



LES CAHIERS DE L'ECONOMIE RURALE

P255

Institut d'Economie Rurale – Revue Semestrielle – n° 27 – Juillet - Décembre 2018 – ISSN 1987 - 0000

n° 27

**Caractéristiques nutritionnelles des farines de complément
et des mets précuits à base de riz** 1

**Effets comparés du sorgho « tan » et du maïs utilisés dans
l'alimentation des poulets de chair au Mali** 9

**Réponses des géotypes de riz en fonction des doses de
différentes sources de phosphore sur les sols dégradés du
Delta intérieur du fleuve Niger** 19

**Effets des tourteaux de *Jatropha curcas* sur la production
du maïs et de trois cultures maraichères (tomate, haricot vert
et carotte) à Teriyabougou, en zone soudanaise nord du Mali** 29

**Caractérisation morphologique des feuilles de *Pterocarpus
erinaceus* dans la région de Sikasso** 43

**Vulnérabilité des ressources villageoises aux changements
climatiques le long du Bassin-versant du fleuve Banifing au
Sud du Mali** 53



La Recherche Agricole au Service du Développement Rural



LES CAHIERS DE L'ÉCONOMIE RURALE

Revue scientifique de l'Institut d'Économie Rurale (IER)

Fax : (223) 20 23 37 75 – Tél. : (223) 20 22 26 06 / 20 23 19 05

B.P. 258 – Rue Mohamed V – Bamako, Mali

Directeur de publication : Dr Hamidou Nantoumé

Éditeur Scientifique : Dr Amadou Gakou

Secrétaire de rédaction : Dr Modibo Sylla

Comité de rédaction

Pr Daniel Dansonko, Bamako

Dr Tiéma Niaré, Liberté A, Bamako

Dr Kalifa Sanogo, Bamako

Dr Mamadou D. Coulibaly, Bamako

Dr Mike Bertelsen, Virginia Tech

Dr Peter White, Washington State University

Dr Oumar Niangado, Bamako

Pr Siaka Sidibé, Hôpital du Point G, Bamako

Pr N'Golo Diarra, Bamako

Pr Alhousseini Bretaudeau, Académie des Sciences, Bamako

Pr Aly Yéro Maïga, Bamako

Dr Niamoye Yaro, IER, Bamako

Dr Abdoul Karim Traoré, Bamako

Dr Abdoulaye Hamadoun, Bamako

Dr Amadou Kodio, IER, Bamako

Comité scientifique

Dr Aly Kouriba, CNRA, Bamako

Dr Modibo Sidibé, Bamako

Dr Bara Ouologuem, IER, Bamako

Dr Ibrahima N'Diaye, IER, Bamako

Dr Gaoussou Traoré, Bamako

Dr Zana Sanogo, Bamako

INFORMATIONS ET INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Créée en 2003 au sein de l'Institut d'Économie Rurale, la revue « LES CAHIERS DE L'ÉCONOMIE RURALE » est une revue scientifique qui publie deux fois par an, en français et en anglais, les résultats de travaux originaux de recherche effectués par les chercheurs de l'IER ou en collaboration avec divers partenaires. Les propositions doivent relever des domaines suivants : productions végétales, productions animales, productions forestières, productions halieutiques, systèmes de production et économie des filières, etc. Les articles proposés par d'autres chercheurs sont également admis lorsque leur qualité scientifique est reconnue. Le Comité éditorial, en collaboration avec un réseau de lecteurs, assure la sélection des articles.

I. Généralités

1. Manuscrit

Le manuscrit est saisi sur ordinateurs (en interligne 1,5) et imprimé sur papier de format 21 cm x 29,7 cm avec une marge de 4 cm à droite comme à gauche, sans rature ni surcharge. Sa longueur ne doit pas dépasser 15 pages, y compris les illustrations et les tableaux.

Le manuscrit soumis en trois exemplaires, ainsi que la version électronique, doivent être envoyés à l'adresse suivante: Dr Amadou Gakou, Éditeur scientifique, BDIP IER, B.P. 258, Bamako, Mali - Courriel: amadougakou@gmail.com

2. Style

Le style doit être simple et concis, avec des phrases courtes, du type : sujet, verbe, complément. Les noms scientifiques de genres et d'espèces, doivent être écrits en italique et seront suivis du nom du descripteur, à la première apparition dans le texte. Par la suite, le nom du descripteur sera occulté.

Lorsque dans une citation, la référence des auteurs comporte plus de deux noms, seul le nom du premier auteur est mentionné et il est suivi de « et al. » écrit en italique.

3. Notes en bas de page

Excepté les adresses des auteurs à la première page, les notes en bas de pages ne sont pas admises.

4. Pagination

Les numéros de pages, en chiffres arabes, seront portés en haut et au centre de la page.

5. Unités de mesure

Elles seront du système international et devront être cohérentes dans le texte.

6. Procédure d'évaluation des manuscrits

Les manuscrits seront évalués, dans le cadre d'un réseau de lecteurs, par au moins trois lecteurs. En cas de litige, l'avis d'un quatrième lecteur sera sollicité.

Au besoin, les auteurs reçoivent les commentaires écrits des référés, donc le texte à corriger. Le document corrigé doit être retourné à l'Éditeur scientifique dans un délai d'un mois, à partir de la date d'expédition par l'expéditeur.

Les manuscrits refusés seront retournés à leurs auteurs et la raison sera signifiée par écrit.

7. Corrections des mises en page

Les premières mises en page faites par l'éditeur vous seront envoyées et vous devrez consulter cette réalisation avec beaucoup de soins, de façon à relever toutes les corrections et rectifications à y apporter. Il n'est pas question de modifier le document. Le manuscrit devra ensuite être retourné, dans les meilleurs délais au Secrétariat de rédaction de la revue.

8. Tirés à part

Un seul tiré à part sera transmis gracieusement à chaque auteur ou coauteur. D'autres tirés à part pourront être obtenus contre paiement d'un montant qui sera fixé lors de l'expédition de l'exemplaire gratuit.

II. Organisation du manuscrit

1. Première page

La première page doit comporter le titre en français et en anglais de l'article, le nom et le prénom du ou des auteurs, les adresses complètes de leurs institutions d'affiliation. En bas de page, on précisera les adresses postale et électronique si possible, les numéros de téléphone et le fax de l'auteur à qui doivent être envoyées les correspondances.

Cette page contiendra également un résumé en français et un résumé en anglais plus substantiel dans le cas d'un manuscrit en français et inversement. Aucun résumé ne devra dépasser 200 mots et il sera suivi de 3 à 6 mots clés; il permettra de comprendre la justification, la méthodologie, les résultats et les conclusions. Dans le corps du texte, la numérotation des titres et sous titres se fera selon la norme internationale (1., 1.1., 1.1.1, etc.).

2. Introduction

Elle doit situer le contexte de l'étude par rapport aux travaux antérieurs effectués dans le domaine.

3. Matériel et méthodes

Seul le matériel original sera décrit. Évitez les longues listes de matériels communément utilisés tels que sécateur, bottes, etc.

Si les méthodes habituellement utilisées doivent être succinctement décrites, les méthodes nouvelles, par contre, doivent être détaillées.

4. Résultats

Ils seront rendus sous forme de texte, de tableaux et/ou de figures. Le même résultat ne doit pas être présenté de façon répétitive, par exemple sous forme de tableau et de figure.

5. Discussion

Elle doit être une analyse des résultats expérimentaux par rapport à d'autres travaux similaires, et non une reprise de la description des résultats.

6. Conclusion

La conclusion devra faire ressortir l'importance des résultats acquis pour les recherches futures. Elle doit être différente du résumé, de la description des résultats et de la discussion.

7. Remerciement

S'ils s'imposent, ils devront être concis et ne pas dépasser cinq lignes.

8. Références

Les références concernent uniquement les auteurs cités dans le texte. Elles sont classées par ordre alphabétique des noms d'auteurs et par ordre d'ancienneté pour un même auteur.

- Articles

Noms et initiales de prénoms du ou des auteurs, année de publication, titre complet de l'article, nom complet du périodique, numéro et volume, les numéros de la première et de la dernière page.

Exemple: TRAORE D., 1981 – La formation du grain de pollen chez les Cypéracées de la tribu des Cypérées, étudiées en Côte d'Ivoire. *Candollea* 36 (2): 431-444.

- Livres

Noms et initiales de prénoms du ou des auteurs, année de publication, titre complet du livre, éditeur, maison et lieu de publication, nombre de pages.

Exemple: BERHAUT J., 1988 – Flore illustrée du Sénégal, Tome IX. Edition Clairafrique, Dakar, Sénégal, 523 pages

- Thèses

Noms et initiales de prénoms de l'auteur, année de publication, titre complet de la thèse, spécialité, Université, ville et pays, nombre de pages.

Exemple: TRAORE N'G., 1998. Influence de l'exploitation forestière sur la végétation et la flore du Baoulé. Thèse de Doctorat du 3^{ème} cycle. Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 150 pages.

- Communications

Noms et initiales de prénoms du ou des auteurs, année de publication, titre complet de la communication, éditeurs, titre du forum scientifique (congrès, séminaire, symposium) date et lieu, les numéros

de la première et de la dernière page. Exemple: CISSE M., 1982. Évaluation du potentiel fourrage de la zone d'étude du projet CIPEA. In Actes du Colloque sur les ligneux fourragers. Addis-Abeba, Éthiopie. 154-169.

9. Liste des taxons végétaux cités

À la fin de chaque article, une liste des taxons végétaux cités sera donnée, en suivant l'ordre alphabétique des noms actualisés des espèces. Le nom du descripteur sera obligatoirement mentionné. La famille de chaque espèce doit être précisée.

10. Illustrations

Elles seront toutes appelées dans le texte. Les figures (dessin, courbes, histogrammes, cartes, photographies) seront numérotées en chiffres arabes (1, 2, 3...) en suivant l'ordre d'appel dans le texte. Toutes les illustrations doivent être sur disquette.

11. Tableaux

Ils seront tous appelés dans le texte et numérotés en chiffre romains (I, II, III, etc.) selon l'ordre d'appel dans le texte. Ils doivent être présentés, chacun sur une feuille séparée. Les légendes des tableaux, des figures, des photos et en général de toutes les illustrations seront rassemblées sur une même feuille et placées en fin de manuscrit.

Caractéristiques nutritionnelles des farines de complément et des mets précuits à base de riz

Nutritional characteristics of complementary flours and precooked rice based meals

Sidibé Salimata^{1*}, Koné Daouda¹, Coulibaly Aliou¹ et Doumbia Morimouso¹

¹Institut d'Économie Rurale - Rue Mohamed V - B.P. 258 Bamako, Mali

*Tél. +223 66 04 68 25 - Courriel : salimatas3@gmail.com

Résumé

Les farines de complément ont été développées à partir du riz NERICA 4 auquel l'arachide, le niébé, le soja ou le pain de singe ont été incorporés suivant la formule souhaitée. Le couscous de riz a été préparé et mélangé aux feuilles d'épinard et d'amarante, dans des proportions de 100 g de feuilles séchées pour 500 g de couscous de riz précuit. Les brisures de riz ont été utilisées dans la préparation du Djouka (riz-arachide) et celle du Riz Royal (riz-légumes). Les teneurs en protéines, en lipides, en fer et en zinc des farines et celles des mets ont été évaluées.

Les farines de complément composées à base de riz contenant à la fois le niébé, l'arachide, ou le soja et l'arachide ont présenté des teneurs en protéines similaires à celles des farines de complément recommandées par le Codex Alimentarius. La teneur en fer des farines composées à base de riz a varié de 4,30 mg à 4,82 mg/100 g de matière sèche. Ces teneurs sont supérieures à celles du riz blanchi (1,4 mg) et de celles du riz non blanchi (2,6 mg).

Les mets précuits, Djouka, Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante et Riz royal ont des teneurs en eau inférieures à 12 %. Les teneurs ont varié de 7 à 8,67 %. Ces mets peuvent être conservés longtemps si des emballages adaptés sont utilisés. Les teneurs en protéines du Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante (10,33 %) et celles du Djouka de riz (14,67 %) permettent une récupération nutritionnelle et sont supérieures à celle de la farine de riz (1,4 mg de protéine).

Mots clé : Riz, farines composées, mets précuits, caractéristiques nutritionnelles, énergie, Mali

Abstract

Complementary flours were developed from the NERICA 4 rice variety, to which peanut, cowpea, soybean and baobab fruit powders were added based on the desired formula. Rice flour was prepared as couscous and mixed with spinach and amaranth leaves, at the rate of 100 g of leaves to 500 g of precooked couscous. Broken rice was used for Djouka (rice-peanut) and for the Riz Royal (rice-legumes). Proteins, lipids, iron and zinc content of flours and meals were evaluated.

The complementary rice-based flours containing both cowpea and peanut or soybean and peanut showed protein contents similar to those recommended by Codex Alimentarius. Iron content of composite flours varied from 4.30 mg to 4.82 mg/100. These contents were higher than those of dehulled and bleached rice flour (1.4 mg) and that of brown rice (2.6 mg).

Precooked meals, Djouka, Couscous with spinach and amaranth leaves and Riz Royal had water content lower than 12%. Water contents of the foods varied from 7 to 8.67%. These foods can be kept for a long time if suitable packaging is used. Protein contents of couscous with spinach and amaranth leaves (10.33%) and that of rice Djouka (14.67%) were higher than that of rice flour (1.4 mg).

Key words: Rice, composite flour, precooked meals, nutritional characteristics, energy, Mali

1. Introduction

Au Mali, le riz joue un rôle important dans la sécurité alimentaire et occupe la troisième place après les mil, sorgho dans la consommation céréalière (Wambo, 2003). La consommation du riz est en pleine croissance au Mali avec une moyenne nationale estimée à 61,46 kg/habitant/an (CPS, Mali, 2011). Sa transformation passe par le décorticage et la mouture qui constituent les opérations de transformation primaire. Pour réduire la durée de la transformation et mettre à la disposition du consommateur des produits prêts à l'emploi, les farines et brisures de céréales peuvent être transformées en produits roulés et séchés pour un emploi ultérieur. Le couscous aux feuilles, traditionnellement appelé au Mali en langue bamanan, « *gnougoubala yèlen* », est préparé avec les feuilles fraîches de *Corchorus politorius* (*zofon* en bamanan), une espèce spontanée qui n'est abondante que pendant la saison des pluies. Les feuilles d'épinard et d'amarante, deux espèces qui sont cultivées dans des jardins familiaux peuvent être substituées aux feuilles de *C. politorius*.

Comme la plupart des légumes feuilles, ils sont de bonnes sources de fer et de zinc, d'où la nécessité de leur utilisation dans la préparation du « *gnougoubala yèlen* ». Dans la préparation du Djouka, un met local et du Riz Royal, on utilise les brisures de riz, de l'arachide (pour le Djouka) et des légumes (pour le Riz Royal). Ces aliments contribuent à la valorisation des produits locaux et à la diversification des sources de nutriments.

L'objectif visé est de déterminer les caractéristiques nutritionnelles des farines de complément et des mets précuits à base de riz.

2. Matériel et méthodes

2.1. Farines de complément

2.1.1. Matériel

Le matériel végétal utilisé est composé de riz NERICA 4, de soja, de niébé, d'arachide, de pain de singe, de malt de mil et de riz.

2.1.2. Production des farines de niébé, de soja et d'arachide

La farine de niébé a été obtenue après triage, lavage et décorticage des graines. Les graines décortiquées ont été ensuite lavées, séchées puis réduites en farine à l'aide d'un moulin. La farine a été tamisée en utilisant le tamis de 0,5 mm (tamis nylon). Elle a été ensuite torréfiée jusqu'à l'obtention d'une coloration marron clair.

La farine de soja a été obtenue après torréfaction des graines afin d'éliminer les pellicules. Les graines torréfiées ont été trempées dans l'eau tiède pendant 30 minutes. Les pellicules ont été ensuite éliminées par frottement des graines humidifiées. Les graines de soja ont été séchées puis réduites en farine.

Les graines d'arachide ont été triées, torréfiées jusqu'à l'obtention d'une coloration dorée. Les enveloppes ont été éliminées par frottement et par vannage, ensuite les graines ont été réduites en farine.

2.1.3. Maltage du mil

Les grains de mil ont été trempés dans l'eau tiède pendant 7 heures puis égouttés et mis à germer dans un panier contenant un sac en polyéthylène pendant 3 jours. Les grains ont été lavés une fois le matin et une fois le soir le premier jour de la germination, puis arrosés matin et soir pendant les deux jours suivants. La germination a été interrompue par le séchage des grains. Les farines ont été obtenues après la mouture sèche des grains.

Les formules de farine de complément ont été obtenues à partir de mélange avec différents pourcentages de farine de riz, d'arachide, de niébé, de soja, de pain de singe et de malt de mil. Les formules sont indiquées dans le tableau I.

Tableau I. Liste des farines composées à base de riz

Farines de complément	Farines de complément (suite)
75 % riz + 25 % niébé	75 % riz + 5 % arachide + 10 % niébé + 10 % pain de singe
75 % riz + 25 % soja	75 % riz + 15 % niébé + 10 % arachide
75 % riz + 10 % arachide + 15 % soja	95 % du mélange (75 % riz + 25 % niébé) + 5 % malt de mil
75 % riz + 10 % arachide + 15 % pain de singe	Farine de riz (témoin)

Source : Rapport de la 19^e Session de la Commission Scientifique du Comité National de la Recherche Agricole du Mali (CNRA), Campagne de recherche 2012-2013.

2.2. Caractérisation des mets précuits à base de riz

2.2.1. Matériel

Le matériel utilisé est composé de la variété de riz Gambiaka blanchi, d'arachide, de feuilles d'épinard, de feuilles d'amarante, de carottes et de feuilles d'oignon.

2.2.2. Méthodes

➤ Production du Djouka de riz (Photo 1):

- laver 1 kg de brisures de riz, égoutter puis passer à la vapeur 3 fois. Ajouter 250 mm d'eau après passage à la vapeur pour permettre le ramollissement des brisures;
- laver 1 kg d'arachide, le mélanger à la solution de 20 g de potasse dilués dans 100 ml d'eau, passer à la vapeur, le sécher et le moule pour obtenir la farine d'arachide potassique puis le tamiser avec le tamis de 1,5 mm



Photo 1. Djouka de riz

de diamètre de maille (bassi tèmè en bamanan);

- passer à la vapeur la farine potassique ainsi obtenue puis la tamiser avec le tamis de 2 mm de diamètre de maille (wara wara en bamanan);
 - mélanger 1 kg de farine d'arachide potassique et 1 kg de brisures de riz passées à la vapeur;
 - passer à la vapeur le mélange riz-arachide jusqu'au ramollissement des deux constituants.
- #### ➤ Production du couscous de riz aux feuilles d'épinard et d'amarante
- **Procédé de la préparation du couscous précuit:**
 - nettoyer et laver le riz blanchi, le sécher et faire la mouture des grains;
 - tamiser la farine avec le tamis de 1 mm de mailles «mougou tèmè en bamanan»;
 - ajouter un peu d'eau à la farine puis procéder au roulage du couscous. La quantité d'eau ajoutée dépend de la granulométrie souhaitée;
 - passer à la vapeur la farine roulée, cuire jusqu'à l'apparition de vapeur à la surface du couscous;
 - émotter puis tamiser le couscous à l'aide du tamis de 1,5 mm de mailles «bassi tèmè»;
 - sécher le couscous.

- **Préparation des feuilles d'épinard et d'amarante:**

- laver séparément les feuilles d'épinard et d'amarante;
- émietter les feuilles puis les sécher à l'ombre;
- mélanger les deux feuilles séchées dans les proportions de 50%.

- **Mélange du couscous et des feuilles**

Le couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante est obtenu en mélangeant 50 g de feuilles séchées d'épinard et 50 g de feuilles d'amarante à 500 g de couscous de riz précuit séché (Photo 2).



Photo 2. Couscous de riz aux feuilles d'épinard et d'amarante

➤ **Production du riz royal:**

- laver le riz blanchi, le passer à la vapeur puis sécher;
- concasser le riz séché pour obtenir les semoules;
- découper les légumes (carottes, feuilles d'oignon et d'épinard);
- blanchir séparément les légumes par la cuisson à la vapeur (2 min), puis sécher à l'abri des rayons solaires.

Le Riz Royal est obtenu en mélangeant 1 kg de brisure moyenne précuite et 50 g de mélange de légumes séchés (Photo 3).

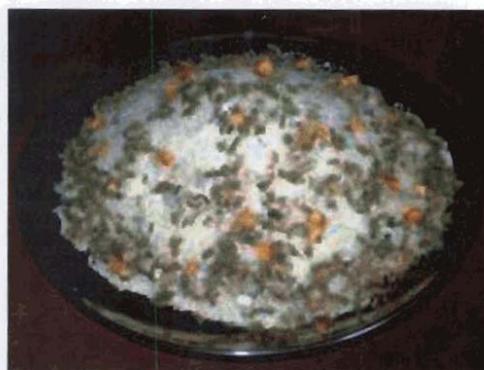


Photo 3. Riz Royal

2.2.3. Reconstitution du riz Royal, du Djouka et du Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante

Le Riz Royal et le Djouka de riz sont préparés à partir de semoules de riz tandis que le couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante est préparé à partir de la farine de riz. Ce sont des produits précuits par étuvage. La consommation nécessite une humidification préalable et un temps de repos de 30 à 40 min. À la reconstitution de ces produits, la quantité d'eau d'humidification est importante. Une réhydratation insuffisante peut affecter la texture du plat et rallonger la durée de cuisson. La quantité d'eau peut varier avec la variété de riz utilisée. Ainsi pour 1 kg de riz Royal, il faut 1100 ml, pour le Djouka de riz, il faut 850 ml d'eau et pour le couscous aux feuilles il faut 1300 ml d'eau.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques chimiques des farines composées à base de riz

Les résultats ont montré que toutes les farines avaient une teneur en eau inférieure à 12%. Les teneurs en protéines des farines composées ont été améliorées grâce aux apports de légumineuses (arachide, soja et niébé) par rapport à celle de la farine de riz (5,5 %). La farine contenant 75% de riz + 10% arachide + 15% soja, et celle composée de 95% de riz-niébé à laquelle 5% malt y ont été ajoutés, ont présenté des teneurs en protéines similaires aux normes recommandées (15-16%) par le Codex Alimentarius (Trèche *et al.*, 1995).

Parmi ces farines, deux ont des teneurs similaires en énergie dont la plus élevée a été obtenue avec la farine contenant le soja et l'arachide (4365,41 kcal). La composition chimique des farines composées est indiquée dans le tableau II.

3.2. Teneur en fer et en zinc des farines composées et du malt de riz

Les teneurs en fer des farines composées à base de riz ont varié de 4,30 mg à 4,82 mg/100 g de matière sèche (Tableau III). Ces teneurs sont

supérieures à celle du riz blanchi. La teneur en fer du riz décortiqué non blanchi (riz cargo) est évaluée à 2,6 mg, tandis que celle du riz blanchi est estimée à 1,4 mg (Benkadri, 2010). Le blanchiment qui consiste à enlever la totalité du son entraîne une diminution en minéraux, car ceux-ci sont en majorité localisés sous le péricarpe. Le malt de riz et celui du mil ont des teneurs en fer supérieures à celle de la farine composée (75% riz + 25% niébé). Une addition de malt à la farine composée permet d'améliorer la teneur en fer et la densité énergétique des bouillies par l'effet des amylases contenues dans le malt.

Tableau II. Composition chimique des farines enrichies à base de riz

Farines composées	Humidité (%)	Cendres (%)	Protéines (%)	Lipides (%)
75 % riz + 25 % niébé	10,25	0,8	11,77	0,70
75 % riz + 25 % soja	10,00	1,31	13,48	6,78
75 % farine de riz + 10 % arachide + 15 % soja	9,20	1,10	15,12	11,78
75 % riz + 10 % arachide + 15 % pain de singe	5,05	1,02	14,18	2,4
75 % riz + 5 % arachide + 10 % niébé + 10 % pain de singe	11,38	1,1	9,07	2,04
75 % riz + 15 % niébé + 10 % arachide	6,65	0,88	16,8	5,6
95 % (riz + niébé) + 5 % malt de mil	6,04	0,95	13,46	2,4
Farine de riz	7,35	0,45	5,56	4

Source: Rapport de la 19^e Session de la Commission Scientifique du Comité National de la Recherche Agricole du Mali (CNRA), Campagne de recherche 2012-2013.

Tableau III. Teneur en fer et en zinc des farines composées, de malt de riz et de mil

Farine de complément	Teneur en fer (mg/100 g)		Teneur en zinc (mg/100 g)			
	Farine de complément et malt (mg/100 g)	Normes (Directive 2008/100/CE)		Farine de complément (mg/100 g)	Normes (Directive 2008/100/CE)	
		Apports recommandés/ jour: 14 mg			Apports recommandés/ jour: 10 mg	
		Minimal	Maximal		Minimal	Maximal
75 % riz + 25 % soja	4,31		2,64			
75 % riz + 10 % arachide + 15 % pain de singe	4,82		2,05			
75 % riz + 15 % niébé + 10 % arachide	4,30	2,1 mg	1,82	2,25 mg	22,5 mg	
Malt de riz	4,52		2,13			
Malt de mil	11,28		2,74			

Source: Rapport de la 18^e Session de la Commission Scientifique du Comité National de la Recherche Agricole du Mali (CNRA), Campagne de recherche 2011-2012.

3.3. Caractéristiques nutritionnelles du Djouka, du Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante et du Riz royal

La teneur en eau des mets a varié de 7 à 8,67%. Ils sont tous aptes à une longue conservation si des emballages adaptés sont utilisés.

Les teneurs en protéines, en lipides et en énergie ont varié avec la matière première entrant dans la préparation des aliments. L'arachide contient 48% de protéines et 25% de lipides (Sidibé, 1996). Certaines transformatrices utilisent la même quantité d'arachide que de fonio dans la préparation du Djouka. Ainsi, pour éviter le rancissement du Djouka en cours de conservation prolongée, l'incorporation de 50% d'arachide dans le Djouka de riz permet d'éviter cette détérioration et améliore sa teneur en lipides (15,67%) et en énergie

(Tableau IV). La teneur en lipides peut varier avec la variété d'arachide utilisée. Le Djouka de riz avait la plus forte teneur en énergie. Cela se justifie par la quantité d'arachide utilisée dans la préparation.

3.4. Tests de reconstitution des mets précuits à base de riz

Les tests d'humidification ont permis de déterminer les quantités d'eau nécessaires pour la reconstitution de chaque produit. Il s'agit d'ajouter de l'eau tiède au produit et de laisser au repos pendant 15 à 20 min. Ainsi pour :

- 1 kg de Riz Royal il faut 1100 ml ;
- 1 kg de Djouka de riz, il faut 850 ml d'eau ;
- 1 kg de Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante, il faut 1300 ml d'eau.

Tableau IV. Teneur en nutriments de la farine et de mets précuits à base de riz

Aliments à base de riz	Humidité (%)	Protéines (%)	Lipides (%)	Énergie (kcal/kg)	Fer mg/100 g	Zinc mg/100 g
Farine de riz blanchi	13,00 a	6,67 b	0,67 b	3639,67 b	1,67	0,42
Djouka de riz	8,33 b	14,67 a	15,67 a	4665 a	3,01	0,32
Couscous de riz aux feuilles d'amarante et d'épinard	8,67 ab	10,33 ab	1,33 b	3718,67 b	3,34	0,77
Riz Royal (10% légumes)	7 b	7,67 b	-	4062,33 ab	2,71	0,12
Moyenne	9,25	9,833	4,417	4021,417	-	-
CV%	9,7	12,1	22,32	4,44	-	-
Signification	HS	HS	HS	HS	-	-
PPDS (5%)	4,37	5,79	4,793	868,47	-	-

Source : Rapport de la 20^e Session de la Commission Scientifique du Comité National de la Recherche Agricole du Mali (CNRA), Campagne de recherche 2013-2014.

Les moyennes suivies par les mêmes lettres dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes.

HS : Hautement Significatif

- : Données non disponibles

PPDS : Plus Petite Différence Significative

4. Discussion

4.1. Caractéristiques des farines de complément

Les farines de complément contenant des sources de protéines végétales constituent des aliments équilibrés par l'apport d'éléments minéraux contenus dans les protéagineux. La présence du malt, de la farine de riz ou de mil germé, permet d'améliorer la densité énergétique des bouillies par la réduction des chaînes d'amidon sous l'effet des enzymes alpha amylases contenues dans les grains en germination. Compte tenu de la non disponibilité du soja dans toutes les zones écologiques du pays, l'arachide ou le niébé peut remplacer le soja au taux de 15% pour l'arachide et 25% pour le niébé. L'augmentation des taux d'arachide peut contribuer au rancissement rapide de la farine conservée, à cause de sa teneur élevée en matières grasses. Au moment de la préparation des bouillies, une source de matière grasse (beurre de karité, pâte d'arachide) doit être ajoutée à ces farines pour améliorer la teneur en matière grasse et en énergie.

La teneur en fer des farines de complément contenant l'arachide, le soja ou le niébé telle que riz-arachide-pain de singe (4,82 mg) est supérieure à l'apport minimal recommandé (Tableau III). Dans l'alimentation du jeune enfant, il est recommandé qu'un enfant âgé de 6 à 12 mois, reçoive 10 mg de fer et 5 mg de zinc pour la couverture journalière de ses besoins (Guthrie, 1989). Ces farines sont donc des aliments de compléments nutritionnellement intéressants convenant aux enfants de plus de 6 mois et aux personnes âgées. Les apports journaliers recommandés en fer et en zinc pour l'adulte sont de 14 mg pour le fer et 10 mg pour le zinc selon la Directive 2008/100/CE.

4.2. Caractérisation des aliments précuits à base de riz

Les teneurs en protéines (10,33 %) et en énergie (3718,67 kcal/kg) du Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante et celles du Djouka de

riz (14,67% de protéine et 4665 kcal/kg) sont supérieures aux teneurs en protéines (6,67%) et énergie (3639,67 kcal/kg) de la farine de riz. Cela doit être un facteur encourageant leur consommation en famille.

Le couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante, le Djouka et le Riz Royal précuits peuvent être conservés pendant longtemps si des emballages adaptés sont utilisés. La consommation de ces mets enrichis peut contribuer à la réduction des carences en minéraux des populations, servir comme source de revenus et créer de la valeur ajoutée.

5. Conclusion

La majorité des farines composées développées avaient une teneur en lipides inférieure à 8%. Il est conseillé d'ajouter une source de lipide à la bouillie au moment de la cuisson pour l'amélioration de l'énergie. Les farines de complément que sont 75% riz + 15% niébé + 10% arachide et 75% riz + 10% arachide + 15% soja ont eu des teneurs en protéines similaires aux normes recommandées. Les teneurs en fer des farines composées riz-niébé, riz-arachide et celles des farines de malt (malt de riz et de mil) étaient supérieures à celles de la farine de riz. Une utilisation judicieuse des aliments de complément peut facilement corriger les carences en micro nutriments chez l'enfant du fait de leur teneur élevée en protéines, en fer et en zinc.

L'utilisation du riz est diversifiée avec le développement de mets de grande consommation tels que le Djouka et le Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante et le Riz Royal. Ce sont des mets de légumes et légumineuses qui sont de bonnes sources de nutriments (protéines, minéraux et vitamines). Leur teneur en protéines et en énergie est supérieure à celle de la farine de riz. La teneur élevée en protéines du Djouka de riz et sa faible teneur en lipide plaident en faveur de son utilisation dans les familles et dans les restaurants.

6. Remerciements

Nos remerciements vont aux bailleurs du Projet WAAPP 1A, à l'Institut d'Économie Rurale et au Personnel du Laboratoire de Technologie Alimentaire.

7. Références

- Benkadri Soulef, 2010. Contribution à la diversification de l'alimentation pour enfants coeliatiques: Fabrication de farines-biscuits sans gluten. Université Mentouri de Constantine, Algérie.
- CPS Mali, 2011. Bilan céréaliier 2010-2011.
- Guthrie Hellen A., 1989. Introductory Nutrition. Seventh edition. Times Mirror/Mosby College Publishing.
- Rapport de la 18^e Session de la Commission Scientifique du Comité National de la Recherche Agricole du Mali (CNRA), Campagne de recherche 2011-2012.
- Rapport de la 19^e Session de la Commission Scientifique du Comité National de la Recherche Agricole du Mali (CNRA), Campagne de recherche 2012-2013.
- Rapport de la 20^e Session de la Commission Scientifique du Comité National de la Recherche Agricole du Mali (CNRA), Campagne de recherche 2013-2014.
- Sidibé Salimata C., 1996. Oxydative Deterioration of Peanut Oil and low Fat-Flour Prepared by using Supercritical Carbon Dioxide. North Carolina A&T State University, Greensboro, North Carolina.
- Trèche Serge, Bruon J.F. de Benoist, Djamil Benbouzid, Francis Delpeuch, 1995. L'alimentation du jeune enfant. Actes d'un atelier OMS/ORSTOM inter pays du 20 au 24 novembre, Université Senghor, Alexandrie. ORSTOM éditions, Paris.
- Wambo Yamdjeu A. H., 2003. Quel prix pour le riz ? Du grain à moulin pour les politiques nationales et régionales. In: Inter-Réseaux Grain de Sel no. 25, décembre 2003.

Effets comparés du sorgho « tan » et du maïs utilisés dans l'alimentation des poulets de chair au Mali

Compared effects of poor tannins sorghum and maize used in broiler feed in Mali

Traoré Bantiéni^{1*}, Salissou Issa², Hancock Joe³, Adah Félix⁴, Koné N'Golopé¹, Keïta Ousmane¹, Sylla Modibo¹, Diourté Mamourou¹, Diallo Fatimata Coulibaly¹, Keïta Sékouba¹ et Touré Abocar¹

¹Institut d'Économie Rurale/Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - B.P. 262
Tél.: +223 20 24 35 82 / 20 24 78 53

²Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN)

³Université de Kansas, États-Unis d'Amérique

⁴Direction des Filières Animales du Burkina Faso

*Tél.: +223 66 63 11 71 / 70 95 49 47 - Courriel: traorebantieni@yahoo.fr

Résumé

Le maïs est la principale source d'énergie utilisée dans l'alimentation de la volaille en aviculture moderne. Le problème de sa disponibilité risque de se poser aux aviculteurs tant au Mali qu'au niveau mondial, en raison de sa demande croissante pour la consommation humaine et de son utilisation de plus en plus importante dans l'industrie (fabrication de biocarburant notamment). L'une des alternatives est de remplacer le maïs par le sorgho surtout à faible teneur en tannins dans l'alimentation de la volaille. C'est dans ce cadre que se situe la présente étude dont l'objectif est d'étudier les possibilités de substitution au maïs du sorgho « tan » (pauvre en tannins).

L'étude a été menée à la Station de Recherche Agronomique de Sotuba. La souche « Cobb 500 » a été utilisée en raison de sa performance et de son adaptation au climat chaud. Les oiseaux ont été répartis au hasard en quatre lots de quatre répétitions totalisant seize lots homogènes de 25 sujets chacun. Ces seize lots ont reçu quatre traitements de quatre répétitions par traitement soit seize répétitions correspondant aux seize lots. Pour les mêmes rations ayant le même niveau de maïs et de sorgho, il y avait deux tailles de particules: 2,5 et 6,0 mm. Les aliments étaient composés selon les traitements de maïs, sorgho, tourteau de coton, tourteau de

soja, tourteau d'arachide, farine de poisson, lysine, méthionine, sel, poudre d'os, calcium, antibiotique, CMV et anticoccidiens. L'eau et l'aliment étaient distribués deux fois par jour *ad-libitum*. Les paramètres contrôlés étaient la consommation alimentaire, l'évolution pondérale des oiseaux, le poids de la carcasse et celui du cinquième quartier. L'indice de consommation et le rendement de la carcasse ont été calculés, le coût de production du poulet de chair évalué. La durée de l'étude a été de 42 jours.

Les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas de différences significatives quant aux performances obtenues (consommation et indice de consommation, évolution pondérale, rendement carcasse) avec les différents traitements, qu'ils soient à base de maïs ou de sorgho. Ceci montre qu'il est possible de remplacer le maïs par le sorgho « tan » dans l'alimentation des poulets de chair. Si cela est techniquement envisageable, il faut noter que le rapport bénéfice/coût est plus élevé dans les lots à maïs que dans les lots recevant du sorgho. Le coût de production du poulet de chair est plus faible chez les poulets de chair nourris avec du maïs qu'avec du sorgho. La problématique de la substitution du maïs par du sorgho à faible teneur en tanins se résume donc à une question de prix du sorgho qui devrait être largement inférieur à celui du maïs. Les efforts entrepris dans ce sens doivent se poursuivre et s'intensifier en vue

de l'augmentation de la production et de la productivité du sorgho aux fins d'améliorer son accessibilité géographique et financière par les aviculteurs.

Mots clés : Poulet de chair, Substitution, Maïs, Sorgho, Croissance, Rendement carcasse, Mali

Abstract

Maize is the main source of energy used in poultry feed of modern poultry farming. The problem of its availability is likely to develop for farmers both in Mali and globally because of its growing demand for human consumption and its increasing use in the industry (biofuel manufacturing in particular). One of the alternatives is to replace maize with sorghum, which is poor in tannins, in poultry feed. It is in this context that the present study aims to study the possibilities of replacing maize by "tan" sorghum (poor tannins).

The study was conducted at the *Station de Recherche Agronomique de Sotuba*. The birds used were 500 Cobb strain because of its performance and its adaptation to warmer climate. They were divided randomly into four lots totalizing six repetitions of four homogeneous groups of 25 subjects each. These sixteen batches received four treatments with four replicates per treatment, sixteen repetitions corresponding to the six lots. For the same rations having the same level of corn and sorghum, there are two sizes of particles: 2.5 and 6.0 mm. Depending on the treatment, food contained maize, sorghum, cottonseed meal, soybean meal, peanut meal, fish meal, lysine, methionine, salt, bone meal, calcium, antibiotic, CMV, coccidiostats. Water and food were given twice-daily *ad libitum*. The parameters controlled were food consumption, body weight gain of birds, carcass weight and that of the fifth quarter. The consumption index and carcass yield were calculated, the cost of broiler production evaluated. Duration of the study was 42 days.

The results show that there are no significant differences in the performance achieved (consumption and consumption index, weight evolution, carcass yield) with the different treatments, whether they are based on maize

or sorghum. This shows that it is possible to replace maize with "tan" sorghum in the diets of broilers. If this is technically possible, it should be noted that the benefit/cost ratio is higher in maize batches than in batches receiving sorghum. The cost of chicken meat production is lower in broilers fed with maize than with sorghum. The issue of substitution of maize by poor tannin sorghum is the price of sorghum, which should be much lower than that of maize. Efforts in this direction must be continued and intensified in order to increase production and productivity of sorghum, also in order to improve the accessibility and affordability for poultry farmers.

Key words: Broiler, Substitution, Maize, Sorghum, Growth, Carcass yield, Mali

1. Introduction

Le maïs est la principale source d'énergie utilisée dans l'alimentation de la volaille en aviculture moderne. Cependant, sa production, bien qu'importante, est confrontée à une demande de plus en plus croissante pour la consommation humaine et pour la fabrication de bio-carburant. À terme, sa disponibilité risque d'être limitée pour les aviculteurs. L'une des alternatives est de trouver d'autres substituts au maïs comme le sorgho dans l'alimentation de la volaille. Mais l'introduction du sorgho dans l'alimentation de la volaille se heurte à sa teneur en tannins qui affectent sa valeur nutritive en bloquant les protéines, ce qui rend leur digestion difficile. Abdoulaye *et al.* (2006), étudiant la teneur en tannins du sorgho dans quatre pays sahéliens, montrent qu'au Mali, les cultivars sont pauvres en tannins, la plus forte teneur étant de 0,28% contre le seuil critique de 0,4%. Il est donc envisageable de remplacer le maïs par le sorgho du Mali dans l'alimentation de la volaille. Le Programme sorgho de l'Institut d'Économie Rurale a sélectionné des variétés de sorgho à faible teneur en tannins qui méritent d'être valorisées dans l'alimentation de la volaille en remplacement du maïs. C'est dans ce cadre que se situe la présente étude dont l'objectif est d'étudier les possibilités de substitution au maïs du sorgho pauvre en tannins pour l'alimentation du poulet de chair.

2. Matériel et méthodes

L'expérience a été menée à la Station de Recherche Agronomique de Sotuba en juillet 2008. Les oiseaux utilisés étaient au nombre de 400 sujets de souche Cobb 500 en raison de sa performance et de son adaptation au climat chaud. Les 400 sujets ont été répartis au hasard en quatre lots et quatre répétitions, soit seize lots homogènes. Chaque lot était constitué de 25 sujets. Quatre traitements en quatre répétitions ont été testés, soit au total 16 lots. Les aliments étaient composés de maïs, sorgho, tourteau de coton, tourteau de soja, tourteau d'arachide, farine de poisson, lysine, méthionine, sel, poudre d'os, calcium, antibiotique, Complément Minéral Vitaminé (CMV), anticoccidiens (Tableau I). Pour les traitements ayant le même niveau de maïs et de sorgho, la taille des particules différait, soit 2,5 et 6,0 mm. En effet, la taille des particules influe sur la consommation et la valeur nutritive de la ration.

Au démarrage de l'expérience, les oiseaux ont été vaccinés contre certaines maladies comme la maladie de Newcastle, la maladie de Gumboro, la variole, la bronchite infectieuse et ont subi un déparasitage interne et externe. Ensuite l'antibiothérapie a été utilisée en cas de nécessité au cours de l'expérience. La durée de l'étude a été de 42 jours.

Les oiseaux ont été alimentés selon les traitements, en tenant compte des deux phases du cycle de production du poulet de chair (démarrage et finition).

La composition et la valeur nutritive des rations sont données dans le tableau I.

Les rations et l'eau ont été distribuées *ad libitum* 2 fois par jour. La consommation quotidienne d'aliments a été quantifiée en fonction du refus qui a été pesé à la fin de la journée.

Tableau I. Composition et valeur nutritive des rations

Ingrédients	Lot 1		Lot 2		Lot 3		Lot 4	
	1-21 jours	21-42 jours						
Maïs grain (%)	57,34	61,79	57,34	61,79	0,00	0,00	0,00	0,00
Sorgho grain (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	57,34	61,79	57,34	61,79
Concentré*(%)	42,66	38,21	42,66	38,21	42,66	38,21	42,66	38,21
Taille des particules (mm)	6	6	2,5	2,5	6,0	6,0	2,5	2,5
Valeur nutritive								
EM en kcal/kg	2889	2888	2889	2888	2889	2888	2889	2888
Ca total (%)	1,15	1,04	1,15	1,04	1,15	1,04	1,15	1,04
Phosphore disponible (%)	0,52	0,40	0,52	0,40	0,52	0,40	0,52	0,40
Lysine (%)	1,29	1,15	1,29	1,15	1,29	1,15	1,29	1,15
Méthionine (%)	0,64	0,50	0,64	0,50	0,64	0,50	0,64	0,50
Thréonine (%)	0,92	0,86	0,92	0,86	0,92	0,86	0,92	0,86
Tryptophane (%)	0,28	0,26	0,28	0,26	0,28	0,26	0,28	0,26

*Concentré composé de : tourteau de soja, tourteau de coton, tourteau d'arachide, méthionine, lysine, biotine, sel (Na cl), CaCO₃ (38%), Bi Phosphate de calcium, bicarbonate de sodium, vitamines, minéraux, coccidiostatiques et antibiotiques.

La phase 1 couvrait la période de 1 à 21 jours et la phase 2 de 21 à 42 jours. Les oiseaux ont été pesés au début, au milieu et à la fin de l'expérience pour déterminer leur évolution pondérable.

À la fin de l'étude, 48% de l'effectif de départ, soit 12 oiseaux par lot, ont été abattus pour l'analyse de la carcasse et du cinquième quartier (abats et issues). À cette fin, les oiseaux ont été d'abord pesés à jeun, abattus, plumés et éviscérés. La carcasse, le gésier vide, le foie, le cœur, les poumons, les intestins vides, les gras mésentériques, les pattes et la tête ont été collectés et pesés.

Le rendement carcasse a été calculé, la part du cinquième quartier a été évaluée.

Les paramètres mesurés ont été la consommation d'aliment, l'évolution pondérale, le poids de la carcasse et du cinquième quartier. L'indice de consommation et le rendement carcasse ont été calculés. Le coût de production de poulets de chair a été déterminé. Des échantillons des rations ont été analysés pour la détermination de leur valeur nutritive.

La méthode statistique utilisée pour traiter les données est l'analyse de variance à un facteur selon le modèle suivant :

$$Y_{ij} = \mu + T_{ij} + E_{ij}$$

Où : Y_{ij} est la variable d'intérêt ; μ la moyenne générale ; T_{ij} l'effet du traitement et E_{ij} l'effet résiduel.

Les comparaisons multiples ont été faites avec le test de Bonferroni et Duncan. La méthode bénéfice/coût a été utilisée pour sélectionner les meilleures rations.

Ratio = Bénéfice total/Coût total

Coût total = Total des charges (coût des aliments, des médicaments, des poussins)

Bénéfice total = Total revenu brut - total coût

Revenu brut = (total de viande produite * prix courant du kg de viande sur le marché).

Le tableau II donne le prix unitaire du kg de maïs, de sorgho et de concentré ainsi que le prix au marché du kg de carcasse du poulet de chair ayant servi au calcul du ratio bénéfice total/coût total. Le sorgho a été acheté avec le Programme Sorgho pour l'étude.

Tableau II. Quelques paramètres ayant servi de base au calcul du ratio coût/bénéfice

Paramètres	Prix unitaire (FCFA/kg)
Maïs	195
Sorgho	275
Concentré	428
Kilogramme carcasse poulet de chair	1900

3. Résultats

3.1. Performances zootechniques

3.1.1. Consommation moyenne et indice de consommation

La consommation moyenne journalière par lot est la même ($p > 0,05$) pour chaque phase (Tableau III). Il en est de même pour la consommation moyenne journalière totale.

Quant aux indices de consommation, ils sont comparables pour chaque phase ($p > 0,05$) dans tous les lots excepté la phase 2 du lot 4 ($p < 0,05$). Cette différence dans ce lot n'a cependant pas influencé l'indice de consommation totale dans tous les lots ($p > 0,05$) (Tableau III).

3.1.2. Évolution pondérale des oiseaux

Au démarrage de l'expérimentation, tous les quatre lots avaient le même poids vif de 40 - 40,5 g/sujet. À la fin de la phase 1 (Tableau IV), les lots se sont détachés les uns des autres en termes de poids vif moyen sauf pour les lots nourris au sorgho (lot 3 et lot 4) dont les poids sont restés plus bas ($p < 0,05$). Mais à la fin de la phase 2, les oiseaux du lot 3 ont rattrapé leur retard ($p > 0,05$) à l'opposé du lot

4 correspondant. Mais cette situation n'a pas influencé le GMQ (Gain Moyen Quotidien) de la phase 1 du lot IV ($p > 0,05$). Il en est de

même pour le GMQ total bien que le GMQ de la phase 2 du lot 4 soit différent de celui des autres lots ($p < 0,05$).

Tableau III. Évolution des consommations d'aliment et des indices de consommation

Paramètres	Lot	Phase 1	Phase 2	Totale
Consommation moyenne journalière par sujet (g/j)	1	60,45±0,42 ^a	110,64±2,28 ^b	171,09±2,54 ^c
	2	61,05±0,46 ^a	110,65±2,28 ^b	171,69±2,20 ^c
	3	60,65±0,14 ^a	112,93±2,28 ^b	173,57±2,16 ^c
	4	60,59±0,37 ^a	109,50±0,01 ^b	170,09±0,36 ^c
Indice de consommation	1	1,74±0,30 ^d	1,67±2,41 ^e	3,41±1,92 ^s
	2	1,80±0,30 ^d	1,64±0,85 ^e	3,44±0,83 ^s
	3	1,91±0,08 ^d	1,78±0,70 ^e	3,68±0,67 ^s
	4	1,86±0,27 ^d	2,11±1,45 ^f	3,97±1,59 ^s

Les moyennes portant les mêmes lettres en minuscules, en exposant, dans la même colonne, sont statistiquement identiques.

Tableau IV. Évolution pondérale des poulets de chair de 1 à 42 jours

Paramètres	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4
Poids vif moyen initial (g)	40,00±0,00 ^a	40,00±0,00 ^a	40,50±0,58 ^a	40,25±0,50 ^a
Poids vif moyen phase 1 (g)	770,72±29,62 ^a	751,29±32,11 ^b	708,34±36,72 ^c	724,81±28,37 ^c
Poids vif moyen phase 2 (g)	2160,75±27,79 ^a	2166,75±25,87 ^a	2043,25±37,58 ^a	1812,83±39,95 ^b
Gain de poids moyen phase 1 (g)	730,72±29,62 ^a	711,29±32,11 ^a	667,84±36,61 ^b	684,56±38,59 ^a
Gain de poids moyen phase 2 (g)	1390,04±19,83 ^a	1415,46±26,04 ^a	1334,91±28,54 ^a	1088,02±27,73 ^b
Gain de poids moyen total (g)	2120,75±27,79 ^a	2126,75±25,87 ^a	2002,75±38,01 ^a	1772,58±29,94 ^b
Gain Moyen Quotidien phase 1 (g/j)	34,80±1,41 ^a	33,87±1,53 ^a	31,80±1,74 ^a	32,60±1,36 ^a
Gain Moyen Quotidien phase 2 (g/j)	66,19±0,94 ^a	67,40±2,67 ^a	63,57±3,26 ^a	51,81±1,32 ^b
Gain Moyen Quotidien Total (g/j)	50,49±0,66 ^a	50,64±1,33 ^a	47,68±1,62 ^a	42,20±7,13 ^a

Les moyennes portant les mêmes lettres en minuscules, en exposant, sur la même ligne, sont statistiquement identiques.

3.1.3. Rendement carcasse

Le poids à l'abattage des sujets alimentés avec les rations contenant du maïs a été plus élevé que celui des sujets nourris avec les régimes à base de sorgho. Cette différence statistique a été aussi observée au niveau du poids de la carcasse seulement pour le lot 4. Cette différence de poids à l'abattage et du poids carcasse du lot 4 n'a pas influencé le rendement carcasse qui est le même dans les 4 lots ($p > 0,05$) (Tableau V).

3.1.4. Cinquième quartier

Au niveau des abats, l'intestin vide et le foie offrent les mêmes poids respectifs pour tous les lots. C'est surtout le contenu du tube digestif qui contribue à créer la différence de poids entre le lot 3 et les autres lots. Quant au gésier, son faible poids dans le lot 4 ($p < 0,05$) pourrait montrer sa faible sollicitation dans la trituration de l'aliment moins grossier dans ce lot. Concernant les issues, une différence significative est notée au niveau des pattes qui sont plus lourdes dans les lots à maïs que dans ceux à sorgho (Tableau VI).

Tableau V. Rendement carcasse des poulets de chair

Paramètres	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4
Poids vif moyen à l'abattage (g)	2160,75±27,79 ^a	2166,75±25,87 ^a	2043,25±27,58 ^b	1812,83±29,95 ^b
Poids moyen carcasse (g)	1631,5±20,98 ^a	1634,5±19,52 ^a	1543,5±20,83 ^b	1144,93±16,82 ^c
Rendement moyen carcasse (%)	75,53±0,76 ^a	75,42±0,75 ^a	75,50±0,76 ^a	74,71±0,56 ^a

Les moyennes portant les mêmes lettres en minuscules, en exposant, dans la même ligne, sont statistiquement identiques.

Tableau VI. Poids moyens du cinquième quartier (abats et issues)

Paramètres	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4
Abats				
- Gésier	45,75±13,37 ^a	47,25±14,81 ^a	46,50±14,46 ^a	41,75±21,68 ^b
- Intestin plein	76,00±3,54 ^a	78,75±3,79 ^a	80,75±4,22 ^b	75,00±4,91 ^a
- Intestin vide	49,00±1,47 ^a	50,50±1,56 ^a	50,50±1,65 ^a	52,00±2,36 ^a
- Foie	51,75±1,64 ^a	48,00±1,41 ^a	49,25±1,57 ^a	50,50±2,23 ^a
Issues				
- Tête	65,83±2,66 ^a	67,29±2,77 ^a	66,29±2,85 ^a	65,02±3,69 ^a
- Pattes	94,50±5,47 ^a	95,75±5,61 ^a	88,25±5,05 ^b	85,25±6,35 ^b

Les moyennes portant les mêmes lettres en minuscules, en exposant, sur la même ligne, sont statistiquement identiques.

3.1.5. Effets de la taille des particules sur la consommation, l'indice de consommation, l'évolution pondérale et le rendement carcasse des poulets de chair

La taille des particules n'a pas influencé la consommation d'aliment, l'indice de consommation, le GMQ et le rendement carcasse des oiseaux ($p > 0,05$) (Tableau VII).

3.1.6. Effet de la taille des particules sur le cinquième quartier

La tête, le foie, le gésier, l'intestin plein, l'intestin vide et les pattes constituant les

éléments analysés ne sont pas influencés par la taille des particules (Tableau VIII).

3.1.7. Taux de morbidité et de mortalité des poulets de chair

Les lots 1 et 2 ont enregistré chacun une mortalité tandis que le lot 3 en a subi 3. Par contre dans le lot 4, il n'a pas été noté de mortalité (Tableau IX).

3.2. Évaluation économique

Le tableau X donne le ratio bénéfice/coût obtenu avec les poulets de chair.

Tableau VII. Effets de la taille des particules sur la consommation, l'indice de consommation, l'évolution pondérale et le rendement carcasse des poulets de chair

Taille des particules	Consommation moyenne totale (g/j/sujet)	Indice de consommation	Gain Moyen Quotidien total (g/j)	Rendement moyen carcasse (g)
Grossière	60,55±0,28 ^a	3,55±0,19 ^b	49,09±1,99 ^a	75,51±0,01 ^a
Fine	60,82±0,42 ^a	3,71±0,37 ^b	46,42±5,97 ^a	75,07±0,50 ^a

Les moyennes portant les mêmes lettres en minuscules, en exposant, dans la même colonne, sont statistiquement identiques

Tableau VIII. Effet de la taille des particules sur le cinquième quartier

Paramètres	Taille des particules	
	Grossière	Fine
Abats (g)		
- Gésier	46,13±0,53 ^a	44,50±3,89 ^a
- Intestin plein	78,38±3,36 ^b	76,88±2,65 ^b
- Intestin vide	49,75±1,06 ^c	51,25±1,06 ^c
- Foie	50,50±1,77 ^d	49,25±1,77 ^d
Issues (g)		
- Tête	66,06±0,33 ^a	66,16±1,61 ^a
- Pattes	91,38±4,42 ^b	90,50±7,42 ^b

Les moyennes portant les mêmes lettres en minuscules, en exposant, sur la même ligne, sont statistiquement identiques

Tableau IX. Taux de mortalité des poulets de chair

Paramètres	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4
Effectif initial	100	100	100	100
Nombre de morts	1	1	3	0
Effectif final	99	99	97	100
Taux de mortalité par lot (%)	0,25	0,25	0,75	0

Tableau X. Ratio coût/bénéfice obtenu avec les poulets de chair

Paramètres	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4
Coûts				
Aliments	105 768	105 768	121 768	121 768
Santé	17 505	17 505	17 505	17 505
Poussins	65 000	65 000	65 000	65 000
Main-d'œuvre	18 753	18 753	18 753	18 753
Total coûts	207 026	207 026	223 026	223 026
Revenus				
Viande	306 885	307 449	284 467	217 537
Total revenus	306 885	307 449	284 467	217 537
Bénéfice total	99 859	100 423	61 441	-5 489
Bénéfice total/Coût total	0,48	0,49	0,28	-0,02
Coût de production	2 091	2 091	2 299	2 230

Le rapport bénéfice total/coût total est le même pour les lots à maïs et est plus élevé que celui des lots recevant du sorgho. Quant au coût de production du poulet de chair, il est plus faible dans les lots à maïs que ceux recevant du sorgho.

4. Discussion

4.1. Performances zootechniques

4.1.1. Consommation moyenne et indice de consommation

La consommation moyenne journalière de 135 à 152 g/sujet/j est supérieure aux 116 g/sujet/j obtenus par Hassan (2006) au Niger sur des poulets de chair. Mais ces derniers étaient des Arbo-acres nourris pendant neuf semaines.

Pour les indices de consommation, ils sont un peu élevés par rapport aux normes admises (2-3) (Sanofi, 1993; Assan, 1990; Buldgen *et al.* (1992) en raison des pertes causées par la petite taille des mangeoires.

4.1.2. Évolution pondérale des oiseaux

Les poids vif obtenus ici (2005,70 g) sont plus élevés que ceux mentionnés par Hassan (2006), 1212,83 g. La différence est probablement liée à la courte durée de l'essai mené au Niger (21 à 35 jours contre 42 jours ici).

4.1.3. Rendement carcasse

Les rendements carcasses sont les mêmes que ceux obtenus par Hancock and Bramel-Cox. (2000) chez des poulets nourris au sorgho

comparativement au maïs. Issa *et al.* (2007) rapportent des rendements carcasses similaires dans les lots à sorgho et à maïs comparables à ceux de notre étude (74,71-75,55% contre 75,01-76,02%).

4.1.4. Cinquième quartier

Dans les abats, l'intestin vide et le foie offrent respectivement des poids homogènes pour tous les lots comme l'attestent Issa *et al.* (2007). Ces poids respectifs sont de 49,00-52,01 g contre 50,60-51,02 g et 48,00-51,75 g contre 49,02-51,32 g.

4.1.5. Effets de la taille des particules sur la consommation, l'indice de consommation, l'évolution pondérale et le rendement carcasse des poulets de chair

Pour Cramer *et al.* (2003), Issa *et al.* (2007), la taille des particules n'a pas d'effet sur la consommation, l'indice de consommation, l'évolution pondérale et le rendement carcasse des poulets de chair nourris au sorgho en comparaison du maïs, ce qui confirme nos résultats soit respectivement 60,55-60,82 g/j contre 61,10-61,70 g/j ; 3,55-3,71 contre 3,20-3,52 ; 46,42-49,09 g/j contre 47,02-49,90 g/j et 75,07-75,51 % contre 75,98-76,15%.

4.1.6. Effet de la taille des particules sur le cinquième quartier

La taille grossière (6,00 mm) et la taille fine (2,5 mm) ne modifient pas le poids des abats (gésier, intestin plein, intestin vide et foie) ainsi que celui des issues (tête et pattes). En effet, nos valeurs sont comparables à celles obtenues par Hancock and Bramel-Cox (2000) et Cramer *et al.* (2003).

4.1.7. Taux de morbidité et de mortalité des poulets de chair de 1 à 42 jours

Les taux de mortalité observés sont inférieurs aux normes admises de 10-15% rapportées par Sanofi (1993).

5. Conclusion

Les résultats obtenus au cours des tests ont montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre les différents traitements, qu'ils soient à base de maïs ou de sorgho, par rapport à la consommation et à l'indice de consommation, à l'évolution pondérale et au rendement carcasse. Ceci montre qu'il est possible de remplacer le maïs par le sorgho «tan» dans l'alimentation des poulets de chair. Si cela est techniquement envisageable, il faut noter que le rapport bénéfice/coût est plus élevé dans les lots à maïs que dans les lots recevant du sorgho. Le coût de production du poulet de chair est plus faible chez les poulets de chair nourris avec du maïs qu'avec du sorgho. Cela signifie qu'à l'état actuel, l'utilisation du maïs chez le poulet de chair est plus économique que celle du sorgho. La problématique de la substitution du maïs par du sorgho à faible teneur en tanins se résume donc à une question de prix du sorgho qui devrait être inférieur ou égal à celui du maïs. Ce qui implique que les efforts entrepris doivent se poursuivre et s'intensifier en vue de l'augmentation de la production et de la productivité du sorgho aux fins d'améliorer son accessibilité géographique et financière aux aviculteurs.

6. Remerciements

La présente étude est le fruit de la collaboration des Programmes Volaille et Sorgho de l'Institut d'Économie Rurale et l'Université de Kansas aux États-Unis d'Amérique à travers le projet INTSORMIL. Les auteurs remercient le partenaire INTSORMIL pour la qualité de la collaboration et l'exhortent à la développer et à la fructifier davantage.

7. Références

- ABDOULAYE T., SANDERS J. et OUENDEBA B., 2006. Quelle céréale pour les aliments volaille en Afrique de l'Ouest: Sorgho ou Maïs ? INTSORMIL – Projet Marketing – Processing, Bulletin N° 4. Mars 2006.
- BULDGEN A., DETIMMERMAN F., SALL B. et COMPÈRE R., 1992. Etude des paramètres

- démographiques et zootechniques de la poule locale du bassin arachidier sénégalais. *Rév. Elev. Méd. Vét. Pays trop.* 45 (3-4): 341-347.
- CRAMER K.R., WILSON K.J., MORITZ J.S., and BEYER R.S. (2003). Effect of sorghum based-diets subject to various manufacturing procedures on broiler performance. *J. Appl. Poult. Res.* 12: 404-410.
- HASSAN I., 2006. Performances des poulets de chair nourris à base du maïs et du sorgho. Mémoire de fin de cycle Technicien supérieur d'Élevage. Institut Polytechnique Rural de Katibougou; 42 p.
- HANCOCK J.D. and P.J. BRAMEL-COX (2000). KSU Sorghum Research Kansas State University. Manhattan, Kansas 66506. 10 p.
- HANCOCK J.D. (2007). Ingredient section and sory utilization Personal communication, 2 pages.
- HANCOCK J.D. (2007). Particule size of corn and sorghum diet cost in broilers. Personal communication, 2 p.
- HANCOCK J.D. (2007). Effects of sorghum on growth and carcass characteristics in Broiler chick reared in West Africa. Personal communication 35 p.
- HANCOCK J.D. (2007). Maize-sorghum based brewery as an energy substitute in broiler starter. Effect on performance, carcass characteristics, organs and muscle growth. Personal communication 32 p.
- ISSA S, HANCOCK J.D. TUINSTRAN M.R. KAPRAN I. and KAKA S. (2007). Effects of sorghum variety on growth and carcass characteristics in broiler chicks reared in West Africa. *J. Anim. Sci.* Vol. 85. Suppl. 1/j. Dairy Sci. Vol. 90. Suppl. 1/Poult.Sci. Vol. 86. Suppl. I. P 69.
- MINISTÈRE DE L'ÉLEVAGE ET DE LA PÊCHE (2004). Politique nationale de développement de l'élevage du Mali, volume II: Enjeux et stratégies, 30 pages.
- SANOFI, 1993. Guide de l'aviculture tropicale. Sanofi Santé animale de l'aviculture tropicale 116 p.

Réponses des géotypes de riz en fonction des doses de différentes sources de phosphore sur les sols dégradés du Delta intérieur du fleuve Niger

Responses of rice genotypes based on different rates of phosphorus sources on the degraded soils of the Niger River's interior delta

Doumbia Yacouba*, Ndiaye M. Kabirou, Kamissoko Nianankoro

Institut d'Économie Rurale - B.P. 258

*Courriel: yacoudoumbia55@yahoo.fr

Résumé

La riziculture a été longtemps pratiquée de façon extensive à l'Office du Niger. Les périmètres situés dans le Delta intérieur sont constitués de sols formés à partir d'alluvions. Ces sols aux caractéristiques très variées montrent par endroit des réponses aux apports de phosphore. Dans le système intensif actuel, de nouvelles variétés (BG90-2, Sébérang MR77) sont utilisées. Pour étudier leurs réponses aux doses de phosphore à partir de deux sources, nous avons conduit des expérimentations sur deux types de sol. Les sources de phosphore étaient le triple superphosphate (TSP) et le phosphate naturel du Tilemsi (PNT).

Sur sol ferrugineux à pH acide, le PNT assure une augmentation des rendements et du phosphore du sol. Contrairement au TSP, le PNT contribue plus à l'augmentation du phosphore du sol qu'à celui de la plante. Il permet de corriger la déficience en phosphore à un faible coût. Sur vertisol, les teneurs en argile sont élevées. BG90-2 et Sébérang MR77 se comportent de manières différentes en fonction des doses de phosphore. La BG90-2 valorise mieux le PNT que le TSP. Pour toutes les sources, les teneurs en phosphore de la BG90-2 sont plus élevées que celles de Sébérang MR77. La meilleure source de phosphore est le TSP avec Sébérang MR77.

Une meilleure combinaison des variétés, doses et sources de phosphore peut être envisagée sur les zones dégradées du Delta intérieur.

Mots clés: phosphate naturel, triple superphosphate, variété, vertisol, sols ferrugineux, Mali

Summary

Rice cultivation has long been extensively practised at the Office du Niger. These perimeters located in the interior Delta are formed from alluvial deposits. These soils with various characteristics show at some locations responses to phosphorus application. In the current intensive system, new varieties (BG90-2, Seberang MR77) are used. To study their responses to phosphorus doses from two sources, we conducted experiments on two types of soil. The sources of phosphorus were Triple Super Phosphate (TSP) and rock phosphate of Tilemsi (PNT). On ferruginous soils with acid pH, PNT increased yields and soil phosphorus content. In contrary of TSP, PNT contributes more to increase soil phosphorus content than plant phosphorus content. PNT allows to control phosphorus deficiencies at a low cost. On vertisol, clay contents are high. The BG90-2 varieties and the Seberang MR77 behave differently depending on phosphorus doses. The BG90-2 variety uses better PNT than TSP. For all sources, phosphorus contents from BG90-2 are higher than those of Seberang MR77. The best source of phosphorus is TSP with Seberang MR77. A better combination of varieties, doses and phosphorus sources need to be considered for the degraded areas of the interior Delta.

Key words: rock phosphate, triple super-phosphate, variety, vertisol, ferruginous soils, Mali

1. Introduction

La riziculture irriguée au Mali occupe environ 25 % des surfaces rizicoles et elle produit plus de 60 % de la production nationale de riz. L'essentiel de ces surfaces rizicoles irriguées se trouve dans le Delta Central du Fleuve Niger, précisément en zone Office du Niger. Dans cette partie du Delta, la riziculture se pratique depuis plus d'un demi-siècle, eu égard aux travaux de Dabin en 1951. Le système de culture d'abord extensif a évolué vers un système plus intensif avec la réhabilitation des parcelles et l'adoption de techniques de culture améliorées. Dans le système extensif, les exportations de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K) étaient plus importantes et n'étaient pas compensées. La fertilisation était à base d'azote et de phosphore. Cette situation a conduit à un appauvrissement des sols, surtout en P et K. Les analyses de sol faites par Dabin en 1951 et celles faites par Toujan en 1980 ont indiqué une baisse considérable de la teneur des sols en potassium. Les études menées par Dembélé *et al.* en 1999 ont mis en évidence un bilan négatif pour les éléments P et K. Ailleurs, les résultats obtenus ont indiqué des réponses au phosphore surtout dans la zone du Delta Vif du Fleuve Niger où 10 %

des parcelles ont été abandonnées. En 1990 un essai sur le phosphate naturel et le phosphore soluble dans cette zone a montré la nécessité d'un apport de phosphate sur ces sols (PRI, 1990). Dans le cadre de l'intensification, une série de variétés qui diffèrent par le port et le tallage sont actuellement cultivées.

L'objectif de l'étude était d'évaluer le comportement des variétés de riz en présence de doses croissantes de différentes sources de phosphore sur les types de sol.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel

2.1.1. Sites d'étude et caractéristiques

Les essais ont été conduits en 1998 et 1999 dans le Macina en zone Office du Niger. Cette zone est située au Centre Sud du Mali. Les essais ont été implantés sur deux types de sol dont un sol ferrugineux tropical et un vertisol. Les caractéristiques physico-chimiques de ces sols figurent dans le tableau I. Ces sols se différencient par le pH, la granulométrie et la teneur en bases échangeables.

Tableau I. Caractéristiques physico-chimiques des sols utilisés dans le Macina

Caractéristiques	Sol ferrugineux	Vertisol
pH eau	5,8	6,3
pH KCl	4,2	4,9
Argile (g kg ⁻¹)	520	690
Sable (g kg ⁻¹)	170	110
Limon (g kg ⁻¹)	310	200
C. organique %	1,16	1,25
C/N	11	12
P total (mg kg ⁻¹)	397	350
P. assimilable (mg kg ⁻¹)	3	2,33
Bases échangeables méq/100 g		
Ca ++	4,33	10,09
Mg++	1,53	2,80
Na+	0,27	0,49
K+	0,35	0,32
CEC	12,5	19,7

2.1.2. Matériel végétal

Les variétés de BG 90-2 et Sébérang MR77 ont été utilisées dans les essais.

- la variété BG 90-2 a un cycle de 130 jours et un rendement moyen de 6 000 kg ha⁻¹. De taille relativement courte (100 cm), elle a été utilisée pour les essais sur l'effet du phosphore et du potassium sur les sols dégradés du Macina. Cette variété, très productive, est sensible à la panachure jaune du riz (Rice Yellow Mottled Virus ou RYMV). Son choix est lié au fait qu'elle extériorise mieux les symptômes des maladies et les signes de carences.
- La variété Sébérang MR77: introduite à partir de l'IRRI, elle a une hauteur moyenne de 115 cm et un cycle de 145 jours. Le tallage est bon et le rendement moyen est 6 000 kg ha⁻¹.

2.2. Méthodes

2.2.1. Détermination des caractéristiques des sols

Les échantillons de sol ont été prélevés sur 30 cm de profondeur avant la mise en place des essais. Ils ont ensuite été séchés, broyés et tamisés pour analyse. Le pH a été déterminé par la méthode potentiométrique dans une suspension de terre avec un rapport 1:2,5. La détermination du carbone organique a été faite par la méthode Anne modifiée. Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Bray II. La détermination de la CEC a été faite

à partir d'une solution d'acétate d'ammonium. Les bases échangeables ont été déterminées avec les solutions d'acide chlorhydrique, d'acétate d'ammonium de Na, K, Ca et Mg. Le sodium (Na) et le potassium (K) ont été mesurés à l'aide de spectrophotomètre à flamme. Le Ca et le Mg ont été mesurés par absorption atomique.

2.2.2. Implantation des essais

Le triple superphosphate (TSP) ou le phosphate naturel du Tilemsi (PNT) et le chlorure de potassium ont été apportés au moment du repiquage. L'azote a été apporté essentiellement sous forme d'urée en complément minéral (CM) sur tous les traitements au tallage, 18 jours après repiquage, et à l'initiation paniculaire, 52 jours après repiquage.

Les traitements sont constitués par la combinaison de deux variétés (BG 90-2 et Sébérang MR77), deux sources de phosphore (TSP et PNT) et cinq niveaux de phosphore (0, 13, 26, 39 et 52 kg P ha⁻¹).

Le dispositif est un factoriel en blocs avec deux variétés, deux sources de phosphore et cinq niveaux de phosphore. Les parcelles élémentaires avaient une surface de 30 m² (10 m x 3 m) avec une allée de 0,50 m entre les parcelles.

Les traitements ont été répétés 5 fois et les blocs étaient séparés par des allées de 1 m.



Variété Sébérang MR77 dans l'essai sur la réponse des variétés aux doses de différentes sources de phosphore sur vertisol



Essai sur le comportement des géotypes en fonction des doses et sources de phosphore sur sol ferrugineux

2.2.3. Collecte et analyse des données

La récolte a été effectuée sur les lignes centrales en éliminant deux lignes de chaque côté. Le paddy a été récolté et les poids ont été ramenés à 14% d'humidité.

Les relations entre les variétés, sources, doses de phosphore et le rendement ont été établies à partir des courbes de régression. Le comportement des génotypes a été étudié à travers le rendement et leurs réactions par rapport aux sources de phosphore sur sols ferrugineux tropicaux et vertisols.

3. Résultats

3.1. Effet doses des sources de phosphore sur le rendement des deux variétés sur les deux types de sols

L'effet des doses de différentes sources de phosphore (TSP, PNT) sur le rendement du riz en fonction des variétés de riz, évalué sur les deux grands types de sol de l'Office du Niger, a montré une différence de réponse liée aux caractéristiques des sols étudiés. Le tableau d'analyse de variance (Tableau II) présente les résultats de deux campagnes pour les rendements paddy.

Tableau II. Résultats d'analyse de variance des essais sur la réponse des variétés aux sources et doses de phosphore sur deux types de sol ferrugineux tropical et vertisol à Darsalam, dans le Macina en 1998 et 1999

Facteurs	Sol ferrugineux tropical		Vertisol	
	Rendement paddy (kg ha ⁻¹)		Rendement paddy (kg ha ⁻¹)	
	1998	1999	1998	1999
Variétés				
BG 90-2	4342	3209	4405	3913
Sébérang MR77	4437	3113	4139	3072
Source P				
TSP	4237 b	2926	4374	3606
PNT	4542 a	3396	4170	3380
Doses de P (kg ha ⁻¹)				
0	3136 e	1404	3051	1680
13	4045 d	2610	3911	2802
26	4457 c	3522	4286	3974
39	4861 b	4135	4918	4241
52P	5448 a	4135	5197	4768
Moyennes	4390	3161	4272	3493
Variétés	NS	NS	S	HS
Source de P	S	HS	S	NS
Dose de P	HS	HS	HS	HS
Variétés x sources de P	NS	NS	S	S
Variétés x dose de P	NS	NS	NS	NS
Source x dose de P	NS	HS	S	S
Variétés x sources x doses de P	NS	NS	NS	NS
CV p.c.	14,2	12,3	12,1	17,8

Les chiffres suivis par les mêmes lettres dans la même colonne sont statistiquement équivalents au seuil de 5%

Dans le tableau III, ont été présentés les rendements moyens de paddy en fonction des doses et sources de phosphore sur sol ferrugineux pendant la campagne 1998.

La figure 1 présente l'évolution des rendements moyens de paddy en 1999 pour deux sources

de phosphore en fonction de doses croissantes sur sol ferrugineux.

Les relations entre sources et doses sur sol ferrugineux et vertisol sont présentées dans les figures 2 et 3.

Tableau III. Comparaison des moyennes en première année sur sol ferrugineux (campagne 1998)

Facteurs	Rendements (kg ha ⁻¹)
Doses de P (kg ha⁻¹)	
0	3136e*
13	4046d
26	4457c
39	4861b
52	5448a
Sources	
TSP	4237b
PNT	4543a

*Les chiffres suivis par les mêmes lettres sont statistiquement équivalents au seuil de 5%

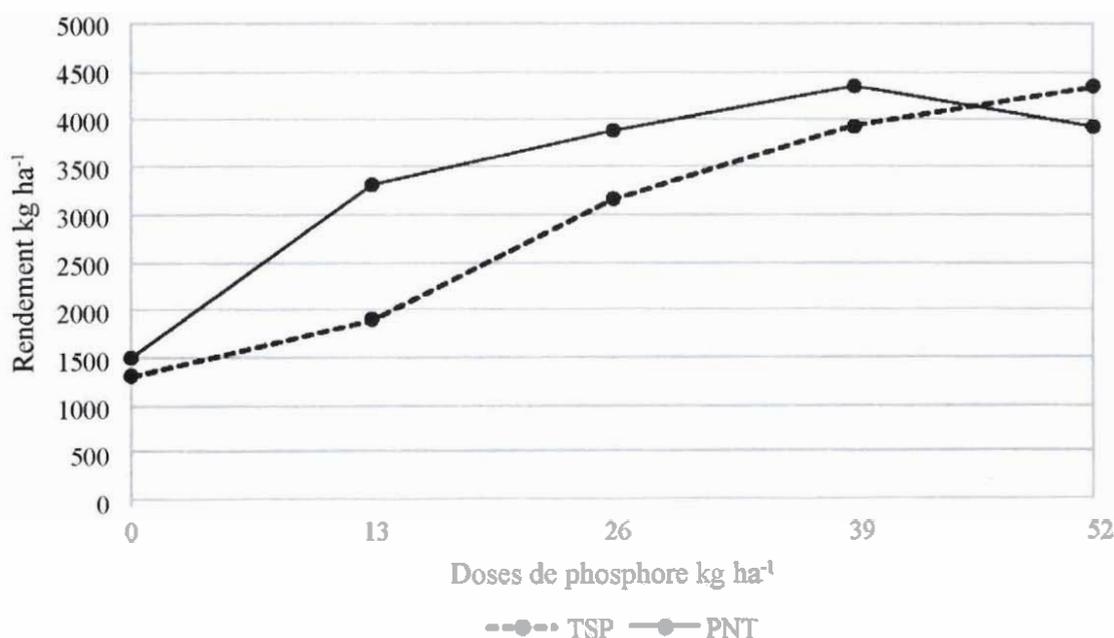


Figure 1. Rendements (kg ha⁻¹) paddy des sources de phosphore en fonction des doses sur sol ferrugineux

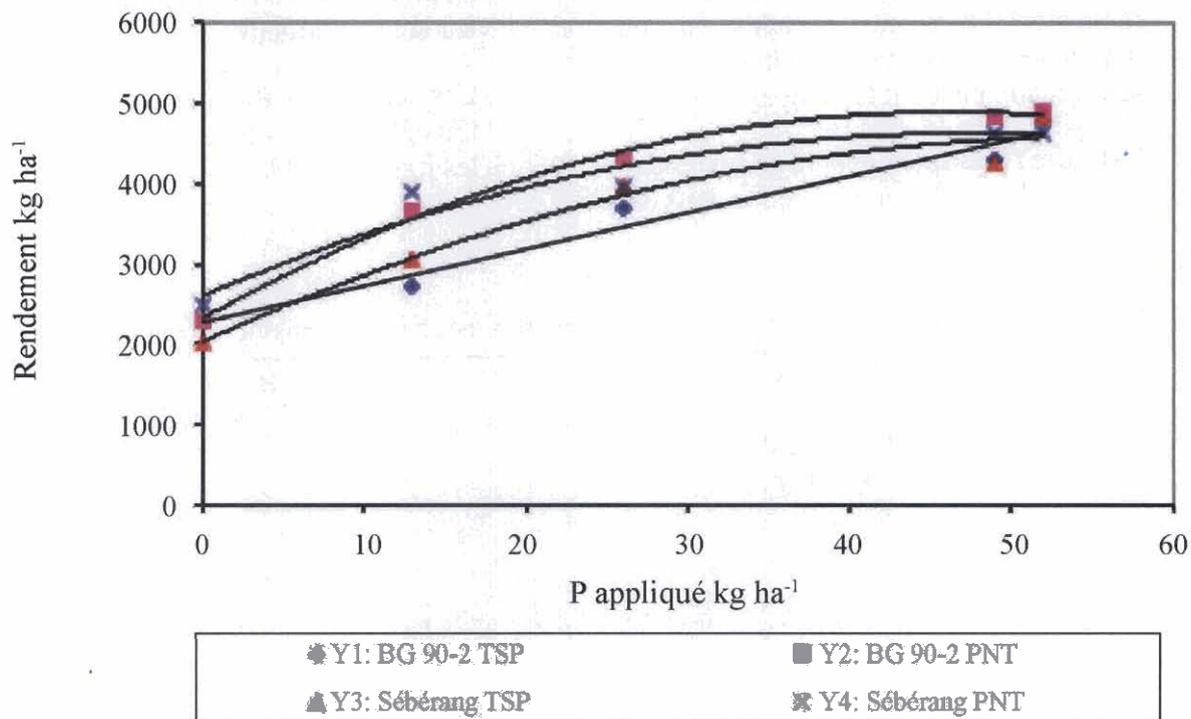


Figure 2. Réponse des variétés de riz aux doses de différentes sources de phosphore sur sol ferrugineux.

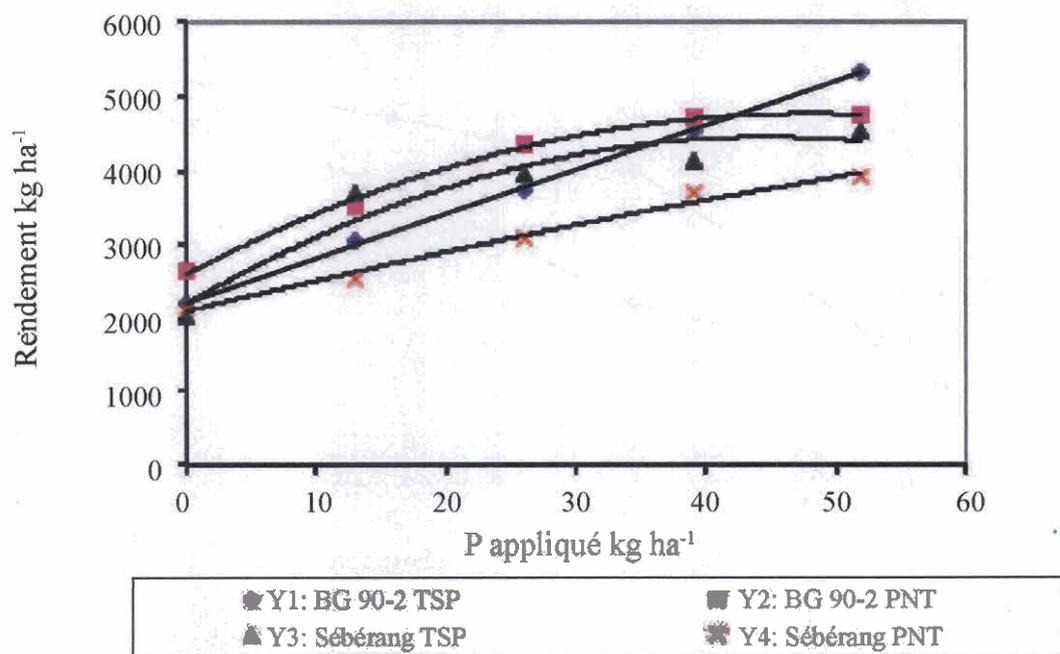


Figure 3. Réponse des variétés de riz aux doses de différentes sources de phosphore sur vertisol.

La figure 4 illustre les rendements moyens de paddy sur deux campagnes de deux variétés en fonction de deux sources de phosphore sur vertisol.

La figure 5 montre l'évolution des rendements moyens de paddy pour cinq doses de phosphore sur vertisol en fonction de deux sources pendant deux campagnes.

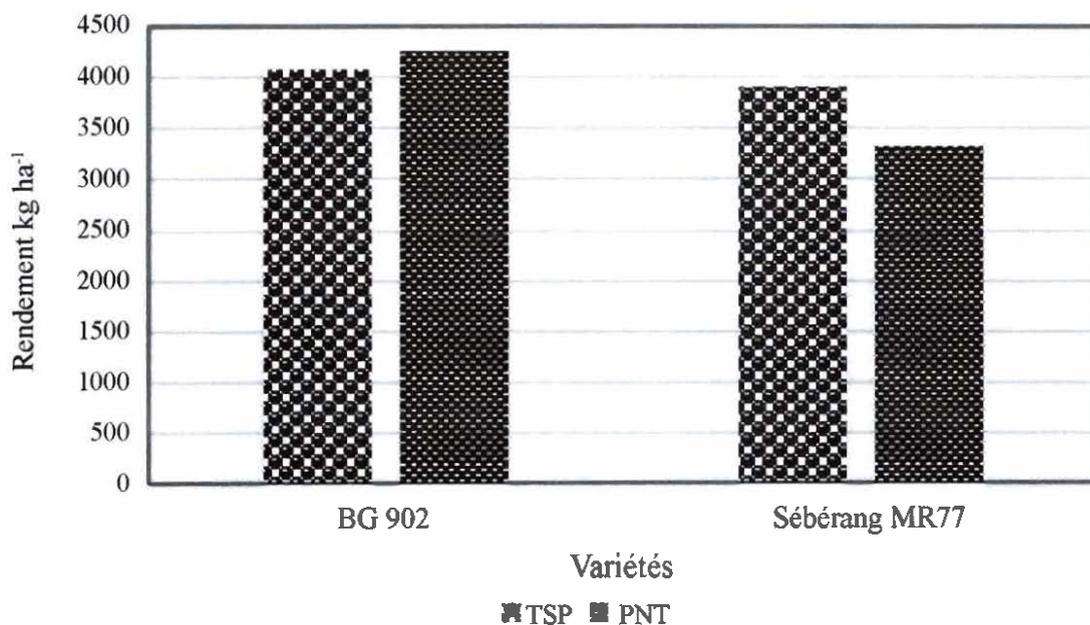


Figure 4. Rendements moyens des variétés en fonction des sources de phosphore sur vertisol

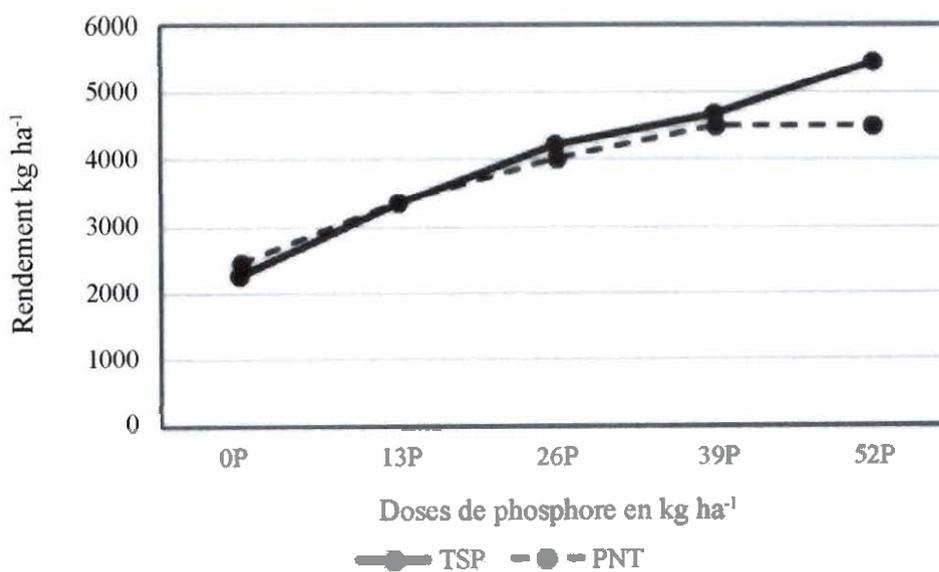


Figure 5. Rendement paddy (kg ha⁻¹) des sources de phosphore en fonction des doses sur vertisol

4. Discussion

Sur sols ferrugineux tropicaux, l'effet du phosphore sur le rendement est lié à la fois aux sources et aux doses. Excepté les variétés, il existe pour les facteurs étudiés, des différences significatives à hautement significatives. L'analyse de la moyenne sur la 2^e année a montré une plus grande efficacité du PNT par rapport au TSP pour les doses de 0 à 39 P (Figure 1). Avec un apport de 13 kg P ha⁻¹, le PNT s'est distingué du TSP contrairement aux résultats des études de Duangpatra (1993) et de Singh (1983). Le PNT à la dose de 39 kg P ha⁻¹ a permis d'avoir un rendement équivalent à la forte dose de phosphore de 52 kg P ha⁻¹ quelle que soit la source. Tout se passe comme si à partir de 26 P de PNT, aucun apport de phosphore ne se justifie plus.

Cette efficacité du PNT est liée à la nature du sol dont le pH a varié de 4,59 à 5,80, ce qui est favorable à la solubilisation du PNT. En effet, les facteurs les plus importants qui contrôlent la solubilité et l'assimilabilité du phosphore sont le pH de la solution du sol, la teneur en Fe³⁺, Al³⁺ et Ca²⁺, la teneur et la nature de l'argile et la teneur en matière organique. Sur sol acide, l'activité des ions Al³⁺ et Fe³⁺ est généralement élevée et les phosphates solubles sont précipités sous forme de phosphates de Al et de Fe peu solubles.

La supériorité du PNT a été confirmée sur les deux années même si, en première année on a observé un effet simple des facteurs doses et sources de phosphore (Tableau III). L'accroissement des doses de phosphore s'est traduit par une augmentation significative du rendement. Le meilleur rendement a été obtenu avec la dose la plus élevée, 52 kg P ha⁻¹. Par rapport aux sources, le PNT a donné le meilleur rendement.

Les rendements moyens sur les deux années d'expérimentation ont montré le bon comportement du PNT.

Pour chaque combinaison variété et source, les fonctions qui décrivent mieux les relations

ont été définies, à partir des moyennes des rendements sur deux ans (Figure 2).

La relation entre les doses de phosphore et le rendement est de type linéaire pour la combinaison TSP et BG 90-2 avec une équation de droite $Y_1 = 45,65x + 2272$. Le coefficient de détermination (R^2) est très élevé avec 0,97.

Pour la combinaison PNT et BG 90-2, cette relation est mieux définie par une équation de type quadratique $Y_2 = -1,20x^2 + 111,3x + 2325$ avec un R^2 de 0,99.

L'équation de type quadratique $Y_3 = -0,81x^2 + 91,4x + 2031$ avec un R^2 élevé de 0,97 définit mieux la relation qui existe entre doses de P et rendements pour la combinaison TSP et Sébérang MR 77.

La relation entre doses et rendements pour le PNT combiné à la variété Sébérang MR 77 est mieux décrite par l'équation de type quadratique $Y_4 = -0,89x^2 + 85x + 2608$ avec un R^2 élevé de 0,94.

Sur vertisol, les différents facteurs étudiés ont eu un effet sur le rendement du riz. Les réponses ont été similaires d'une année à l'autre. Les interactions entre variétés et sources de phosphore d'une part, entre sources et doses de phosphore d'autre part, ont été significatives au seuil de 0,05. L'analyse des rendements par campagne a montré que les variétés se sont comportées différemment par rapport aux sources de phosphore. La variété BG 90-2 a valorisé le PNT mieux que le TSP sur un sol à pH de neutre à alcalin (Figure 4). En effet, ce phosphate tricalcique contient environ 43 % de CaO, ce qui a prévalu à une certaine prudence quant à l'utilisation de cet engrais sur des vertisols. Cette efficacité du PNT pourrait être liée à certaines caractéristiques telles que faculté de tallage, prélèvement de phosphore de la variété BG 90-2. Les teneurs en phosphore de la variété BG 90-2 ont été plus élevées que celles de la variété Sébérang MR 77. Pour la variété Sébérang MR 77, la meilleure source de phosphore sur ce vertisol a été le TSP.

Par rapport à l'interaction sources et doses de phosphore, le TSP a été la meilleure source de phosphore car cet engrais a mieux valorisé les fortes doses de phosphore (52 kg P ha^{-1}), même si aux doses plus faibles, il est resté équivalent au PNT (Figure 5).

Les rendements de la deuxième campagne ont été relativement plus faibles que ceux de la première campagne. Cette diminution des rendements serait liée aux fortes pluies des mois de juillet et août qui ont affecté la densité et le tallage des plants.

La réponse de BG 90-2 aux apports de P sous forme de TSP a été linéaire jusqu'à 52 kg P ha^{-1} . La relation entre les doses de phosphore et le rendement a été de type linéaire pour la combinaison TSP et BG 90-2 avec une équation de droite $Y_1 = 59,6x + 2213$. Le coefficient de détermination (R^2) est très élevé avec 0,99.

Pour la combinaison PNT et BG 90-2, cette relation a été mieux définie par une équation de type quadratique $Y_2 = 0,93x^2 + 89,6x + 2603$ avec un R^2 très élevé, de 0,996.

L'équation de type quadratique $Y_3 = -1,25x^2 + 104,7x + 2284$ avec un R^2 élevé de 0,84 définit mieux la relation qui existe entre doses de P et rendements pour la combinaison TSP et Sébérag MR 77.

La relation entre doses et rendements pour le PNT combiné à la variété Sébérag MR 77 a été mieux décrite par l'équation de type quadratique $Y_4 = -0,12x^2 + 41,9x + 2104$ avec un R^2 élevé de 0,98 (Figure 3).

5. Conclusion

Les variétés étudiées ont montré des comportements différents par rapport aux sources et aux doses sur les deux types de sol.

Sur sol ferrugineux, le PNT a confirmé son efficacité par l'augmentation des rendements et du phosphore du sol. Cette efficacité du PNT par rapport au TSP s'explique par le pH acide de ce sol. La variété BG 90-2 utilisée avec le PNT a donné une plus grande efficacité qui

décroit avec l'augmentation des doses. Le PNT participe plus à l'augmentation du phosphore du sol qu'à celui de la plante. La variation du phosphore du sol est très peu sensible avec le TSP qui contribue plutôt à l'augmentation de P de la plante. Le phosphore de la plante varie avec l'augmentation des doses. Sur ce sol, le phosphate naturel de Tilemsi a permis de lever les carences en phosphore à un faible coût compte tenu de son prix relativement bas.

Sur vertisol, les variétés BG 90-2 et Sébérag MR 77 se comportent de manières différentes en fonction des doses. Par rapport au rendement, la variété BG 90-2 valorise mieux le PNT que le TSP. Pour toutes les sources, les teneurs en phosphore de la variété BG 90-2 ont été plus élevées que celles de Sébérag MR 77. Ces teneurs en P sont influencées par la dose et la source de la variété BG 90-2. Aux différentes doses, le TSP a donné des teneurs en P plus élevées que le PNT. Pour la variété Sébérag MR 77, la meilleure source de phosphore est demeurée le TSP. Par rapport à l'interaction doses et sources, le TSP a mieux valorisé les fortes doses de phosphore que le PNT. La réponse de BG 90-2 aux apports de P sous forme de TSP est linéaire jusqu'à 52 kg P ha^{-1} , alors que les relations entre les autres combinaisons variétés, sources et doses s'expriment sous forme de fonction de type quadratique. Avec Sébérag MR 77, l'apport de PNT a permis d'augmenter le phosphore du sol qui a atteint 7 mg kg^{-1} .

Le comportement des géotypes de riz par rapport aux doses et sources a montré qu'une meilleure combinaison de ces trois facteurs peut être envisagée comme solution aux faibles rendements dans ces zones dégradées.

6. Références

- DABIN B., 1951. Contribution à l'étude des sols du Delta Central Nigérien. *L'Agronomie Tropicale*, 6 (11/12): 606-637.
- DEMBÉLÉ B., N'DIAYE M. K., GUINDO D., GOÏTA O. et DIAWARA B., 1999. Gestion paysanne de la fertilité des sols dans la zone du Macina. Pôle régional de recherche sur les systèmes irrigués en Afrique de l'Ouest.

- CORAF. Séminaire de Synthèse du 30/11 au 3/12/1999 à Dakar au Sénégal.
- DUANGPATRA P., PRABHUDDHAM P. and SUWANNARAT C., 1993. Agronomic effectiveness of Phosphal-34 on flooded rice in acid soils. *Fertilizer Research* (1993) 34: 107. doi:10.1007/BF00750104. Volume 34, Issue 2, pp 107-110
- PRI, 1990. Réponse du Riz aux différentes sources de phosphore sur les sols de la zone du Macina. Rapport annuel. Comité technique Spécialisé des cultures vivrières et oléagineuses. Avril 1991.
- SINGH C., 1983. Cenomanian microfloras of the Peace River area, northwestern Alberta. Research Council of Alberta, Bulletin, no.44, 322 p., 62 pl.
- TOUJAN M., 1980. Aménagement hydro-agricole dépendant du canal du Sahel. Evolutions des sols irrigués. Convention d'Assistance Technique et d'Ingénierie. 320546. R.29 SOGREAH Ingénieurs-Conseils. Novembre.

Effets des tourteaux de *Jatropha curcas* L. sur la production du maïs et de trois cultures maraîchères (tomate, haricot vert et carotte) à Teriyabougou, en zone soudanienne nord du Mali

Effects of *Jatropha curcas* L. cake on the production of maize and three vegetable crops (tomato, green bean and carrot) in Teriyabougou at the northern Sudanian zone of Mali

Traoré Kalifa^{1*}, Noussourou Moussa², Médoc Jean Michel⁴, Kamaté Maurice⁴, N'Diaye Ibrahima³, Yossi Harouna³

¹Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles/IER/CRRRA-Sotuba - B.P. 262, Sotuba, Bamako

²Programme Fruits et Légumes/IER/CRRRA-Sotuba - B.P. 262, Sotuba, Bamako

³Programmes Ressources Forestières/IER/CRRRA-Sotuba - B.P. 262, Sotuba, Bamako

⁴Projet ADECIA/Jatropha Teriyabougou - B.P. 596 - Ségou, Bamako

*Tél. : +223 76 04 75 56 / 65 67 29 82 - Courriel : ibosimon_1@yahoo.fr

Résumé

De 2013 à 2015, des expérimentations visant à déterminer l'effet de trois amendements organiques à base de tourteau de *Jatropha curcas* constitués du tourteau brut (TB), du tourteau méthanisé (TM) et du tourteau composté (TC), et celui de l'apport de l'engrais minéral NPK (15-15-15) sur la production du maïs, de la tomate, du haricot vert et de la carotte, trois cultures maraîchères, ont été menées à Teriyabougou, localité située au Mali en zone soudanienne nord. Une formule de fertilisation raisonnée a été utilisée pour déterminer, en fonction des cultures, les doses d'engrais minéral NPK et celles de différents types de tourteaux de jatropha à apporter. Sur le maïs, les traitements étaient constitués de : 1,436 g NPK ; 23 g TB + 0,718 g NPK ; 21 g TM + 0,718 g NPK ; 72 g TC + 0,718 g NPK. Pour la tomate les traitements étaient composés de : 0,254 g NPK ; 4 g TB + 0,127 g NPK ; 4 g TM + 0,127 g NPK ; 13 g TC + 0,127 g NPK. Concernant la carotte, les traitements étaient de : 0,179 g NPK ; 3 g TB + 0,090 g NPK ; 3 g TM + 0,090 g NPK ; 9 g TC + 0,090 g NPK. En 2014, sur le haricot vert, l'engrais minéral n'a pas été utilisé en combinaison avec les tourteaux de jatropha. Les doses de tourteau de jatropha utilisées étaient de 0,145 g de TB ; 0,135 g de TM et de 0,444 g de TC.

Les rendements moyens du maïs ont été en général inférieurs à une tonne par hectare. En 2013, les différences observées entre les traitements n'ont pas été significatives. En 2014, le tourteau brut (TB) a produit le meilleur rendement en grain et en tige sèche et l'engrais minéral a été le moins performant, à l'inverse de 2013. En ce qui concerne la carotte et le haricot vert, quel que soit le traitement, les rendements ont été très bas. Concernant la tomate, les traitements mixtes à base de tourteau brut et de tourteau méthanisé de *J. curcas* et d'engrais NPK, ont permis d'obtenir les meilleurs rendements. L'engrais minéral NPK utilisé seul a été le moins performant. Pour la culture du maïs et de la tomate, les doses de tourteau brut et méthanisé de *J. curcas* ont donné des résultats intéressants et pourraient être utilisées par les producteurs comme fertilisants organiques. Le rendement de la tomate a varié de 20 à 30 t/ha. En ce qui concerne le maïs, les apports successifs de tourteau brut ont conduit à une augmentation du rendement d'une année à l'autre, de 0,4 t à 1 tonne/ha environ.

Mots clés : tourteaux de *Jatropha*, engrais minéral NPK, amendement organique, maïs, tomate, carotte, haricot vert, Teriyabougou, zone soudanienne nord, Mali.

Abstract

From 2013 to 2015, experiments were carried out to determine the effect of three *Jatropha curcas* based organic amendments consisted of raw cake (RC), methanized cake (MC), composted cake (CC), and NPK (15-15-15) mineral fertilizer on the production of maize, tomato, green bean and carrot in the North Sudanian zone of Mali. A rational fertilization formula was used to determine, according to crop types, the doses of NPK mineral fertilizer and different *Jatropha* cakes to be added. On maize, the treatments consisted of: 1.436 g NPK; 23 g RC + 0,718 g NPK; 21 g MC + 0.718 g NPK; 72 g CC + 0,718 g NPK. For tomato, the treatments were constituted of: 0.254 g NPK; 4 g RC + 0.127 g NPK; 4 g MC + 0.127 g NPK; 13 g CC + 0.127 g NPK. For carrots, the treatments were: 0.179 g NPK; 3 g RC + 0.090 g NPK; 3 g MC + 0.090 g NPK; 9 g CC + 0.090 g NPK. In 2014, on green bean, mineral fertilizer was not used in combination with *Jatropha* cake. The doses of *Jatropha* cake used were 0.145 g RC, 0.135 g of MC and 0.444 g of CC.

Average maize yields were generally less than one tonne per hectare. In 2013, the differences observed among the treatments were not significant. In 2014, raw *jatropha* cake (RC) produced the best grain and dry straw yield, mineral fertilizer was least efficient compared to the 2013 yield. In terms of carrot and green bean, whatever the treatment, yields were very low. For tomato, the mixed treatments based on RC, MC and NPK fertilizer obtained the best yields. Mineral NPK fertilizer used alone was the least efficient. For maize and tomato, RC and MC doses gave interesting results and could be used by producers as organic fertilizers. Tomato yield varied from 20 to 30 t/ha. For maize, successive supplies of RC resulted in a yield increase from one year to the next, from 0.4 t to 1 tonne/ha.

Key words: *Jatropha* cake, NPK mineral Fertilizer, organic amendment, maize, tomato, carrot, green bean, Teriyabougou, North Sudanian zone.

1. Introduction

J. curcas L. (Euphorbiacée), est un arbuste pérenne à plusieurs usages qui peut pousser sur des sols pauvres, même sous conditions de sécheresse. Outre son usage dans la médecine traditionnelle et pour la clôture des champs, il sert dans la lutte contre l'érosion du sol (Pere Ariza-Montobbio *et al.*, 2011; Jean de Dieu Minengu *et al.*, 2014) et participe à l'amélioration de la croissance des cultures (Bayoulou, 2013). Sa graine contient une huile qui est utilisée comme biocarburant (Pere Ariza-Montobbio *et al.*, 2011). Son huile contient des substances toxiques (ester de phorbols et curcine) pour l'homme et les animaux (Penjit Srinophakun *et al.*, 2012). Les tourteaux issus de la trituration des graines contiennent de l'azote, du phosphore, du potassium et autres éléments chimiques nécessaires à la croissance des cultures (Domergue et Pirot, 2008; Kumar et Sharma, 2008). A travers le monde, les effets bénéfiques du tourteau de *J. curcas* utilisé seul ou associé à d'autres fertilisants organiques ou chimiques sur l'alimentation des plantes ornementales, céréalières et maraichères ont été mentionnés par plusieurs auteurs (Roberto *et al.*, 2014; Penjit Srinophakun *et al.*, 2012; Traoré *et al.*, 2012; Adebayo, 2014). Au Mali, son usage comme fertilisant organique n'est pas connu. Aussi convient-il d'entreprendre des recherches sur son utilisation comme fertilisant organique des cultures. C'est dans ce cadre que se situent les activités de valorisation du tourteau de *J. curcas* comme fertilisant organique des cultures. L'objectif général visé est de contribuer à l'atteinte de l'autosuffisance et la sécurité alimentaire des populations. Les objectifs spécifiques visent à:

- évaluer l'effet du tourteau de *jatropha* sur le rendement du maïs et des cultures maraichères;
- déterminer la présence de toxines (ester de phorbols et curcine) dans les produits de récolte;
- mettre au point une méthode de calcul de fertilisation raisonnée pour déterminer la quantité des fertilisants à apporter sur les cultures.

2. Matériel et méthodes

2.1. Sites expérimentaux

L'étude a été conduite dans le village de Teriyabougou situé entre la longitude Ouest 05°31'75" et la latitude Nord 13°12'54". La pluviométrie annuelle y est de l'ordre de 600 mm et les températures moyennes annuelles varient entre 12°C et 45°C (Allard, 2010). Le climat est de type sahélien, caractérisé par l'alternance d'une saison sèche (octobre-juin) et d'une saison pluvieuse (juin-septembre). De 2013 à 2015, des tests de fertilisation du maïs et des cultures maraîchères ont été conduits à Teriyabougou, avec différents types de tourteaux de *Jatropha*.

Le test sur les cultures maraîchères a été conduit en 2014 sur deux sites et en 2015 sur un site. Le sol des deux sites est argilo-limoneux, lourd et compact, au drainage difficile. Ce type de sol n'est pas recommandé pour le maraîchage qui demande des sols argilo-limoneux meubles et bien drainés. Les précédents culturaux ont été le niébé et le maïs. Les analyses de sol du site avant et après l'installation du test ont été effectuées par le Bureau National des Sols (BUNASOLS) du Burkina Faso. Le test sur le maïs en 2013 et en 2014 a été réalisé sur un sol sableux et

gravillonnaire. Les précédents culturaux pour le maïs ont été l'arachide.

2.2. Matériel végétal

Les cultures maraîchères utilisées pour la conduite du test ont été la tomate (variété Mongal F1), le haricot vert (variété Touchon) et la carotte (variété Cora) qui sont couramment consommées et commercialisées au Mali. Concernant le maïs, c'est la variété Sotubaka qui a été utilisée.

2.3. Fertilisants utilisés

Les fertilisants utilisés sont l'engrais minéral NPK (15N-15P-15K) et différents types de tourteaux de *Jatropha curcas*. Cet engrais minéral est couramment utilisé par les producteurs pour la fertilisation des cultures maraîchères. Les différents types de tourteaux de *jatropha* sont: le tourteau brut (TB), le tourteau méthanisé (TM) et le tourteau composté (TC). Ce sont les mêmes types de tourteaux de *jatropha* qui ont été utilisés sur le maïs et les cultures maraîchères. L'analyse chimique de ces tourteaux a été faite par BUNASOLS. Elle a montré qu'exceptée la matière sèche, les teneurs des autres éléments sont plus élevées dans le tourteau brut et méthanisé que dans le tourteau composté (Tableau I).

Tableau I. Composition chimique des tourteaux de *jatropha* utilisés dans l'essai de fertilisation mixte de cultures maraîchères à Teriyabougou au Mali.

Éléments	Unité	Tourteau brut (TB)	Tourteau composté (TC)	Tourteau méthanisé (TM)
Matière organique	%	93,04	22,56	70,74
Matière sèche	%	96,85	96,72	93,10
Carbone	%	53,96	13,09	41,03
Azote total	%	3,14	0,35	3,14
C/N		17,18	37,4	13,06
Azote ammoniacal	mg/kg	58,00	7,23	653,06
P	g/kg	10,93	1,15	20,13
K	g/kg	8,52	2,38	9,11
Ca	g/kg	6,39	2,77	7,34
Mg	g/kg	6,69	0,73	10,80

Source : Bulletin d'analyse du 27/04/2013 du Bunasols

2.4. Développement d'une méthode de calcul de fertilisation raisonnée pour la détermination des doses mixtes de tourteau de jatropha en engrais minéral NPK à apporter par culture

L'objectif de cette approche est de déterminer la quantité d'éléments minéraux à apporter sur une culture en vue d'obtenir un rendement fixé, tout en limitant les risques de pollutions (excès d'azote ou de phosphore). Les rendements à atteindre pour les cultures sont : 2 t/ha pour le maïs, 40 t/ha pour la tomate, 25 t/ha pour le haricot vert et 25 t/ha pour la carotte. Afin de calculer l'apport prévisionnel d'azote sur chacune des unités expérimentales, l'équation d'efficience de l'azote a été utilisée.

$$N_f = N_0 + CAU \times N$$

N_f = Besoin total de l'unité expérimentale en azote, qui dépend du niveau de rendement visé (kg/ha);

N_0 = Quantité d'azote absorbée par une culture non fertilisée (azote fourni par le sol en kg/ha);

CAU = Coefficient Apparent d'Utilisation de l'azote minéral, dépendant de la culture et des conditions de culture;

N = Quantité d'azote minéral apportée par les fertilisants (kg/ha).

Pour la mise au point de la méthode de calcul de la fertilisation raisonnée, les étapes effectuées ont été : (i) la détermination de la quantité d'éléments fertilisants à fournir à la culture, (ii) le choix de la fraction maximale de cette dose pouvant provenir de la matière organique (MO), (iii) le calcul de la quantité de MO ayant le même effet qu'un engrais minéral, (iv) la vérification de la compatibilité de l'épandage avec les règles imposées et les recommandations, et (v) l'apport de la dose d'engrais minéral complémentaire. Ainsi, des

doses mixtes composées par 50% de tourteau de jatropha et 50% d'engrais minéral NPK ont été déterminées pour le maïs (Tableau II) et pour la tomate, le haricot vert et la carotte (Tableaux III et IV). Les quantités ainsi déterminées ont été enfouies après le labour du sol et avant le semis ou le repiquage.

2.5. Dispositif expérimental

Le Bloc de Fisher en 4 répétitions randomisées a été adopté pour la conduite des tests de maïs et des cultures maraichères. Le maïs a été semé aux écartements de 80 cm x 40 cm dans des parcelles élémentaires de 24 m² distantes les unes des autres de 0,5 m. La distance entre les blocs est de 1,5 m. Le test de fertilisation du maïs a comporté 4 traitements qui sont mentionnés dans le tableau II. Les paramètres mesurés sur le maïs sont le nombre d'épis/ha, le poids des épis (t/ha), le poids grain (t/ha) et le poids des tiges (t/ha).

Pour les cultures maraichères, les parcelles élémentaires ont une dimension de 3 m². La distance entre elles est de 0,5 m, et celle entre les blocs est de 1,5 m. Les écartements de plantation adoptés sont de 80 x 60 cm pour la tomate, 20 x 20 cm pour la carotte, et 40 x 40 cm pour le haricot vert. Le test a comporté 4 traitements par culture qui sont indiqués dans les tableaux III et IV. Le rendement (t/ha) a été le seul paramètre déterminé sur les cultures maraichères.

L'engrais minéral NPK a été le traitement témoin pour le test du maïs et des cultures maraichères. Les traitements des cultures étaient constitués de différents types de fertilisation mixte : NPK + TB; NPK + TM; NPK + TC; sauf pour le haricot vert, en 2015, qui a été fertilisé uniquement avec les différents types de tourteaux de *J. curcas* (Tableau IV).

Tableau II. Traitements expérimentés sur la culture de maïs en 2013 et 2014

Culture	50 % TB + 50 % NPK (kg/24 m ²)	50 % TC + 50 % NPK (kg/24 m ²)	50 % TM + 50 % NPK (kg/24 m ²)	Témoin 100 % NPK (kg/24 m ²)
Maïs	23 + 0,718	72 + 0,718	21 + 0,718	1,436

Tableau III. Traitements expérimentés par culture maraichère en 2014

Cultures	50 % TB + 50 % NPK (kg/3 m ²)	50 % TC + 50 % NPK (kg/3 m ²)	50 % TM + 50 % NPK (kg/3 m ²)	Témoin 100 % NPK (kg/3 m ²)
Carotte	3 + 0,090	9 + 0,090	3 + 0,090	0,179
Tomate	4 + 0,127	13 + 0,127	4 + 0,127	0,254

Tableau IV. Traitements expérimentés par culture maraichère en 2015

Cultures	50 % TB + 50 % NPK (kg/3 m ²)	50 % TC + 50 % NPK (kg/3 m ²)	50 % TM + 50 % NPK (kg/3 m ²)	Témoin 100 % NPK (kg/3 m ²)
Carotte	3 + 0,090	9 + 0,090	3 + 0,090	0,179
Haricot	0,145 +0	0,444+0	0,130+0	0,004
Tomate	4 + 0,127	13 + 0,127	4 + 0,127	0,254

Analyses statistiques : l'analyse de variance a été utilisée pour le traitement des données à l'aide du logiciel Statistix-version 8.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques physico-chimiques des sols des sites expérimentaux du maïs et des cultures maraichères

Les caractéristiques physico-chimiques des sols des sites expérimentaux avant installation des tests sont présentées dans le tableau V.

3.1.1. Matière organique et phosphore

Les teneurs en carbone sont faibles dans les deux sites. Pieri (1989) a rapporté que le seuil critique de carbone organique est de 0,6%. Le niveau d'azote total observé qui ne dépasse pas 0,06% est très faible, le seuil critique généralement admis pour l'azote total étant de 1,2% pour les sols tropicaux de l'Afrique subsaharienne. L'azote ammoniacal est au moins 5 fois plus élevé dans les parcelles de maïs que dans les parcelles de maraichage. Il en est de même pour l'azote nitrique dont les teneurs dans les parcelles de maïs sont plus élevées d'au moins 2 à 11 fois que dans les parcelles de maraichage.

Le rapport C/N renseigne sur la rapidité de la minéralisation de l'azote de la matière organique. Plus ce rapport est élevé, moins l'azote est rapidement disponible pour les plantes. Pour les deux sites, les rapports C/N sont très proches et varient de 10,2 à 11,2, indiquant un taux de décomposition normal de la matière organique.

Le phosphore est généralement disponible dans la majorité des cas sous forme organique dans les composts. Les teneurs en phosphore sont faibles et très proches, avec une variation de 4,7 à 5 ppm (Tableau V).

3.1.2. pH et complexe adsorbant des sols

Les pH eau sont fortement acides sur les deux sites (Tableau V). Toutefois, le site du maraichage est moins acide et les valeurs sont plus élevées d'au moins une demi-unité de pH. Les pH KCl des deux sites sont très proches (Tableau V). Pour le site du maïs, la CEC varie de 4,2 à 5,1 méq/100g, elle est qualifiée de faible tandis que celle du site de maraichage qui varie de 9,46 à 9,69 est qualifiée de moyenne. Le niveau de saturation varie de 52 à 62% sur le site du maïs tandis que celui du site de maraichage varie de 60 à 66%. Dans les deux sites, le niveau de saturation qui n'atteint pas 80% est qualifié de faible.

Tableau V. Caractéristiques des sols des sites expérimentaux du maïs et de ceux du maraîchage à Teriyabougou, Mali.

Sites	Fert	pH Eau	pH KCl	Ctot (%)	Ntot (%)	N-NH4 (mg/kg ⁻¹)	N-NO3 (mg/kg ⁻¹)	C/N	P. ass. (ppm)	CEC	Ca m ^{éq} /100 g	Mg	K	Na	S/T (%)
Maïs avant culture	TC	5,43	4,74	0,52	0,05	19,44	27,98	10,78	5,15	5,12	1,99	0,94	0,14	0,08	62
	TM	5,33	4,4	0,44	0,04	13,74	88,24	10,44	4,67	4,42	1,53	0,81	0,11	0,06	58
	TB	5,27	4,35	0,37	0,04	15,27	137,73	10,26	4,64	4,97	1,57	0,78	0,11	0,05	53
	NPK	5,36	4,44	0,42	0,04	14,23	27,98	11,20	4,97	4,5	1,50	0,80	0,11	0,06	55
Maraîchage avant culture	TC	5,90	4,58	0,69	0,06	1,97	16,81	10,92	4,90	9,69	4,18	1,36	0,34	0,08	61
	TM	5,85	4,55	0,66	0,06	2,59	12,13	11,31	4,96	9,57	4,11	1,26	0,33	0,07	60
	TB	6,05	4,72	0,64	0,06	2,39	15,04	10,59	5,20	9,46	4,21	1,30	0,32	0,07	62
	NPK	5,89	4,62	0,69	0,06	2,59	13,87	10,99	4,41	9,66	4,76	1,22	0,32	0,08	66

3.1.3. Les cations échangeables

Les teneurs en calcium sont au moins 2 fois plus élevées sur le site maraîcher que sur celui du maïs (Tableau V). Dans les 2 sites, elles sont proches de 50% de la CEC. Les teneurs en magnésium suivent la même tendance et sont 54% plus élevées sur le site maraîcher. Il y a carence en magnésium lorsque le rapport Mg/k est inférieur à 3 (Dabin *et al.*, 1967). En moyenne, ces rapports sont d'environ 7 pour le site du maïs et 4 pour celui du maraîchage. La teneur en potassium du site du maïs est très faible pour un seuil critique de 0,2 m^{éq}/100 g et équivaut à 1/3 de celui du site de maraîchage. Les teneurs en sodium sont très faibles dans les deux sites et sont très inférieures au seuil critique de 15%, valant au sol d'être qualifié de sol sodique dégradé.

3.1.4. Effet de la fertilisation de jatropha sur les caractéristiques des sols des sites expérimentaux après installation des tests

Les effets de l'apport des tourteaux de jatropha et de l'engrais NPK sur l'évolution de quelques caractéristiques physico-chimiques du sol sont présentés dans le tableau VI. Il apparaît qu'après deux années d'expérimentation sur le maïs, il a été observé une amélioration du statut du carbone organique, de l'azote total, du calcium, du phosphore, du potassium et de la CEC des parcelles. Cette amélioration a été plus élevée dans les parcelles ayant reçu le tourteau brut et méthanisé de *J. curcas*. Toutefois, il a été observé un bilan négatif pour l'azote ammoniacal, les nitrates, le magnésium et le sodium.

En ce qui concerne les parcelles maraîchères (Tableau VII), hormis l'azote ammoniacal et nitrique et le sodium, il a été observé un bilan positif pour tous les autres paramètres de la fertilité. Il est apparu clairement une amélioration très importante du niveau d'azote sur les parcelles de carotte.

Tableau VI. Effets de l'apport de tourteaux de *J. curcas* et de l'engrais NPK sur l'évolution de quelques caractéristiques physico-chimiques du sol après une culture de maïs à Teriyabougou, Mali

Site	Fert	pH Eau	Ctot	Ntot (%)	N-NH4 (mg/kg ⁻¹)	N-NO3 (mg/kg ⁻¹)	P. ass. (ppm)	CEC	Ca méq/100 g	Mg	K	Na
Parcelle maïs avant culture	TC	5,428	0,52	0,05	19,44	27,98	5,15	5,12	1,99	0,94	0,14	0,08
	TM	5,333	0,44	0,04	13,74	88,24	4,67	4,42	1,53	0,81	0,11	0,06
	TB	5,273	0,37	0,04	15,27	137,7	4,64	4,968	1,57	0,78	0,11	0,05
	NPK	5,36	0,42	0,04	14,23	27,98	4,97	4,498	1,50	0,80	0,11	0,06
Bilan parcelle maïs après culture	TC	0,09	0,09	0,29	-0,94	-0,90	1,08	0,27	0,79	-0,63	0,00	-0,55
	TM	0,06	0,26	0,50	-0,91	-0,97	1,50	0,50	1,02	-0,68	0,35	-0,48
	TB	0,09	0,69	0,78	-0,93	-0,97	1,78	0,25	0,92	-0,66	0,45	-0,43
	NPK	0,05	0,56	0,71	-0,88	-0,91	1,74	0,34	1,04	-0,68	0,37	-0,52

Tableau VII. Effets de l'apport de tourteaux de *J. curcas* et de l'engrais NPK sur l'évolution de quelques caractéristiques physico-chimiques du sol après des cultures maraîchères à Teriyabougou, Mali

Site	Fert	pH Eau	Ctot	Ntot (%)	N-NH4 (mg/kg ⁻¹)	N-NO3 (mg/kg ⁻¹)	P. ass. (ppm)	CEC	Ca méq/100 g	Mg	K	Na
Parcelle maraîchère avant culture	TC	5,90	0,69	0,06	1,97	16,81	4,90	9,69	4,18	1,36	0,34	0,08
	TM	5,85	0,66	0,06	2,59	12,13	4,96	9,57	4,11	1,26	0,33	0,07
	TB	6,05	0,64	0,06	2,39	15,04	5,20	9,46	4,21	1,30	0,32	0,07
	NPK	5,89	0,69	0,06	2,59	13,87	4,41	9,66	4,76	1,22	0,32	0,08
Bilan parcelle tomate après culture	TC	0,06	0,18	0,40	-0,16	-0,75	3,12	0,08	0,18	0,05	0,15	0,24
	TM	0,08	0,76	0,81	-0,42	-0,83	3,21	0,03	0,13	0,06	0,92	-0,01
	TB	0,01	0,84	0,74	-0,28	-0,81	1,34	0,21	0,03	0,04	0,14	0,05
	NPK	0,01	0,40	0,80	-0,44	-0,90	4,45	0,09	0,06	0,14	0,34	-0,10
Bilan parcelle carotte après culture	TC	0,08	0,35	18,17	-0,38	-0,83	0,96	0,01	0,27	0,00	0,26	-0,13
	TM	0,10	0,71	27,46	-0,36	-0,88	0,83	0,06	0,09	0,08	0,40	-0,01
	TB	0,05	0,74	21,89	-0,42	-0,86	0,15	0,10	-0,05	0,00	0,20	0,50
	NPK	0,06	0,37	22,54	-0,43	-0,90	4,55	0,02	-0,09	0,01	0,22	-0,10
Bilan parcelle haricot après culture	TC	0,06	0,31	0,53	-0,38	-0,83	2,21	0,07	0,11	-0,06	0,15	-0,13
	TM	0,11	0,57	0,81	-0,50	-0,83	0,78	-0,05	0,08	-0,09	0,19	-0,01
	TB	0,06	0,76	0,67	-0,48	-0,91	0,22	0,04	0,25	0,07	0,33	0,05
	NPK	0,04	0,46	0,92	-0,54	-0,90	4,12	0,08	0,04	0,11	0,03	-0,10

3.2. Rendements

3.2.1. Maïs

Les effets de l'apport au sol de tourteaux de *J. curcas* et de l'engrais NPK sur le comportement du maïs pendant la campagne 2013 sont présentés dans le tableau VIII. Les différences entre les paramètres observés n'ont pas été significatives. Le rendement grain moyen du maïs a été de 516 kg/ha.

Les effets de l'apport au sol de tourteau de *J. curcas* et de l'engrais NPK sur le comportement du maïs à Teriyabougou (zone soudanienne nord) pendant la campagne 2014 sont présentés dans le tableau IX. L'analyse de

variance a permis de mettre en évidence une différence significative entre les traitements pour tous les paramètres mesurés. Les plus hauts rendements ont été obtenus dans les parcelles ayant été fertilisées avec le tourteau brut et le tourteau méthanisé.

3.2.2. Tomate

Il apparaît que les traitements à base de tourteau et celui avec l'engrais minéral ne diffèrent pas statistiquement entre eux au cours des deux années d'étude ($p = 0,434$, Tableau X). Toutefois, arithmétiquement, on observe une différence non négligeable de 3,4; 9 et 7,83 tonnes/hectare respectivement pour les essais 1, 2 et 3 en faveur des tourteaux, toutes formes

Tableau VIII. Effets de l'apport au sol de tourteau de *J. curcas* et de l'engrais NPK sur le comportement du maïs à Teriyabougou (zone soudanienne nord) pendant la campagne 2013

Traitements	Nombre d'épis (ha)	Poids épis (tha ⁻¹)	Poids grains (tha ⁻¹)	Poids tiges (tha ⁻¹)
1/2TC+1/2NPK	15313	1,011	0,677	1,469
1/2TM+1/2NPK	10417	0,636	0,438	1,250
NPK	14271	0,844	0,563	1,771
1/2TB+1/2NPK	12396	0,604	0,386	1,490
Moyenne	13099 ns P = 0,48	0,774 ns P = 0,36	516 ns P = 0,35	1,495 P = 0,80
Écart type (tha ⁻¹)	4,615	0,354	0,241	0,738
CV (%)	35,0	45,7	46,7	49,3

Ns = non significatif selon le test de Fisher Proteste LSD à un niveau de probabilité de 5%

Tableau IX. Effets de l'apport au sol de tourteau de *J. curcas* et de l'engrais NPK sur le comportement du maïs à Teriyabougou (zone soudanienne nord) pendant la campagne 2014

Traitements	Nombre d'épis (ha)	Poids épis (tha ⁻¹)	Poids grains (tha ⁻¹)	Poids tiges (tha ⁻¹)
1/2TB + 1/2NPK	14792 ab	1,38 a	0,98 a	1,77 a
1/2TM + 1/2NPK	16458 a	1,06 ab	0,75 ab	1,74 ab
1/2TC + 1/2NPK	10937 bc	0,56 b	0,38 b	0,78 c
NPK	9375 c	0,614 b	0,44 b	0,98 bc
Moyenne	12891 P = 0,023	0,901 P = 0,035	0,64 P = 0,046	1,32 P = 0,037
Écart type (tha ⁻¹)	2,84	0,36	0,27	0,49
CV (%)	22,2	40,84	43,87	37,10

confondues. Il ressort aussi que les plus hauts rendements de la tomate ont été obtenus dans les parcelles fertilisées avec les tourteaux bruts et méthanisés. Les rendements de l'essai 3 ont été plus bas que ceux des essais 1 et 2 et cela quel que soit le traitement. Cette situation serait due à l'attaque d'un insecte terricole survenue au démarrage des récoltes en 2015. Cet insecte tue la plante en creusant une galerie dans la tige au niveau du collet. Il n'a pas pu être identifié à cause de la non-obtention de l'insecte au stade adulte. Bien que les productions soient amoindries par l'attaque de l'insecte, des rendements de 22t/ha ont été obtenus avec les tourteaux bruts et méthanisés.

3.2.3. Haricot vert et carotte

Les rendements obtenus avec le haricot vert et la carotte figurent dans les tableaux XI et XII. Pour les deux cultures, quels que soient le site et l'année, les rendements obtenus ont été très bas. Une différence significative entre les traitements a été observée sur le rendement uniquement avec la carotte (essai 2), où le tourteau composté qui, statistiquement identique à celui méthanisé, a été supérieur aux deux autres traitements (Tableau XII).

Tableau X. Effets de l'apport au sol de tourteaux de *J. curcas* et de l'engrais minéral NPK sur le rendement (tha⁻¹) de la tomate à Teriyabougou en 2014 et en 2015.

Traitements	Années		
	2014		2015
	Essai 1 Rendements (tha ⁻¹)	Essai 2 Rendements (tha ⁻¹)	Essai 3 Rendements (tha ⁻¹)
Tourteau brut	31,00	37,75	22,6
Tourteau composté	23,50	27,75	16,5
Tourteau méthanisé	33,70	33,50	22,5
NPK	26,00	24,00	12,7
Moyenne	28,55	30,75	18,575
Écart type (tha ⁻¹)	7,4 P = 0,254	11,68 P = 0,434	14,8 P = 0,731
CV (%)	25,7	38,9	79,2

Tableau XI. Effets de l'apport au sol de tourteaux de *J. curcas* et de l'engrais minéral NPK sur le rendement (tha⁻¹) du haricot vert à Teriyabougou en 2015.

Traitements	Essai 2015 Rendements (tha ⁻¹)
Tourteau brut	1,3
Tourteau composté	1,2
Tourteau méthanisé	1,3
NPK	0,9
Moyenne	1,13
Écart type	1,2 P = 0,930
CV (%)	90,17

Tableau XII. Effets de l'apport au sol de tourteaux de *J. curcas* et de l'engrais minéral NPK sur le rendement (t/ha) de la carotte à Teriyabougou en 2014 et en 2015.

Traitements	Essai 1 Rendements (tha ⁻¹)	Essai 2 Rendements (tha ⁻¹)	Essai 3 Rendements (tha ⁻¹)
Tourteau brut	0,250	0,050b	2,8
Tourteau composté	2,132	3,36a	2,8
Tourteau méthanisé	1,473	1,47ab	2,7
NPK	0,798	0,751b	1,0
Moyenne	1,16	1,40	2,34
Écart type	1,92	1,47	2,91
	P = 0,558	P = 0,04	P = 0,769
CV (%)	165	105	124

4. Discussion

Les sols du site du maïs sont sableux et plus pauvres que ceux du site maraîcher qui sont limono-sableux. Les deux sites sont très pauvres en azote et carbone organique. Ils sont classés comme ferrugineux tropicaux lessivés (CPCS, 1967). Les faibles teneurs en éléments fins en surface suite au lessivage, couplées à la nature kaolinique (faible activité de gonflement retrait) des argiles expliquent en grande partie la faible CEC de ces sols. En effet, la faible activité de la kaolinite (argile de type 1:1) qui est l'argile dominante dans ces sols suggère que les éléments fins tels que le limon complexés avec la matière organique du sol jouent un grand rôle dans la constitution de la CEC et dans les échanges de nutriments comme l'ont mentionné Pieri (1989) et Asadu *et al.*, (1997). Les travaux de De Rider et Van Keulen (1990) ont montré qu'une augmentation de 1 g kg⁻¹ de carbone organique conduit à une augmentation de 4,3 mol kg⁻¹ de la CEC dans les sols majoritairement sableux du sahel. Les CEC étant faibles, les réserves en bases échangeables sont en conséquence faibles. Il est connu, au Mali, que les teneurs en phosphore des sols sont généralement faibles comme c'est souvent le cas pour les sols tropicaux lessivés d'Afrique sub-saharienne.

Dans les sols bien aérés tels que le sol sablo-gravillonnaire du site du maïs, la forme ammoniacale de l'azote évolue rapidement

vers la forme nitrate, ce qui pourrait expliquer la plus grande teneur en nitrate de ce site. Par contre, quand le sol est mal aéré et compact comme celui du site maraîcher, surtout après une irrigation, un phénomène de dénitrification pourrait se produire. De tels phénomènes ont été largement rapportés par Duchaufour (1997). La qualité du sol apparaît donc comme un facteur important du devenir de l'azote dans le sol.

En ce qui concerne le test de fertilisation mené sur le maïs, les problèmes liés aux dégâts des oiseaux et à l'irrégularité des pluies pourraient expliquer, en partie, la densité réduite à la récolte et donc du nombre d'épis récoltés, et les faibles rendements obtenus très inférieurs aux rendements rapportés par Coulibaly (2008, 2010). Une explication serait aussi les fortes doses de tourteaux utilisées. En effet, les travaux rapportés par Islam *et al.* (2011) sur les multiples usages de jatropha ont mentionné que des doses d'application de 5 tonnes ha⁻¹ de tourteau de jatropha provoquaient une réduction du taux de germination des cultures. En 2013, les résultats obtenus vont dans le sens de cette observation, ce qui pourrait expliquer la moins bonne performance de la parcelle ayant reçu le tourteau brut à une dose d'environ 10 tonnes ha⁻¹. La supériorité, en 2013, du traitement avec le tourteau de *J. curcas* composté (Tableau VIII), pourrait être en relation avec la qualité du compost. Le compostage permet l'apport d'importantes

quantités de compost au moment du semis, sans entraîner une phytotoxicité à la germination des semences. La moins bonne performance du traitement avec le tourteau méthanisé pourrait être liée au fait qu'il a été apporté sous forme de liquide en 2013, ce qui pourrait amoindrir considérablement l'effet amendement (aération, structuration, stimulation de l'activité biologique, etc.) d'un tourteau solide.

En 2014, une différence significative a été observée entre les traitements (Tableau IX). Les parcelles avec apport de tourteau brut (TB) et de tourteau méthanisé (TM) de *J. curcas* qui avaient été moins productives en grain et tiges en 2013, ont été plus productives que les parcelles avec tourteau composté (TC) de jatropha ou fertilisées avec l'engrais minéral NPK. Cette augmentation des rendements en grains et en tiges sèches de maïs constatée en 2014 pourrait s'expliquer par leurs teneurs plus élevées en azote, phosphore et autres éléments nutritifs (Kumar et Sharma, 2008). Des rendements en grain et en tiges sèches élevés de maïs avec l'apport du tourteau de jatropha par rapport à l'engrais minéral NPK ont été mentionnés par Busiso (2007) et Wani *et al.* (2014). Des résultats similaires ont été obtenus sur le mil par Traoré *et al.* (2012). Ces auteurs ont indiqué que comparativement à l'engrais minéral NPK, les applications de tourteau de *J. curcas* pendant des années successives sur le même sol ont produit de meilleurs résultats.

Les tests de fertilisation de la tomate, du haricot vert et de la carotte avec les tourteaux bruts, méthanisés et compostés de jatropha ont été conduits sur un sol argileux lourd et compact, à drainage difficile. Les données obtenues sur la tomate ont montré une différence significative entre les traitements dans l'essai 2 (Tableau X). Bien que les différences observées entre les traitements n'aient pas été significatives dans les essais 1 et 3, on peut faire remarquer que par rapport à l'engrais minéral NPK, les meilleurs rendements moyens à l'hectare ont été toujours produits par les parcelles fertilisées avec le tourteau brut et le tourteau méthanisé de jatropha. Cette constance de

bons rendements par rapport aux autres traitements a été confirmée dans l'essai 3, avec un rendement de 22 t/ha, en dépit de l'attaque sévère d'un insecte terricole. Les résultats sur la tomate obtenus avec le tourteau brut et le tourteau méthanisé de jatropha suivent la même tendance que ceux indiqués par plusieurs auteurs sur des cultures maraichères. Srinophakun *et al.* (2012) ont montré que le tourteau de jatropha associé à l'engrais minéral a permis un bon développement de la tomate, du *Chinese kale* (brocoli chinois) et de la patate douce. Adebayo (2014) a mentionné un résultat similaire du tourteau de jatropha sur l'amarante.

Les résultats obtenus avec la carotte et le haricot vert sont présentés dans les tableaux XI et XII. Il apparaît que, quel que soit le traitement, les résultats obtenus ont été toujours très bas et très inférieurs aux rendements moyens connus pour ces deux cultures, de 6 à 14 t/ha pour le haricot vert et de 15 à 40 t/ha pour la carotte (Beniest, 1987). La germination des graines pour ces deux cultures a été mauvaise surtout pour la carotte, et la croissance des plants a été très lente. Cette situation pourrait être due principalement à la qualité du sol de type argileux lourd et compact, à drainage difficile, non recommandé pour le maraîchage. Les causes liées à l'influence de la toxicité du tourteau de jatropha sur la germination (Traoré *et al.*, 2012) seraient exclues, dans la mesure où le même constat a été fait sur les parcelles fertilisées exclusivement à l'engrais minéral. Les résultats des analyses de sol avant et après l'installation des tests ont mis en évidence que les apports successifs de tourteaux ont relevé le niveau du pH, la teneur des éléments majeurs (azote, phosphore, potassium) et du carbone organique, la CEC et les bases échangeables, en seulement deux années d'application. Cela suggère des applications pendant de plus longues durées pour mieux comprendre les déterminants de ces changements. Toutefois, il a été observé un bilan négatif de l'azote ammoniacal et nitrique qui pourrait être en relation avec les phénomènes de dénitrification et de l'acidité des sols qui en résulte (libération des ions H⁺), mais aussi du phénomène de drainage des nitrates en profondeur grâce aux

eaux d'irrigation ou de pluies. Cette acidité pourrait, en partie, expliquer la mauvaise performance de certaines plantes qui y sont sensibles (carotte par exemple).

5. Conclusion

Les apports de tourteau brut et méthanisé ont permis de produire de 22 à 31 tha^{-1} de tomate. De même des apports successifs de ces fertilisants ont permis d'accroître les rendements du maïs d'environ 400 kg pour le témoin NPK à 1 tha^{-1} avec l'apport du tourteau sur des sols dégradés, acides, très pauvres en matière organique, en azote, en phosphore et en bases échangeables. Par conséquent, les tourteaux bruts et méthanisés de jatropha pourraient être utilisés par les producteurs comme fertilisants organiques pour la production de la tomate et du maïs.

Les rendements du haricot et de la carotte ont été très faibles quel que soit le fertilisant apporté, en raison de la nature limono-sableuse du sol qui n'est pas appropriée pour les deux cultures. Afin de mieux évaluer l'effet bénéfique du tourteau de *J. curcas* comme fertilisant organique pour la carotte et le haricot vert, il serait nécessaire d'entreprendre les essais sur plusieurs types de sols.

L'utilisation du tourteau de *J. curcas* comme fertilisant a permis d'enrichir le sol, après culture, en éléments majeurs N, P, K et de relever le niveau du pH eau.

6. Références

ADEBAYO ABAYOMI OLOWOAKE, 2014. Evaluation of different rates of *Jatropha* (*Jatropha curcas*) seed cake on the growth of *Amaranthus caudatus*. RAHMANN G & AKSOY U (Eds.) (2014) Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference. 'Building Organic Bridges', at the Organic World Congress 2014, 13-15 Oct., Istanbul, Turkey (eprint ID 23246).

ALLARD B., 2010. Evaluation de la rentabilité économique de la filière *Jatropha* dans la région de Teriyabougou.

ASADU C.L.A., DIELS J., VANLAUWE B., 1997. A comparison of the contributions of clay, silt, and organic matter to the effective CEC of soils of sub-Saharan Africa. *Soil Sci.* 162, 785-794.

BAYOULOU SOUMANA, 2013. Effet de la culture du *Jatropha* sur les caractéristiques chimiques des sols dans la zone ouest du Burkina Faso: Cas des sols de Tin et de Torokoro. Présenté et soutenu pour l'obtention du Diplôme de Master en Science du Sol. Spécialité: Gestion intégrée de la fertilité des sols. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Décembre 2013, 53 pages.

BENIEST J., 1987. Guide pratique du maraîchage au Sénégal. Institut Sénégalais de Recherches Agricoles et l'Organisation Mondiale pour l'Agriculture, 144 p.

BUSISO OLGA MAVANKENI, 2007. Improving maize (*Zea mays* L.) growth and yield using *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) seed cake under Zimbabwean soil conditions. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for Master of Science Degree in Crop Science. Department of Crop Science. Faculty of Agriculture. University of Zimbabwe. December 2007.

COULIBALY N., 2008. Rapport annuel, Programme Maïs, 21 p.

COULIBALY N., 2010. Rapport de Comité de Programme, 15 p.

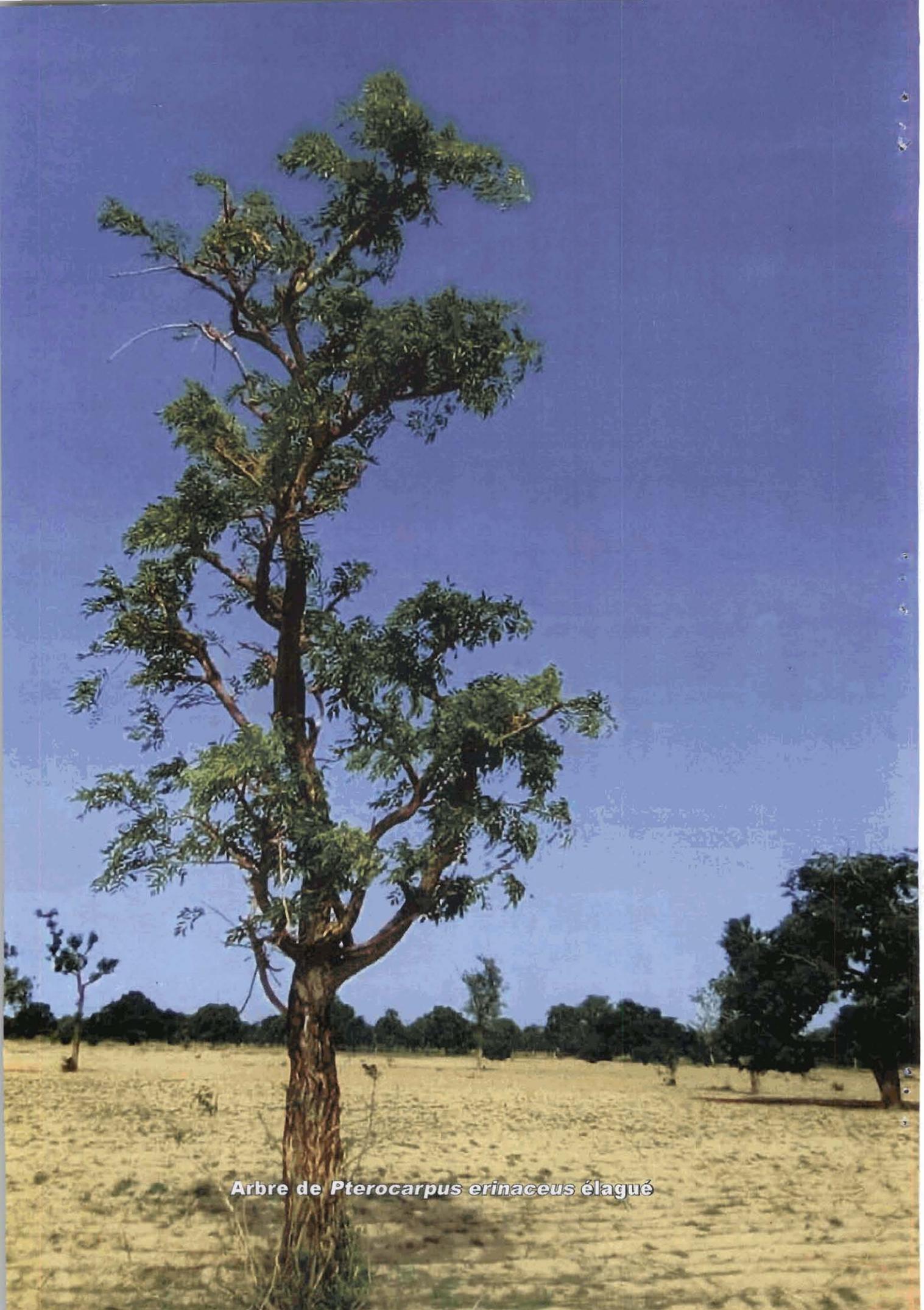
CPCS, 1967. Classification des sols: (Commission de Pédologie et de Cartographie des sols). Paris-France, INRA, 96 p.

DABINB., BRIONJ.-C., PELLOUXP., REGAZZI C. et GAVINELLI E., 1967. Application des dosages automatiques à l'analyse des sols: essais effectués au laboratoire des Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM à Bondy avec l'autoanalyseur Technicon: 3^{ème} partie. *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie* 5(3): 257-286.

DE RIDDER N., & VAN KEULEN, 1990. Some aspects of the role of organic matter in sustainable intensified arable farming systems in the West-African semi-arid tropics (SAT). *Fert Res.* 26, 299-310.

DUCHAUFOUR P., 1997. Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. Cinquième édition. Masson, 291 p.

- ISLAM A.K.M.A., YAAKOB Z. and NURINA A., 2011. *Jatropha*: A multipurpose plant with considerable potential for the tropics. *Scientific Research and Essays* Vol. 6(13), pp. 2597-2605, 4 July, 2011. Available online at <http://www.academicjournals.org/SRE>. DOI: 10.5897/SRE10.611. ISSN 1992-2248 ©2011 Academic Journals
- JEAN DE DIEU MINENGU, PATRICK MOBAMBO, GUY MERGEAI, 2014. Influence de l'environnement et des pratiques culturelles sur la productivité de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne (synthèse bibliographique). *Le Point sur: Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2014 18(2), 290-300.
- KUMAR A. and SHARMA S., 2008. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial Crops and Products*, 28:1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.01.001>.
- MARJORIE DOMERGUE et ROLAND PIROT, 2008. *Jatropha curcas* L. Rapport de synthèse bibliographique; CIRAD, Avenue d'Agropolis 34398 Montpellier Cedex 5. AGROgeneration, 45-47 rue de Monceau 75008 Paris. Décembre 2008. 118 pages
- PERE ARIZA-MONTOBBIO, SHARACHCHANDRA LELE, GIORGOS KALLIS, JOAN MARTINEZ-ALIER, 2011. Écologie politique du jatropha pour biodiesel dans le Tamil Nadu en Inde. *Alternatives Sud*, Vol. 18-2011/33.
- PENJIT SRINOPHAKUN, BOOSAREE TITAPI-WATANAKUN, ISARA SOOKSATHAN, VITTAYA PUNSUVON, 2012. Prospect of Deoiled *Jatropha curcas* Seedcake as Fertilizer for Vegetables Crops – A Case Study. *Journal of Agricultural Science* Vol. 4, No. 3.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Édition. CIRAD/Ministère de la Coopération et du Développement, Paris (France), 444 p.
- ROBERTO A. RIBEIRO, MARIA FLÁVIA R. STARLING and LUIZA A. R. ROSSI-BARBOSA, 2014. *Jatropha* cake as a fertilizer for the growth of Blc. Amy Wakasugi 'Yamanashi' orchid. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.12 (3&4): 371-374.
- TRAORÉ M., BISMARCK NACRO H., TABO R., NIKIEMA A. and OUSMANE H., 2012. Potential for agronomical enhancement of millet yield via *Jatropha curcas* oilcake fertilizer amendment using placed application technique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(2): 808-819.
- WANI S.P., CHANDER G., SAHRAWAT K.L., NARSIMHA R.P., 2014. Integrated nutrient management using deoiled *Jatropha* cake for sustained and economic food production. *International Journal of Plant Production* 8 (4), October 2014.



Arbre de *Pterocarpus erinaceus* élagué

Caractérisation morphologique des feuilles de *Pterocarpus erinaceus* dans la région de Sikasso

Morphological characteristics of *Pterocarpus erinaceus* leaves in the region of Sikasso

Kouyaté Amadou Malé¹, Coulibaly Doubangolo¹, Kamissoko Sayon¹, Maïga Abdou Yéhiya¹, Ballo Adama¹, Diarra Ismaïla¹ et Padonou Elie Antoine²

¹Institut d'Économie Rurale - B.P. 258, Bamako, Mali

²École de Foresterie Tropicale, Université Nationale d'Agriculture, Bénin

*Courriel: Kouyate01@hotmail.com; amadoumale.kouyate@ier.gouv.ml

Résumé

La présente étude est une réponse à l'insuffisance de données chiffrées sur les caractères morphologiques de *Pterocarpus erinaceus* en fonction de sa distribution géographique dans la région de Sikasso au Mali. Elle a été réalisée dans sept localités choisies en fonction de leur accessibilité et de leur abondance dans la région de Sikasso. Les activités ont porté sur l'inventaire des critères de différenciation paysans et la caractérisation morphologique des feuilles des individus de *P. erinaceus*. Les résultats ont montré que les paysans utilisent la couleur du tronc, la longueur et la largeur de la feuille, la longueur de l'acumen et celle du pétiole pour distinguer les arbres. Sept (7) types de feuilles ont été identifiés. Les principaux descripteurs morphologiques identifiés sont la longueur de la feuille, la largeur de la feuille, la longueur du pétiole, le nombre de folioles et la longueur de l'acumen. Les résultats ont montré une grande variation intra-provenances des variables mesurées, d'une part et d'autre part, une faible variation inter-provenances. Ces résultats constituent une assise pour entreprendre des programmes de sélection variétale et d'amélioration génétique de *P. erinaceus*.

Mots clés : Arbres, Ethnobotanique, Fourrage, Mali, Variabilité

Abstract

The present study is an answer to the insufficiency of statistical data on the morphological traits of *Pterocarpus erinaceus* tree species according to its geographical distribution in the region of Sikasso in Mali. The study was carried out in seven localities (standing as provenances) chosen according to their accessibility and their abundance in the region of Sikasso. The activities undertaken concerned the inventory of the farmers' criteria of differentiation and the morphological characterization of the leaves of *P. erinaceus*. The results showed that farmers are using the trunks color, the length and the width of the leaves, the length of the acumen and the length of the petiole to distinguish trees of the species. Seven types of leaves were identified according to the ascending hierarchical classification. The main morphological descriptors identified were the length and the width of leaves, the length of petiole, the number of leaflets and the length of the acumen. A large intra-provenance variation and a low inter-provenance variation were observed. These results are very important for varietal selection and genetic improvement programmes regarding *P. erinaceus*.

Key words: Trees, Ethnobotany, Fodder, Mali, Variability

1. Introduction

Le Mali est un pays à vocation agropastorale et l'un des plus grands pays d'élevage de la région ouest-africaine. Troisième recette d'exportation du pays, l'élevage représente 12 % du produit intérieur brut. Le cheptel est estimé à 9 700 000 bovins, 13 000 000 ovins, 18 000 000 caprins et 900 000 camelins (DNPIA, 2013). Les années de sécheresse ont entraîné un déplacement massif d'une grande proportion de ces troupeaux vers la région de Sikasso qui est devenue une zone d'élevage par excellence. De plus, l'effectif bovin est en train de croître rapidement dans cette région à cause des migrations, de la sédentarisation des éleveurs et de l'intégration agriculture-élevage (Coulibaly, 2008). L'alimentation de ces animaux repose essentiellement sur l'exploitation des pâturages naturels qui n'offrent aux bétails en saison sèche qu'une biomasse herbacée insuffisante et de faible valeur nutritive. En cette période (saison sèche), l'utilisation des fourrages ligneux devient capitale dans l'alimentation des animaux, en y apportant du fourrage vert et des éléments nutritifs azotés (Petit, 2000; Peltier, 2013).

Au Mali, de nombreux travaux de recherche ont concerné les ligneux fourragers. Ces travaux ont décrit les intensités de coupe de *P. erinaceus* (Kamissoko, 2005), la détermination du temps de pâture des fourrages aériens des bovins, des ovins et des caprins (Dicko et Sangaré, 1981), la quantité ingérée de *Acacia seyal* et de *P. lucens* Lepr. Ex Guill. et Perr. (Hiernaux *et al.*, 1979), la mise au point des techniques d'installation et de gestion des banques fourragères à *Ficus gnaphalocarpa* (Miq.) Steud. ex A. Rich. et *Ptilostigma reticulatum* (DC.) Hochst (Kamissoko *et al.*, 2011) et la perception paysanne (Nantoumé *et al.*, 2012). À l'analyse, il apparaît que malgré l'importance fourragère de *P. erinaceus*, on ne dispose pas de données scientifiques sur les caractéristiques des feuilles de l'espèce.

Le présent travail sur la caractérisation morphologique des feuilles de *P. erinaceus* vise à cerner la variabilité morphologique

des feuilles de cette espèce en fonction de différentes provenances dans la région de Sikasso.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

La région de Sikasso est située entre 12°30' latitude Nord et la frontière ivoirienne d'une part et 8°45' longitude Ouest et la frontière Burkinabé d'autre part (Carte 1). Elle couvre une superficie de 71 790 km² soit 5,8 % du territoire national avec une population estimée à 3,04 millions d'habitants en 2013 (DRPSIAP, 2014). Les précipitations moyennes annuelles varient de 500 mm (zone soudanienne) à plus de 1100 mm (zone guinéenne).

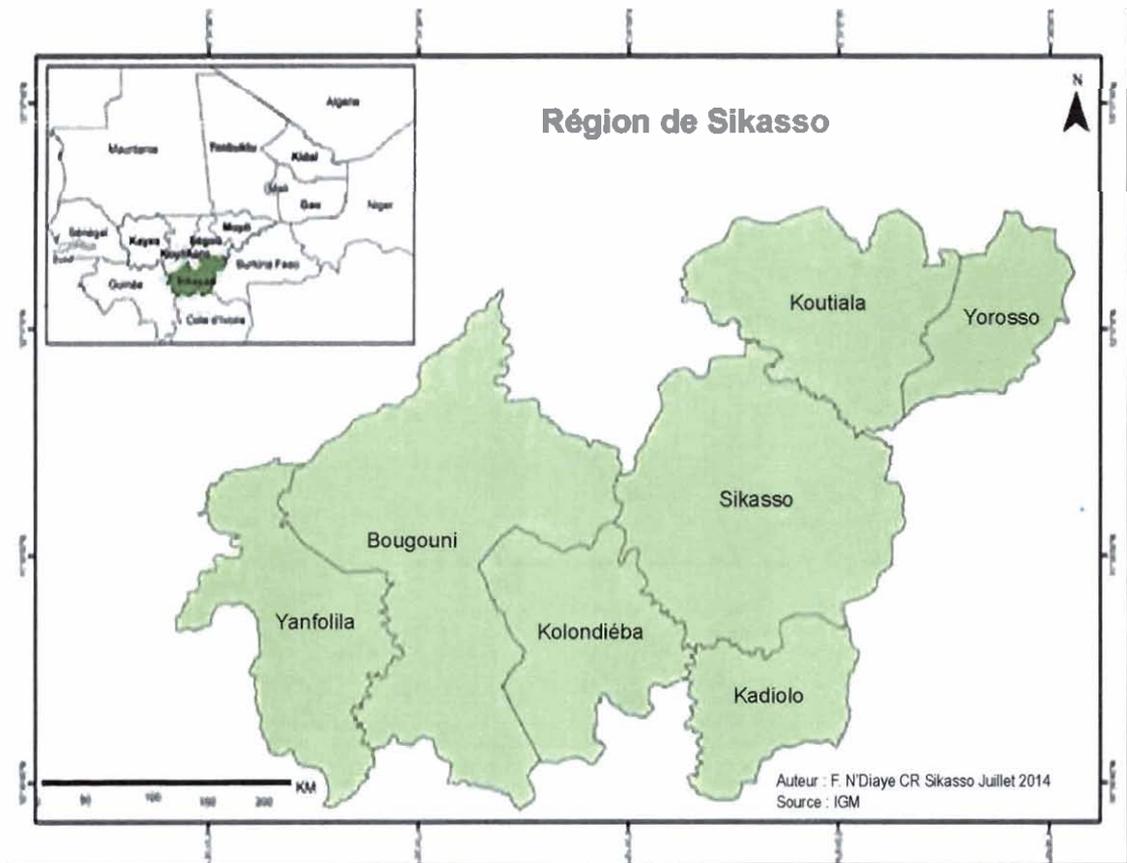
2.2. Matériel

Le matériel végétal est constitué de feuilles de *P. erinaceus*.

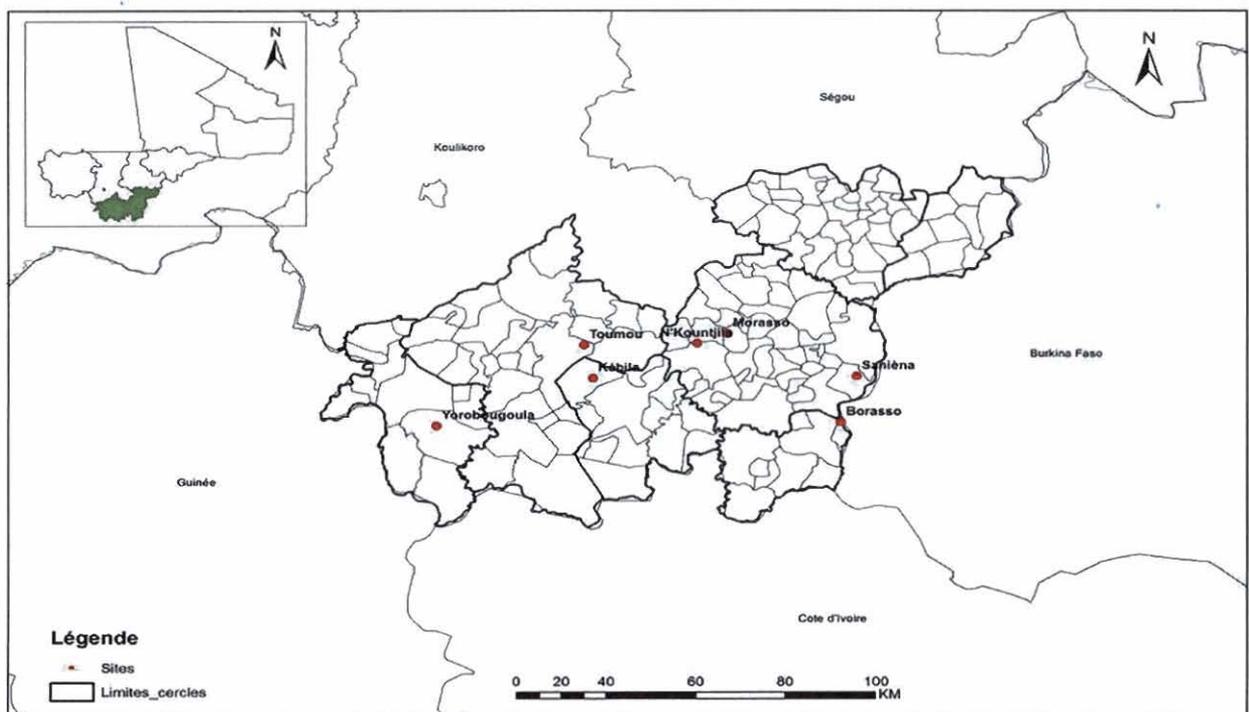
2.3. Méthodes

La caractérisation morphologique a concerné sept provenances de *P. erinaceus* qui sont situées en zones soudanienne et guinéenne dans la région de Sikasso. Dans chaque zone, les villages abritant les provenances ont été choisis en fonction de l'accessibilité et de l'existence des peuplements de *P. erinaceus*. Ces villages sont Saniéna, N'Kountjila, Morasso (cercle de Sikasso) en zone soudanienne, et Borasso (cercle de Kadiolo), Tumu (cercle de Bougouni), Kébila (cercle de Kolondiéba), Yorobougoula (cercle de Yanfolila) en zone guinéenne (Carte 2).

Au niveau de chaque village, un échantillon de dix personnes dont cinq femmes et cinq hommes a été interrogé sur la morphologie des feuilles et les caractéristiques physiques des arbres de *P. erinaceus*. Ensuite, un total de trente arbres par provenance et les sept villages ont été géo-référencés à l'aide de GPS. Un total de dix feuilles a été collecté par arbre et par provenance. Les mesures, faites à l'aide d'un mètre-ruban, ont porté sur la longueur



Carte 1. Situation géographique de la région de Sikasso



Carte 2. Localisation des villages d'étude dans la région de Sikasso (points rouges)

et la largeur de la feuille (Photos 1 et 2), la longueur du pétiole (Photo 3), la longueur du pétiolule et la longueur de l'acumen (Photo 4).

La classification hiérarchique ascendante des données collectées a été faite en vue d'aboutir à la typologie des feuilles et des provenances. Chaque axe a été caractérisé par des descripteurs ayant une corrélation supérieure ou égale à 0,50 en valeur absolue, car un axe donné se caractérise par des variables qui ont les plus forts coefficients de corrélation en valeur absolue (Philippeau, 1986; Johnson et Wichern, 1998). L'ensemble de ces analyses a été effectué avec le logiciel SAS 9.2. La variation intra et inter-provenances a été estimée à travers le coefficient de variation.

Pour mieux apprécier cette variation, nous avons utilisé l'échelle proposée et testée sur *Parkia biglobosa* par Ouédraogo (1995) qui se présente comme suit :

- la variation est qualifiée de faible si le coefficient de variation est compris entre 0 % et 10 %;
- la variation est qualifiée de moyenne si le coefficient de variation est compris entre 10 % et 15 %;
- la variation est assez importante si le coefficient de variation est compris entre 15 % et 44 %;
- la variation est importante si le coefficient de variation est supérieur à 44 %.



Photo 1. Mesure de la largeur de la feuille de *P. erinaceus*



Photo 2. Mesure de la longueur de la feuille de *P. erinaceus*



Photo 3. Mesure de la longueur du pétiole de la feuille de *P. erinaceus*



Photo 4. Mesure de la longueur de l'acumen de la feuille de *P. erinaceus*

3. Résultats

3.1. Critères de différenciation choisis par les paysans

Les critères de différenciation de *P. erinaceus* choisis par les paysans sont essentiellement basés sur la dimension des feuilles et la couleur de l'écorce du tronc. Il existerait des arbres à feuilles larges (72 % des répondants) et à petites feuilles (54 % des répondants). Par rapport à la couleur de l'écorce du tronc, 67 % des répondants ont affirmé que l'écorce est rougeâtre (*Guemblé* en langue nationale Bamanan), contre 59 % pour la couleur blanchâtre (*Guemudie* en langue nationale Bamanan). Un échantillon de 17 % pense que l'écorce est noirâtre (*Guemfima* en langue nationale Bamanan). Les arbres à écorce rougeâtre sont reconnaissables par les feuilles de petite taille, un court acumen et un court pétiole. Ceux à écorce blanchâtre sont caractérisés par des feuilles larges, un long acumen et un long pétiole, soit le contraire des arbres à écorce rougeâtre. Le *P. erinaceus* à écorce noirâtre est caractérisé par les feuilles larges, un long acumen et un pétiole court.

3.2. Caractérisation morphologique des feuilles

3.2.1. Analyse factorielle discriminante sur les provenances

Les résultats ont révélé que les feuilles les plus longues avec une longueur moyenne de $33,88 \pm 6,24$ cm et dotées de longs pétioles ($6,23 \pm 1,26$ cm) ont été rencontrées à Borasso. Saniéna regroupe les feuilles les plus larges avec une valeur moyenne de $16,90 \pm 3,20$ cm, ayant une grande longueur de pétiolule ($1,16 \pm 0,68$ cm) et une grande longueur de l'acumen ($0,51 \pm 0,04$ cm). Les feuilles les moins larges ($13,48 \pm 2,56$ cm) et les moins longues ($27,31 \pm 4,75$ cm) avec de courts acumens ($0,38 \pm 0,13$ cm) ont été observées à Yorobougoula. Contrairement à Borasso où les pétioles sont longs, les feuilles de N'Kountjila ont eu les plus faibles valeurs pour cette variable ($5,37 \pm 1,38$ cm). Contrairement à Saniéna, les pétiolules des feuilles provenant

de Kébila, Morasso et Tumu ($0,92$ cm) sont moins longs ainsi que l'acumen des feuilles collectées à Yorobougoula ($0,38 \pm 0,13$ cm). Le nombre de folioles moyen par feuille a atteint 9 dans les autres provenances, contrairement à Yorobougoula où il a été dénombré 8 folioles (Tableau I).

Les résultats ont montré que la variation à l'intérieur des provenances a été moyenne à Tumu (14,28 %) et assez importante à Saniéna (16,82 %), Kébila (16,81 %), Yorobougoula (17,39 %), N'Kountjila (17,42 %), Borasso (18,42 %), Morasso (22,11 %, Photo 5) pour la longueur de la feuille (Tableau I). Il a été observé une variation assez importante à l'intérieur des provenances au niveau de l'ensemble des villages pour la largeur de la feuille (18,16 % à 22,62 %) et la longueur du pétiole (19,16 % à 27,81 %). Au niveau de la longueur du pétiolule, la variation à l'intérieur des provenances a été assez importante à N'Kountjila (21,87 %), Tumu (22,83 %), Borasso (24,32 %), Morasso (26,09 %), Kébila (29,35 %), importante à Saniéna (58,62 %) et Yorobougoula (65,96 %). Quant à la longueur de l'acumen, il a été observé une variation faible à Saniéna (7,84 %), moyenne à Borasso (10,20 %) et assez importante à N'Kountjila (21,28 %), Morasso (25,58 %), Tumu (28,20 %), Kébila (30,95 %) et Yorobougoula (34,21 %). En ce qui concerne la variation entre les provenances, elle a été faible pour la longueur du pétiole (5,19 %), la longueur de la feuille (6,64 %), la largeur de la feuille (7,69 %) et moyenne pour la longueur du pétiolule (10,22 %) et la longueur de l'acumen (11,28 %).

3.2.2. Analyse factorielle discriminante sur les variables des feuilles

Sept types de feuilles ont pu être générés. L'analyse des différents écotypes a indiqué que le type 5 regroupe les feuilles les plus longues, les plus larges et ayant de longs pétioles, tandis que les feuilles les moins longues, les moins larges avec de courts pétioles sont regroupées dans le type 2 (Tableau II). Les feuilles ayant un grand nombre de folioles sont regroupées dans le type 7, tandis

Tableau I. Caractéristiques morpho-métriques et variabilité des provenances de *P. erinaceus* dans la région de Sikasso

Variables	Provenances							Coefficient de variation entre provenances (%)
	Borasso	Kébila	Morasso	N'Kountjila	Saniéna	Tumu	Yorobougoula	
Longueur de la feuille (cm)	33,88±6,24 (18,42 %)	30,69±5,16 (16,81 %)	30,97±6,85 (22,11 %)	29,61±5,16 (17,42 %)	31,44±5,29 (16,82 %)	29,48±4,21 (14,28 %)	27,31±4,75 (17,39 %)	6,64
Largeur de la feuille (cm)	16,70±3,71 (22,21 %)	16,59±3,56 (21,46 %)	15,21±3,44 (22,62 %)	15,67±2,86 (18,25 %)	16,90±3,20 (18,93 %)	15,14±2,75 (18,16 %)	13,48±2,56 (18,99 %)	7,69
Longueur du pétiole (cm)	6,23±1,26 (20,22 %)	5,64±1,29 (22,87 %)	5,72±1,51 (26,40 %)	5,37±1,38 (25,70 %)	5,74±1,10 (19,16 %)	5,45±1,13 (20,73 %)	5,43±1,51 (27,81 %)	5,19
Nombre de folioles	9±2	9±2	9±2	9±2	9±2	9±2	8±1	-
Longueur du pétiolule (cm)	1,11±0,27 (24,32 %)	0,92±0,27 (29,35 %)	0,92±0,24 (26,09 %)	0,96±0,21 (21,87 %)	1,16±0,68 (58,62 %)	0,92±0,21 (22,83 %)	0,94±0,62 (65,96 %)	10,22
Longueur de l'acumen (cm)	0,49±0,05 (10,20 %)	0,42±0,13 (30,95 %)	0,43±0,11 (25,58 %)	0,47±0,10 (21,28 %)	0,51±0,04 (7,84 %)	0,39±0,11 (28,20 %)	0,38±0,13 (34,21 %)	11,28

Les chiffres entre parenthèse représentent le coefficient de variation à l'intérieur des provenances.



Photo 5. Variabilité des feuilles de *P. erinaceus* récoltées à Morasso dans le cercle de Sikasso

Tableau II. Caractéristiques morpho-métriques des feuilles de *P. erinaceus* identifiées dans la région de Sikasso

Types de feuilles	Variables de la feuille					
	Longueur feuille (cm)	Largeur feuille (cm)	Longueur pétiole (cm)	Nombre de folioles	Longueur du pétiolule (cm)	Longueur de l'acumen (cm)
1	26,10±3,02	13,42±1,61	4,80±0,84	9±1	0,95±0,19	0,49±0,04
2	24,14±3,03	12,56±2,54	4,65±0,92	8±1	0,75±0,22	0,34±0,11
3	29,17±3,71	15,45±1,90	5,93±0,87	7±1	1,01±0,21	0,49±0,07
4	31,26±3,59	14,62±2,34	5,99±1,36	9±1	0,93±0,12	0,29±0,06
5	37,86±4,30	19,60±2,99	6,95±1,47	10±2	1,17±0,28	0,49±0,07
6	31,88±3,44	16,53±2,41	5,50±1,01	10±1	1,03±0,20	0,50±0,07
7	27,33±2,52	15,50±3,77	5,00±0,50	11±3	9,33±2,51	0,40±0,10

que celles ayant un nombre réduit de folioles se trouvent dans le type 3. Le type 7 regroupe également les feuilles ayant de longs pétioles (9,33 cm en moyenne), contrairement au type 2 qui regroupe les feuilles ayant des pétioles moins longs (0,75 cm en moyenne). La longueur de l'acumen des feuilles du type 6 est la plus grande (0,50 cm en moyenne), contrairement à celle des feuilles du type 4 qui est la plus courte (0,29 cm en moyenne).

Les résultats de l'analyse factorielle discriminante effectuée sur les sept types ont montré que les deux premiers axes sont hautement significatifs. Ces deux axes expliquent à eux seuls 85 % des informations liées aux types de feuilles. L'axe 1 décrivant 56 % de la variation totale est défini par cinq descripteurs qui sont les suivants : la longueur de la feuille, la largeur de la feuille, la longueur du pétiole, le nombre de folioles et la longueur de l'acumen. L'axe 2 décrit 28 % de la variation totale et il est positivement bien corrélé avec la longueur du pétiole avec une corrélation de 0,86 (Tableau III).

4. Discussion

La diversité signalée à travers les savoirs traditionnels a indiqué que les paysans disposent des critères de différenciation des arbres de *P. erinaceus* qui sont basés sur la couleur du tronc, la longueur et la largeur de la feuille, la longueur de l'acumen et celle du pétiole. La couleur noirâtre de l'écorce ressortie de l'enquête est rapportée dans la littérature (Arbonnier, 2000; Duvall, 2008). Cette richesse des savoirs traditionnels sur *P. erinaceus* a été confirmée sur d'autres espèces forestières locales. C'est le cas de *Detarium microcarpum* (*N'Tabacumba* en langue nationale Bamanan) où 60 % des répondants en milieu sénoufo dans la région de Sikasso ont distingué des arbres à écorces noire et rouge (Kouyaté, 2005). Selon Sidibe *et al.* (1996), les paysans de la région de Ségou ont distingué les individus de *Adansonia digitata* (*Sira* en langue nationale Bamanan) à écorces noire (*Sirafing* en langue nationale Bamanan), rouge (*Sirablé* en langue nationale Bamanan)

Tableau III. Valeurs propres et contribution relative des descripteurs à la formation des différents axes

Composantes	Axe 1	Axe 2
Valeur propre	3,95	1,98
Variabilité	0,5645	0,2830
Variabilité cumulative	0,5645	0,8475
Longueur feuille	0,82	-0,15
Largeur feuille (cm)	0,75	-0,14
Longueur pétiole (cm)	0,54	-0,08
Nombre de folioles	0,50	0,04
Longueur de l'acumen (cm)	0,59	-0,17
Longueur pétiole (cm)	0,49	0,86

et blanchâtre (*Siradiè* en langue nationale Bamanan). En plus du Mali, la couleur de l'écorce a été utilisée, entre autres, par les populations locales du Burkina Faso, du Bénin, du Ghana et du Sénégal pour distinguer les arbres de *A. digitata* dans les systèmes agroforestiers (Assogbadjo *et al.*, 2008). Les trois couleurs de l'écorce du tronc identifiées chez *P. erinaceus* se retrouvent au niveau de *A. digitata*.

Sur le plan morphologique, les feuilles des sept provenances collectées ont mesuré en moyenne 30,48 cm de longueur. Cette longueur ne s'éloigne pas de celle de 30 cm rapportée par Duvall (2008). Le nombre de folioles qui a varié entre 8 et 9 se trouve dans la fourchette de 5 à 15 folioles rapportée par Duvall (2008). Cette même source a rapporté que le pétiole peut être long de 3 à 7 cm et cette valeur ne s'éloigne pas des 5 à 6 cm obtenus au niveau des provenances étudiées. Ceci indiquerait que les fréquentes coupes de fourrage n'ont pas affecté la longueur des feuilles ni la longueur du pétiole, car les populations de *P. erinaceus* sont exploitées depuis plus de 20 ans. L'appartenance des provenances Borasso et Saniéna aux différentes zones agro-climatiques expliquerait que leur regroupement pour les caractéristiques des feuilles (longueur et largeur de la feuille, longueur pétiole, longueur pétiole, longueur acumen) serait lié à des facteurs non environnementaux.

La faible variation intra-provenance observée indique que les individus au sein de la provenance ne sont pas très différents les uns des autres, ce qui indique une faible diversité génétique. Les variations intra-provenances assez importantes observées indiquent que les individus sont différents les uns des autres pour la longueur et la largeur de la feuille, la longueur du pétiole, la longueur du pétiole et la longueur de l'acumen. Ceci signifie qu'il y a une variabilité individuelle considérable permettant aux arbres de survivre et de s'adapter aux conditions environnementales. La variation intra-provenance élevée surtout chez les espèces ligneuses a été soulignée par plusieurs auteurs (Kremer, 1994; Morgenstern, 1996; Bouvet *et al.*, 2004). La faible variation

inter-provenances signifie que les provenances étudiées ne sont pas différentes les unes des autres pour l'ensemble des variables mesurées sur la feuille de *P. erinaceus*. Ceci signifie que pour des fins de conservation ou de plantation de l'espèce dans la région de Sikasso, la collecte des semences peut être faite dans un nombre très réduit de provenances pour espérer une grande diversité et une bonne résilience de cette plantation.

5. Conclusion

Le travail de caractérisation des feuilles de *P. erinaceus*, réalisé pour la première fois au Mali, a permis d'identifier les descripteurs morphologiques discriminants (longueur de la feuille, largeur de la feuille, longueur du pétiole, longueur du pétiole, longueur de l'acumen, nombre de folioles) et ceux des paysans. L'étude a révélé une diversité d'arbres sur la base des critères paysans qui reposent sur la couleur du tronc, la longueur et la largeur de la feuille, la longueur de l'acumen et celle du pétiole. Elle a permis de dégager la typologie des feuilles en fonction des provenances. Les caractéristiques identifiées constituent une base pour entreprendre des programmes de sélection variétale et d'amélioration génétique de *P. erinaceus*.

6. Références

- ARBONNIER M., 2000. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Montpellier, France, 541 p.
- ASSOGBADJO A.E., GLÈLÈ KAKAÏ R., CHADARE F.J., THOMSON L., KYNDT T., SINSIN B. and VAN DAMME P., 2008. Folk classification, perception and preferences of Baobab products in West Africa: Consequences for Species Conservation and Improvement. *Economic Botany*. 62(1): 74-84.
- BOUVET J.M., FONTAINE C., SANOU H. et CARDI., 2004. An analysis of the pattern of genetic variation in *Vitellaria paradoxa* using RAPD markers. *Agroforestry Systems*. 60: 61-69.
- COULIBALY D., 2008. Changements socio-techniques dans les systèmes de production laitière et commercialisation du lait en zone

- péri-urbaine de Sikasso, Mali. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, 399 p.
- DICKO M.S., SANGARÉ M., 1981. La nutrition du bétail du système agropastoral du mil et du riz au Mali. Document AZ 64. CIPEA, Bamako, Mali.
- DNPIA., 2013. Présentation du Mali à l'atelier de lancement du projet sur les ressources génétiques animales à Abidjan en Côte d'Ivoire. Direction Nationale des Productions Industrielles Animales, 15 p.
- DRPSIAP, 2014. Rapport annuel. Direction Régionale de la Planification, de la Statistique et de l'informatique, de l'Aménagement du Territoire et de la Population de Sikasso. Mali, 100 p.
- DUVALL C.S., 2008. *Pterocarpus erinaceus* Poir. In: Louppe, D., Oteng-Amoako, A.A. & Brink, M. (Editors). Protas 7(1): Timbers/Bois d'œuvre 1. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Netherlands.
- HIERNAUX P., CISSÉ M.I., DIARRA L., 1979. Section écologie/pâturages naturels: Rapport annuel, Juin 1979. Document AZ 23. CIPEA, Bamako, Mali.
- JOHNSON R.A., WICHERN D.W., 1998. Applied multivariate statistical analysis. Chapter 8. Principal Components. Prentice-Hall, Inc. 458-497.
- KAMISSOKO S., YOSSE H., DEMBÉLÉ I., 2011. Techniques d'installation et de gestion des banques fourragères à *Ficus gnaphalocarpa* (Miquel) et *Piliostigma reticulatum* (DC) HOCHST. Rapport final, 15 p.
- KAMISSOKO S., 2005. Fourrage ligneux: un potentiel alimentaire pour l'embouche des petits ruminants. IER Info n° 37.
- KOUYATÉ A.M., 2005. Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au Mali. Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences Biologiques Appliquées. Université de Gand, Belgique, 207 p.
- KREMER A., 1994. Diversité génétique et variabilité des caractères phénotypiques chez les arbres forestiers. Genetics Selection Evolution. 26:105-123.
- MORGENSTERN E.K., 1996. Geographical variation in forest trees. Genetic basis and application of knowledge in silviculture. UBC Press. Vancouver B.C., 209 p.
- NANTOUMÉH., SANOGOM.T., BONNEVILLE J., 2012. Des arbres pour les moutons - Enquête dans la commune rurale de Zan Coulibaly au Mali. Sahel Agroforesterie. 17: 6-8.
- OUÉDRAOGO A.S., 1995. *Parkia biglobosa* (Fabaceae) en Afrique de l'Ouest. Biosystématique et amélioration. Thèse, Université Agronomique. Wageningen, Netherlands, 205 p.
- PELTIER R., 2013. Gestion agrosylvopastorale des territoires sahéliens. Place de l'élevage dans la gestion des espaces agroforestiers et forestiers. 2 p. (www.cirad.fr)
- PETIT S., 2000. Fourrage ligneux et parcours des troupeaux des pasteurs peuls de l'ouest burkinabé. Note de Recherche. Bois et Forêts des Tropiques. 265 (3): 77-80.
- PHILIPPEAU G., 1986. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales? ITCF. Service des études statistiques. STATITCF., 57 p.
- SIDIBE M., SCHEURING J.F., TEMBELY D., SIDIBE M.M., HOFMAN P., FRIGG M., 1996. Baobab-homegrown vitamin C for Africa. Agroforestry Today. 8(2): 13-15.

Vulnérabilité des ressources villageoises aux changements climatiques le long du Bassin-versant du fleuve Banifing au Sud du Mali

Vulnerability of village resources to climate change along the Banifing River catchment in Southern Mali

Kouyaté Amadou Malé^{1*}, Dombia Salif¹, Coulibaly N'Golo¹, Traoré Modibo²,
Koné Makono³ et Sanogo Aly⁴

¹Institut d'Économie Rurale - B.P. 16 Sikasso, Mali

²Direction Régionale du Génie Rural - Sikasso, Mali

³Direction Régionale de l'Agriculture - Sikasso, Mali

⁴Association Malienne d'Éveil au Développement Durable - Koutiala, Mali

*Courriel: kouyate01@hotmail.com; amadoumale.kouyate@ier.gouv.ml

Résumé

Au regard de la dégradation poussée des ressources naturelles et de l'ampleur des menaces liées aux changements climatiques au Mali, le présent travail avait pour objectif de collecter les informations de base sur les villages et les savoirs locaux en matière de vulnérabilité et d'adaptation des populations et des écosystèmes agricoles aux changements climatiques. Au niveau de chacun des six villages situés le long du bassin-versant du fleuve Banifing au Sud du Mali, les enquêtes ont été réalisées auprès des hommes et des femmes d'âges différents. L'étude a révélé que la situation actuelle des ressources villageoises, due aux actions anthropiques et aux effets des changements climatiques, se caractérise par la diminution des ressources (arbres, herbes, animaux sauvages, poissons), le faible rendement des cultures, l'insuffisance d'eau, l'accroissement de la population humaine et la baisse de la fertilité des sols. Les menaces qui pèsent sur les ressources et les moyens de subsistance des populations ainsi que les stratégies d'adaptation locale ont été identifiées. La nature des ressources et des acteurs expliquerait la variation de la situation des ressources des villages étudiés. Les informations ainsi recueillies constituent des éléments importants pour l'élaboration des plans d'actions relatifs à l'amélioration de la résilience des écosystèmes agricoles aux changements climatiques.

Mots clés: Savoirs locaux, Écosystèmes agricoles, Adaptation, Changement climatique, Mali.

Abstract

With regard to the advanced degradation of natural resources and the importance of threats linked to climate change in Mali, the objective of the present work was to collect basic information on villages and local knowledge regarding vulnerability and adaptation of the population and agricultural ecosystems to climate change. In each of the six villages situated along the watershed of the Banifing river in southern Mali, surveys were conducted with women and men of different ages. The study revealed that the current situation of the local resources, due to human actions and climate change, is characterized by a decrease in resources (trees, grass, wild animals, fishes), low yield of crops, water shortage, human population increase and reduction of soil fertility. The threats on these resources and the villages' livelihoods as well as the local adaptation strategies were identified. The nature of resources and actors would explain the variation of local resources' condition in the villages studied. The information collected is important for the development of action plans for the improvement agricultural ecosystems resilience to climate change.

Key words: Local knowledge, Agricultural Ecosystems, Adaptation, Climate change, Mali.

1. Introduction

L'épuisement et la dégradation des sols sont de sérieux problèmes qui aggravent la pauvreté des populations africaines au Sud du Sahara, car ils entraînent une baisse des rendements des cultures. La baisse de fertilité des sols qui en résulte est causée principalement par le déboisement, le surpâturage, l'agriculture itinérante et la mauvaise utilisation des ressources en sol et en eau (FAO, 2003).

Pays dont l'économie repose essentiellement sur le secteur primaire, notamment l'agriculture et l'élevage, la gestion durable des terres est une préoccupation majeure pour le Mali qui est vulnérable aux changements climatiques par sa position géographique, par le nombre réduit de terres cultivables (14 %) et par le niveau de son développement économique (Anonyme, 2009). Les questions environnementales sont cruciales pour le pays et occupent une place prioritaire pour le Gouvernement (Anonyme, 2006) pour satisfaire les besoins de la population dont l'accroissement est galopant. En dépit de sa situation au sud du territoire national entre le 12°30' Latitude Nord et la frontière ivoirienne d'une part et 8°45' Longitude Ouest et la frontière du Burkina Faso d'autre part (ARS, 2006), la région de Sikasso est soumise à la dégradation de l'environnement. Couvrant 71790 km² de superficie, soit 5,8 % du territoire national, cette région s'étend en exclusivité dans la zone humide et subhumide, comprise entre les isohyètes 750 mm au nord et 1400 mm au Sud (ARS, 2006). Elle dispose d'énormes potentialités de production agro-sylvo-pastorale. Cependant, cette région est soumise à plusieurs contraintes biophysiques et socio-économiques affectant considérablement la productivité des différents systèmes de production agricole et les revenus des populations rurales. Eu égard à la perte de terres arables et aux effets défavorables des variabilités et des risques climatiques dans cette région du Mali, il importe de connaître les facteurs et les processus de la vulnérabilité des ressources au niveau des villages situés le long des bassins-versants aux changements

climatiques, objet du présent travail de recherche, à travers la documentation des perceptions des communautés locales.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

Le site d'étude est le bassin-versant du fleuve Banifing qui se trouve à la rive gauche de celui du Bani qui draine 80 % de la superficie du Mali-Sud. Le Banifing couvre 14 500 km² au Mali et ses principaux affluents sont Farako, Lotio, Goumbo, Koniela, Koni-Diolé, Seledogo, Tessé et Koba (Berthe *et al.*, 1991).

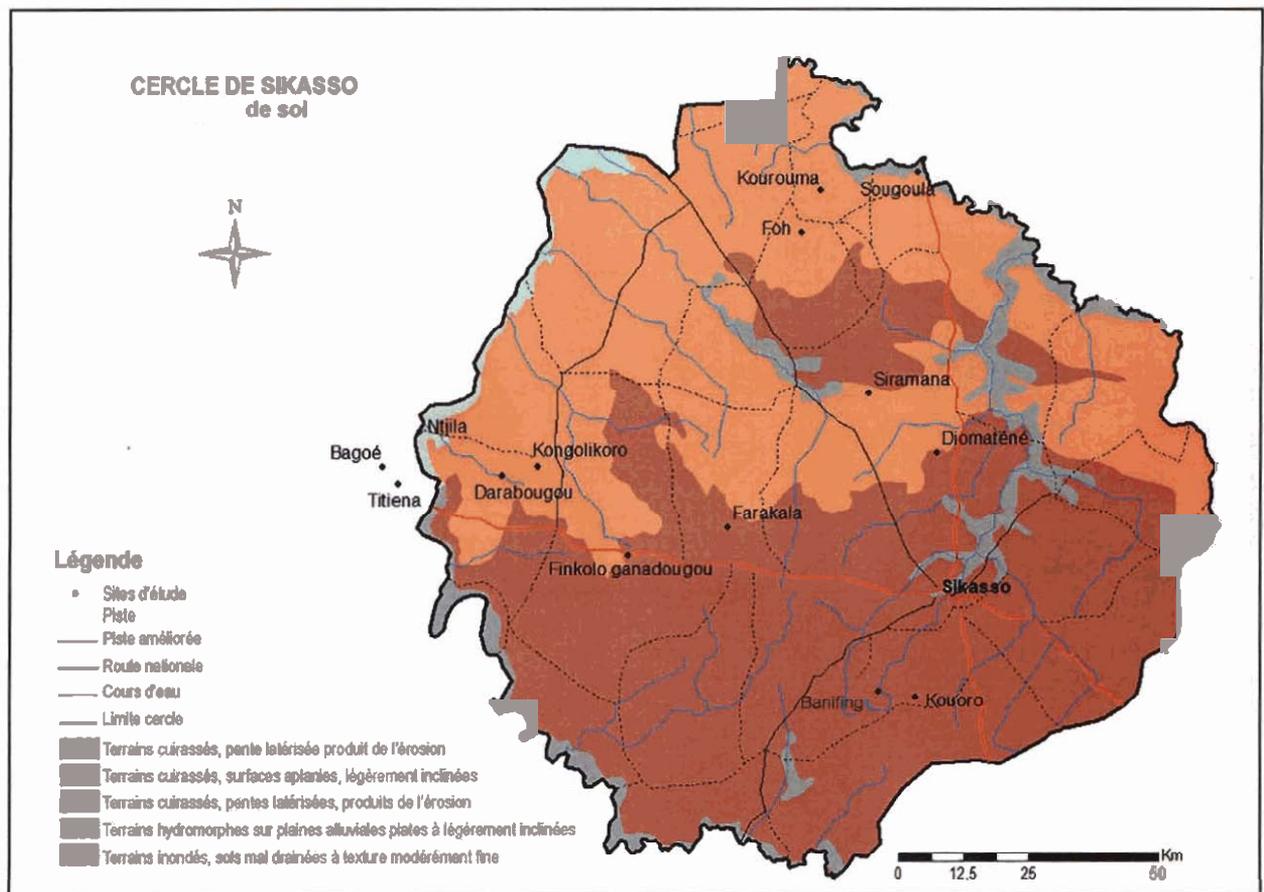
2.2. Matériel

Le matériel est constitué des ressources naturelles au niveau des villages riverains du fleuve Banifing au sud du Mali.

2.3. Méthodes

L'étude a été menée dans trois villages éloignés et trois villages proches du fleuve Banifing (Carte 1). Les trois villages éloignés se trouvent à au moins 50 km du fleuve Banifing. Ce sont Siramana (11°35'4,0" N; 005°42'37,3" W), Diomaténè (11°24'56,1" N; 005°39'13,6" W) et Foh (11°47'56,6" N; 005°46'56,9" W). Les villages se trouvant à au plus 30 km du fleuve Banifing ont été considérés comme proches. Il s'agit de: Kourouma (11°52'52,0" N; 005°50'21,1" W), Sougoula (11°54'51,7" N; 005°42'07,9" W) et Kouoro (12°00'48,3" N; 005°42'08,6" W). Le facteur distance village-fleuve a été pris en compte pour déceler une grande variabilité de perception sur la vulnérabilité aux changements climatiques.

Au niveau de chaque village, les enquêtes ont été réalisées sous forme d'assemblée générale qui a regroupé des hommes et des femmes d'âges différents. Elles ont été menées, en s'inspirant des méthodes décrites par Boureima *et al.* (2012). Ces méthodes consistent à renseigner la situation actuelle des ressources villageoises, la matrice de vulnérabilité des ressources villageoises aux menaces et celle



Carte 1. Localisation des villages d'étude

des moyens de subsistance aux menaces ainsi que les stratégies locales d'adaptation. Au niveau de ces éléments cités ci-dessus, les paysans ont été amenés à évaluer la sévérité de chaque menace en utilisant l'échelle proposée par Boureima *et al.* (2012): 0 = non sévère; 1 = sévérité faible; 2 = sévérité moyenne; 3 = sévérité forte. La «vulnérabilité» d'un système aux changements climatiques est le degré auquel ce système est susceptible, ou se révèle incapable, de faire face aux effets néfastes des changements climatiques, notamment à la variabilité du climat et aux conditions climatiques extrêmes. Le degré de vulnérabilité des systèmes est aussi lié aux activités socio-économiques qui engendrent leur exploitation (PANA, 2007).

3. Résultats

3.1. Situation actuelle et vulnérabilité des ressources des villages proches et éloignés du fleuve Banifing

Les ressources identifiées le long du bassin-versant du fleuve Banifing sont variables. Elles ont atteint un effectif de 12 près du fleuve contre 18 loin du fleuve. La situation actuelle des ressources des villages le long du bassin-versant est communément caractérisée par la dégradation des ressources naturelles, l'insuffisance de terres agricoles et l'augmentation des animaux domestiques (Tableau I).

Tableau I. Situation et caractéristiques des ressources des villages le long du bassin-versant du fleuve Banifing

Types de villages	Ressources disponibles	Caractéristiques des ressources
Villages proches du fleuve	Êtres humains, animaux domestiques, animaux sauvages, arbres, bois sacrés, collines, cultures agricoles, cultures maraîchères, herbes, poissons, rivières, terres agricoles	<ul style="list-style-type: none"> - Assèchement des rivières ; - Augmentation des animaux domestiques et des superficies emblavées ; - Baisse de la fertilité des sols ; - Diminution de la densité des arbres, des herbes, des animaux sauvages et des poissons ; - Insuffisance des terres agricoles.
Villages éloignés du fleuve	Êtres humains, animaux domestiques, animaux sauvages, apiculture, arbres, artisanat, bas-fond, bois sacrés, collines, cultures agricoles, équipements agricoles, herbes, maraîchage, poissons, puits, rivières, terres agricoles, transformation des produits agroforestiers	<ul style="list-style-type: none"> - Accroissement de la population humaine ; - Assèchement des rivières ; - Augmentation de l'effectif des animaux domestiques ; - Baisse de la fertilité des sols ; - Développement de l'arboriculture ; - Diminution de la densité des arbres, des herbes, des animaux sauvages et des poissons ; - Diminution de la production de miel ; - Faible rendement des cultures ; - Forte régénération dans les bois sacrés.

3.2. Menaces

Les populations des villages éloignés du fleuve Banifing ont indiqué que leurs ressources villageoises sont soumises à l'inondation, la sécheresse, l'exploitation de gravier, l'érosion hydrique, aux feux de brousse, aux parasites, aux vents violents, aux pesticides, aux maladies, au striga et aux oiseaux. Selon leurs dires, 77 % à 100 % des ressources font l'objet de menaces les plus sévères qui sont la sécheresse et les feux de brousse.

Au niveau des villages proches du fleuve Banifing, l'inondation, la sécheresse, les éléphants, les feux de brousse, les parasites, les maladies, les vents violents, l'exploitation

forestière, les pesticides, l'agriculture, le surpâturage et la divagation des animaux sont les menaces qui pèsent sur les ressources villageoises. Parmi ces menaces, les plus sévères sont l'inondation, la sécheresse et les feux de brousse touchant 57 % à 100 % des ressources villageoises.

3.3. Moyens de subsistance et vulnérabilité

Au niveau des villages éloignés du fleuve Banifing, les populations interrogées tirent leur subsistance des produits agroforestiers, de la collecte de bois de chauffe et du charbon, des cultures agricoles, des cultures maraîchères,

de la poterie, de la production de potasse, de l'arboriculture, de l'élevage, de la pêche, de l'apiculture, de la forge, du commerce, de la construction de maison et de la chasse. Les résultats ont montré que :

- 69 % à 100 % des moyens sont vulnérables à la pluviométrie ;
- 67 % à 92 % des moyens sont vulnérables à la sécheresse ;
- 23 % à 67 % des moyens sont vulnérables aux feux de brousse ;
- 31 % à 58 % des moyens sont vulnérables aux parasites ;
- 23 % des moyens sont vulnérables au striga ;
- 17 % à 23 % des moyens sont vulnérables aux oiseaux et aux singes ;
- 8 % à 15 % des moyens sont vulnérables aux vents violents ;
- 8 % des moyens sont vulnérables à l'insuffisance d'équipements.

Au niveau des villages proches du fleuve Banifing, l'agriculture, l'élevage, le commerce, l'artisanat, l'élevage, la pêche, le commerce, la couture, les produits agroforestiers, la collecte de bois de chauffe, le maraîchage, l'apiculture, la filature du coton, le tissage, l'exploitation de charbon et la chasse constituent les principaux moyens de subsistance. Les résultats ont montré que :

- 100 % des moyens sont vulnérables aux voleurs et aux accidents ;
- 67 % des moyens sont vulnérables à la coupe abusive de bois ;
- 54 % à 75 % des moyens sont vulnérables aux feux de brousse ;
- 50 % à 89 % des moyens de subsistance sont vulnérables à la sécheresse ;
- 45 % à 50 % des moyens sont vulnérables au manque de capital ;
- 44 % des moyens sont vulnérables à l'érosion hydrique ;
- 36 % des moyens sont vulnérables à l'insuffisance de terres agricoles ;

- 27 % des moyens sont vulnérables à la baisse de la fertilité des sols ;
- 25 % des moyens sont vulnérables à l'inondation et aux vents violents ;
- 9 % des moyens sont vulnérables à l'insuffisance de pâturages.

3.4. Stratégies locales d'adaptation

3.4.1. Villages proches du fleuve Banifing

Les stratégies locales d'adaptation développées pour faire face aux menaces sont les suivantes :

- la plantation d'arbres de *Vitellaria paradoxa*, de *Parkia biglobosa*, etc. ;
- la réalisation de haies vives à base de *Jatropha curcas*, de *Citrus chinensis* et de *Anacardium occidentale* ;
- la réalisation de pare-feux autour des massifs forestiers ;
- l'utilisation de la fumure organique ;
- le respect de la période des feux de brousse précoces ;
- l'ouverture des trous de plantation des arbres dès le 15 juin ;
- l'installation de ruches sur les grands arbres pour réduire les feux de brousse ;
- la réalisation de cultures fourragères ;
- l'aménagement de l'espace sylvo-pastoral ;
- la recherche de capital ;
- la détermination de quota de bois à exploiter ;
- l'amélioration de la remontée biologique des sols à travers l'apport de compost et la plantation d'arbres.

3.4.2. Villages éloignés du fleuve Banifing

Les stratégies locales d'adaptation développées pour faire face aux menaces sont les suivantes :

- l'amendement des champs avec la fumure organique et minérale ;
- la plantation d'arbres de *Vitellaria paradoxa*, de *Parkia biglobosa*, etc. ;

- le stockage des résidus de culture ;
- le développement des cultures fourragères ;
- la création de pépinières forestières ;
- l'interdiction des feux de brousse, des travaux champêtres et de coupe de bois aux abords immédiats des cours d'eau ;
- le prêt bancaire ;
- la protection des ressources forestières ;
- l'aménagement des lieux de maraîchage

4. Discussion

La situation des ressources dans les villages éloignés du fleuve a eu comme corollaire l'exposition des terres agricoles aux différentes menaces, la baisse des revenus, la pauvreté, la famine, la dégradation des terres agricoles, le dessèchement des cours d'eau, l'augmentation de l'effectif des animaux domestiques et la diminution de la densité des arbres, des herbes et des poissons. Au niveau des villages proches du fleuve, les populations ont cité la baisse de la fertilité des sols, la famine, la transhumance forcée des animaux du village, la dégradation des terres agricoles, la baisse des revenus agricoles, l'altération de la cohésion sociale, et l'érosion éolienne et hydrique comme les principales conséquences de la situation actuelle des ressources.

Les conséquences observées peuvent être considérées comme la résultante des actions anthropiques. Cette perception paysanne des problèmes écologiques a été confirmée par Berthe *et al.* (1991) dans leur étude sur l'état des ressources naturelles et des potentialités de développement en zone Mali-Sud. La forte présence des rivières, des mares et des collines dans le voisinage immédiat des zones agricoles peut expliquer la vulnérabilité des zones agricoles aux changements climatiques, à travers les inondations et le ruissellement.

Le nombre de ressources par village a varié entre 11 à Siramana et 17 à Foh. Cette variation des ressources d'un village à un autre peut être imputable à la nature des ressources et au niveau de connaissances des acteurs sur la thématique. L'étude a montré que certaines

ressources sont spécifiques à certains villages, donc liées à leur environnement. C'est le cas du fleuve qui a été cité uniquement dans le village de Kouoro.

L'homogénéité du pourcentage de vulnérabilité des moyens de subsistance à la sécheresse, aux feux de brousse et aux vents violents dans les villages montre que les menaces citées sont communes à ces villages. Les résultats obtenus indiquent que les risques sont liés surtout à la pluviométrie aléatoire et insuffisante, aux inondations successives et aux vents violents.

Au niveau des villages proches du fleuve Banifing, la situation des menaces sur les moyens de subsistance serait surtout attribuable à la position géographique de ces villages qui se trouvent au Nord d'une zone où la pression sur les ressources naturelles est forte. Cette observation est corroborée par Berthe *et al.* (1991) qui ont trouvé que la zone est en voie de forte dégradation.

La prise de conscience des personnes interviewées de la zone d'étude vis-à-vis du changement climatique a été observée en zones soudanienne et guinéenne du Mali (Yossi *et al.*, 2008).

5. Conclusion

La situation des écosystèmes agricoles le long du bassin-versant du Banifing a subi des évolutions depuis les années 70 où le Mali a connu l'une des sévères sécheresses. Celle des ressources villageoises a été évaluée par les acteurs locaux par rapport aux changements climatiques. Pour toutes les grappes de villages confondues, les menaces les plus sévères pour les ressources villageoises sont l'inondation, la sécheresse et les feux de brousse. En ce qui concerne les moyens de subsistance, ils sont vulnérables à la pluviométrie, à la sécheresse, aux feux de brousse, aux parasites, aux voleurs et aux accidents, à la coupe abusive de bois, au manque de capital et à l'érosion hydrique.

La présente étude fait ressortir la fragilité et la vulnérabilité des ressources malgré leur importance numérique.



Institut d'Économie Rurale (IER)

Tél.: (223) 20 22 26 06 / 20 23 19 05

Fax: (223) 20 23 37 75

B.P. 258

Rue Mohamed V

Bamako, Mali