KULeuven), Prof. Dr. Ir. Ch. De Cannière (ULB), Prof. Dr. B. Losson (ULg), Prof. Dr. J.-C. Micha (FUNDP), Prof. Dr. Ir. B. Tychon (DSGE ULg), Prof. Dr. P. Dorny (IMTA), Prof. Dr. Ir. P. Van Damme (UGent), Prof. Dr. S. Geerts (KAOW -ARSOM), Dr. G. Akoda (EISMV), Dr. Ir. A. Dieng (ENSA), Prof. Dr. Ir. P. Mobambo (UNIKIN), Dr. C. Ly (ILRI) et Prof. Dr. J. Vercruysse (UGent).
Assistants du rédacteur en chef: Dr. Ir. Germain Harelimana, Mme Caroline Louvet.

Le conseil d'administration est composé de : Prof. Dr. J. Bogaert (président), Prof. Dr. Ir. G. Mergeai (administrateur-délégué), Prof. Dr. B. Losson (trésorier), Dr Eric Thys (secrétaire), Prof. Dr. J. Vercruysse (membre), Prof. Dr. S. Geerts (membre).

Invités permanents: le Secrétaire perpétuel de l'ARSOM et le directeur de l'ERAIFT.

Editeur

Agri-Overseas
Avenue Louise, 231
B-1050 Bruxelles (Belgique)
tél. 32(0)2-540 88 60, 32(0)2-540 88 61
fax 32(0)2-540 88 59
e-mail ghare.tropicultura@belgacom.net, clouvet.tropicultura@belgacom.net
<http://www.tropicultura.org>

Guide des auteurs

Langues de publication

Tropicultura publie les articles écrits en anglais, espagnol, français et néerlandais. Les résumés sont publiés en anglais et en français (espagnol ou néerlandais si les manuscrits sont soumis dans cette langue).

Contenu des manuscrits

La priorité est donnée aux articles présentant des sujets originaux, ayant une portée la plus large possible, c'est-à-dire dont le contenu concerne surtout des aspects méthodologiques transposables dans une large gamme d'environnements et de régions du monde. Un accent tout particulier est également mis sur la fiabilité des informations publiées, c'est-à-dire, quand il s'agit de résultats expérimentaux, sur le nombre de répétitions des essais, dans le temps et dans l'espace, qui sont à l'origine des données obtenues.

Les manuscrits seront inédits et n'auront pas été soumis pour publication simultanément à une autre revue scientifique.

Procédure de soumission

Les manuscrits sont à adresser au rédacteur en chef par la poste, en trois exemplaires, sous forme de document papier, ou, de préférence, directement à l'adresse électronique du secrétariat de rédaction sous forme de fichiers attachés.

Dans la mesure du possible, après acceptation de l'article pour publication, l'auteur fournira sa dernière version, revue et corrigée, sous format électronique. Le logiciel Word est recommandé mais une version ASCII ou RTF des fichiers est acceptée.

Style

Les manuscrits seront rédigés en simple face, en double interligne, police de caractères times new Roman 11, avec une marge de 2,5 cm autour de la plage imprimée. Ils comporteront au maximum vingt pages de texte (page de couverture non compris). La page de couverture portera : le titre, le titre abrégé (maximum 55 caractères), les noms et prénoms complets des auteurs, le diplôme, la fonction, la nationalité, l'adresse professionnelle complète et l'adresse électronique de chacun d'eux, les remerciements éventuels. Le nom de l'auteur correspondant sera marqué d'un "*" et son adresse sera complétée par son numéro de téléphone.

Les pages suivant la page de couverture présenteront:

- (i) les résumés (max. 200 mots) dans la langue du manuscrit et en anglais, précédés du titre traduit et suivis de maximum six mots-clés dans chacune des deux langues;
- (ii) le corps du texte;
- (iii) la bibliographie;
- (iv) les tableaux numérotés au moyen de chiffres arabes;
- (v) les illustrations identifiées sans ambiguïté par un numéro au verso si elles ne sont pas envoyées électroniquement;
- (vi) les légendes des tableaux et des illustrations.

Toutes les pages seront numérotées en continu.

Le texte sera divisé en grands chapitres (généralement: Introduction, Matériel et méthodes, Résultats, Discussion, Conclusions) et sa subdivision ne dépassera pas deux niveaux (un seul niveau en dessous de celui des chapitres). Les titres des chapitres et les sous-titres des paragraphes, très concis ne seront jamais soulignés.

Les références seront citées dans le texte au moyen de nombres placés entre parenthèses. En cas de citation de plusieurs références, leurs nombres se succéderont par ordre croissant.

Les figures seront dessinées de façon professionnelle. Les photographies seront fournies non montées, bien contrastées sur papier brillant.

Les photos fournies en format jpg doivent être de bonne qualité et avoir au minimum 300 pixels par pouce (dpi).

Les fichiers Excel des données de tableaux et graphiques doivent être fournis lors de la soumission du manuscrit.

Les références bibliographiques seront données par ordre alphabétique des noms d'auteurs et par ordre chronologique pour un auteur donné.

Elles seront numérotées en continu en commençant par le chiffre 1.

Le nombre de références bibliographiques ne dépassera pas cinquante.

Pour les articles de revues, les références comprendront : les noms des auteurs suivis des initiales des prénoms, l'année de publication, le titre complet de l'article dans la langue d'origine, le nom de la revue, le numéro du volume souligné, les numéros de la première et de la dernière page séparés par un tiret.

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

Pour les monographies, les éléments suivants sont essentiels : les noms des auteurs suivis des initiales des prénoms, l'année de publication, le titre complet de l'ouvrage, le nom de l'éditeur, le lieu d'édition, la première et la dernière page du chapitre cité, le nombre total de pages de l'ouvrage.

Les comptes rendus de conférences sont traités comme des monographies; de plus, ils mentionneront si possible le lieu, la date de la réunion et le(s) éditeur(s) scientifique(s).

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

Droits de reproduction

En soumettant l'article, les différents auteurs associés donnent à Tropicultura l'autorisation, non exclusive, de diffusion en accès libre. L'auteur conserve ses droits d'auteur.

Attestation de publication

Afin de s'assurer de l'originalité du manuscrit et de l'accord de sa publication par les organismes de tutelle des auteurs, il est demandé à l'auteur principal de signer une attestation sur l'honneur.

Participation aux frais de publication

Le montant de la participation des auteurs aux frais de publication de l'article s'élève à 200 euros. Lors de la soumission, l'auteur correspondant doit accepter ces frais. La participation aux frais est à payer lorsque le manuscrit est accepté pour publication.

Détecteur de Plagiat

Tous les manuscrits sont soumis à un test de plagiat avant d'être transmis aux lecteurs.

Comité de lecture

Le comité de lecture de Tropicultura est composé de lecteurs bénévoles appartenant à la communauté scientifique internationale, spécialisés dans tous les domaines concernant le développement rural et la gestion durable de l'environnement dans les pays d'outre-mer.

Les auteurs devront proposer trois lecteurs de renommée internationale, lors de la soumission.

Les articles sont soumis à un ou plusieurs lecteurs sélectionnés par le comité de rédaction.

Ces lecteurs restent anonymes pour les auteurs. Les auteurs restent également anonymes pour les lecteurs.

Le comité de rédaction se réserve le droit de refuser tout article non conforme aux prescriptions de la revue.

Le taux d'acceptation des articles soumis à Tropicultura entre 2010 et 2015 est de 32%.

Aides à la rédaction

Le secrétariat de rédaction peut conseiller les auteurs pour l'amélioration de leur manuscrit. Il peut également mettre en contact les lecteurs qui le souhaitent avec les auteurs dont ils évaluent le manuscrit.

Texte français dans le n°1

English text in Nr.2

Texto Español en el N°4

TROPICULTURA

2016 Vol. 34 N° 1

Four issues a year (January-February-March)

EDITORIAL

Will Future Developments in the World of Agriculture Lead to the Disappearance of Family Farms? (*in English and french*)

G. Mergeai

1

ORIGINAL ARTICLES

Assessment of Protein and Chlorophyll Contents in Leaves of Five Local Varieties of Cassava Infected by African Mosaic Virus in Central African Republic (*in French*)

I. Zinga, R.D. Longue, E.K. Komba, C. Beaumont & S. Semballa

3

Role and Position of the Goat in Households of the Burkinabian Sahel (*in French*)

B.I. Gnanda, A. Wereme N'Diaye, H. O. Sanon, J. Somda & J.A. Nianogo

10

Understanding Market Participation Choices and Decisions of Maize and Cowpea Farmers in Northern Nigeria (*in English*)

D.B. Mignouna, T. Abdoulaye, A.A. Akinola, A.Y. Kamara & M. Oluoch

26

Local Beliefs and Strategies of Adaptation to Climate Change in Korhogo (Ivory Coast) (*in French*)

A.N.N. Boko, G. Cisse, B. Kone & S.F. Dedy

40

Effect of the Application of Complete NPK Mineral Fertilizer and Biochar on the Performance of Cassava sole cropping and Cassava – Maize intercropping in the Conditions of the Bateke Plateau in the Democratic Republic of Congo (DRC) (*in French*)

B. Lele, J. Lejoly & C. Kachaka

47

Legume and Cereal Cropping in *Zai* System with Different Organo-mineral Amendments - Productivity and Impact on Biological Properties of Degraded Bare Alfisol in North Sudanian Zone of Burkina Faso (*in French*)

D. Some, E. Hien, K. Assigbetse, J.J. Drevon & D. Masse

56

Selection of Soybean Varieties for Resistance to Bacterial Pustule in Benin (*in French*)

V.A. Zinsou, F. Afloukou, E. Sekloka, F. Dannon, N. Zoumarou-Wallis, L.A.C. Afouda & L. Dossou

69

Integration of Rural and Urban Cooking Banana Markets in the South-East of Rwanda Southern Province (*in French*)

F. Niyitanga

80

Soil Characteristics under Savanna and Natural Forest on the Bateke Plateau in the Democratic Republic of Congo (*in French*)

B.M. Nsombo, R.S. Lumbuenamo, J. Lejoly, J.K. Aloni & P.M-M. Mafuka

87

Population Dynamics of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on Cotton under Mineral and Rhizobacteria Fertilization Conditions (*in French*)

G.D. Fayalo, A. Aouco & T.B.C. Alavo

98

ANNOUNCEMENTS

ARSOM: Yearly Competitions

105

R. Bosma: University Curricula and Research on Water Management and Agriculture for Climate Change Responses

108

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

