



# LES CAHIERS DE L'ECONOMIE RURALE

P255

Institut d'Economie Rurale – Revue Semestrielle – n° 22 – Janvier - Juin 2016 – ISSN 1987 - 0000

n° 22

**Rancidité des farines composées et des mets précuits  
à base de riz et de légumineuses**

1

**Réponse du riz au phosphore et au potassium sur les sols  
du delta vif du fleuve Niger**

9

**Évaluation de la technique de rotation niébé-mil améliorée  
avec du Phosphate Naturel de Tilemsi à différentes doses  
sur la productivité des sols et des cultures dans le Sahel:  
Cas de la région de Mopti**

21

**Contraintes alimentaires et nutritionnelles chez les  
pondeuses dans les zones périurbaines de Sikasso,  
Ségou et du District de Bamako au Mali et perspectives**

35

**Typologie et dynamique des mares dans le Delta intérieur  
du Niger au Mali**

45

**Croissance démographique et extension spatiale de la ville  
de Bamako au Mali**

55





## 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 Ibrahima N'Diaye  
**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

## **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. Chaque résumé ne devra pas dépasser 200 mots et 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<sup>ème</sup> 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.

# Rancidité des farines composées et des mets précuits à base de riz et de légumineuses

## Rancidity in composite flours and precooked meals made from rice and legumes

Sidibé S.<sup>1</sup>, Coulibaly A.<sup>1</sup>, Koné D.<sup>2</sup>, Doumbia M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Technologue Alimentaire, Institut d'Economie Rurale (IER), B.P. 258 Bamako, Mali

<sup>2</sup>Ingénieur Agronome Système, IER, B.P. 258 Bamako, Mali

<sup>3</sup>Ingénieur Agronome, IER, B.P. 258 Bamako, Mali

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

### Résumé

Les aliments consommés en familles comprennent les farines composées et les aliments précuits. L'aliment instantané Riz-Arachide-Lait (RIAL), le Djouka et le Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante à base de riz sont des aliments précuits séchés afin de réduire la durée de transformation. Lors de leur conservation, ces aliments riches en lipides sont sujets d'altération de leur qualité nutritionnelle et organoleptique par l'oxydation des lipides, provoquant ainsi le rancissement. La rancidité a été évaluée par la détermination de la teneur en eau et l'acidité grasse des farines et aliments précuits avant leur mise en conservation et une fois par mois pendant toute la durée de conservation.

Toutes les farines composées et les mets précuits à base de riz étaient stables au cours de leur conservation. Des différences significatives ont été observées entre l'acidité des aliments à partir du 5<sup>e</sup> mois de conservation. L'acidité d'aucun met conservé n'a atteint le seuil de rancidité des aliments riches en matières grasses qui est de 1 g d'acide sulfurique par 100 g de matière sèche. L'objectif de la recherche était de déterminer l'état de rancidité pendant la conservation des farines et des mets.

**Mots clés :** riz, conservation, teneur en eau, acidité, rancidité

### Abstract

Food consumed in families comprises composite flours and precooked meals. Instant Rice-peanut-milk blended (RIAL), Djouka and rice couscous mixed with spinach and amaranth leaves are precooked and dried in order to reduce processing time. During storage, these lipid-rich foods are subject to deterioration of their nutritional and organoleptic quality by lipid oxidation, conducting to rancidity. Rancidity was evaluated by determining water content and acidity of flours and those of precooked foods before storage, and once a month for each sample during their storage.

All the rice based composite flours and precooked meals had stable shelf life during storage. Significant differences were found between acidity of meals from their fifth month of storage. The acidity content of neither of the stored meals reached the induction point of rancidity of lipid rich foods (1 mg. of sulfuric acid per/100 g). The objective of the work was to determine the shelf life of composites flours and precooked meals.

**Key words:** rice, storage, water content, acidity, rancidity

## I. Introduction

Pour alléger le travail des mamans, les farines conservées sont souvent utilisées dans l'alimentation de la famille. Les aliments utilisés dans le régime du jeune enfant comportent les farines enrichies à base de céréales. Les bouillies, souvent préparées à partir de farines conservées, subissent des altérations de leur qualité nutritionnelle et organoleptique provoquées par l'oxydation des lipides. L'un des moyens d'éviter cette altération consiste à diminuer l'activité de l'eau dans le produit par le séchage. En effet, l'activité de l'eau doit être inférieure à 65% de teneur en eau au-delà de laquelle la prolifération des microorganismes s'observe et les réactions enzymatiques se développent (Ngalani, 2000). Les technologies de conservation basées sur le séchage solaire s'appliquent généralement aux céréales, aux graines de niébé, aux arachides et souvent aux viandes. Les produits transformés séchés doivent être conservés à l'abri de l'humidité (Kane, 1994).

L'oxydation des lipides conduit à la diminution de l'activité des enzymes, à l'altération de la qualité nutritionnelle des aliments par la destruction de certains nutriments essentiels, tels que la Tryptophane, un acide aminé essentiel qui est détruit quand il rentre en contact avec le méthyle linoléate peroxydant. Elle produit des composés toxiques ou physiologiquement actifs qui peuvent endommager les protéines, les enzymes et les acides aminés (Giese, 1996 ; Sidibé, 1996). L'oxydation des acides gras intervient à travers le mécanisme des chaînes de radicaux libres qui se propagent en libérant des peroxydes et des produits résiduels. Les courtes chaînes d'acide gras sont volatiles et sont responsables des mauvaises odeurs des produits alimentaires contenant des lipides et ceux associés aux phospholipides. Les causes de la rancidité sont nombreuses et incluent la lumière, l'air, les hautes températures, les traces de métaux et la présence de radicaux libres (R) d'acide gras.

L'objectif de l'étude était de déterminer la durée de conservation des farines de compléments et des mets précuits à base de riz par la détermination de leur état de rancidité en vue de contribuer à assurer leur accessibilité en toute saison.

## II. Matériel et méthodes

### 2.1. Matériel

Le matériel utilisé était composé de farine de riz, de graines de niébé, de soja et d'arachide, de feuilles d'épinard et d'amarante.

### 2.2. Méthodes

#### 2.2.1. Préparation des farines de complément contenant le niébé, le soja et l'arachide

- **Production des farines de complément :** les graines de soja, d'arachide et la farine de niébé subissent la torréfaction qui consiste à griller les graines ou la farine dans la marmite jusqu'à l'obtention de la coloration souhaitée.
- **Production de la farine de niébé :** les graines de niébé ont été lavées, décortiquées, séchées puis réduites en farine. Cette farine a été tamisée puis torréfiée jusqu'à l'obtention d'une coloration marron-clair.
- **Production de la farine de soja :** les graines de soja ont été torréfiées, trempées dans l'eau tiède pendant 30 minutes, puis dépelliculées par un léger pilage. Les graines ont été ensuite séchées au soleil puis réduites en farine.
- **Production de la farine d'arachide :** les graines d'arachide ont été triées, torréfiées jusqu'à l'obtention de la coloration marron-clair, dépelliculées puis réduites en farine.
- **Préparation des farines composées :** les farines composées obtenues par le mélange de divers ingrédients sont les farines composées de 75 % riz-15 % niébé-10 % arachide ; 75 % riz-25 % niébé et 75 % riz-25 % soja.

### 2.2.2. Préparation des mets précuits à base de riz

#### • Préparation de l'aliment de complément RIAL Instant

Les grains de riz lavés, ont été légèrement séchés et mélangés à l'arachide torréfiée à une proportion de 10 %. Le mélange obtenu a été broyé pour obtenir de la farine composée qui est ensuite passée à la vapeur (cuisson à la vapeur dans un couscoussier) puis torréfiée. Les autres ingrédients, composés de 5 % de sucre et de 10 % de lait, sont ajoutés après refroidissement (Photo 1).

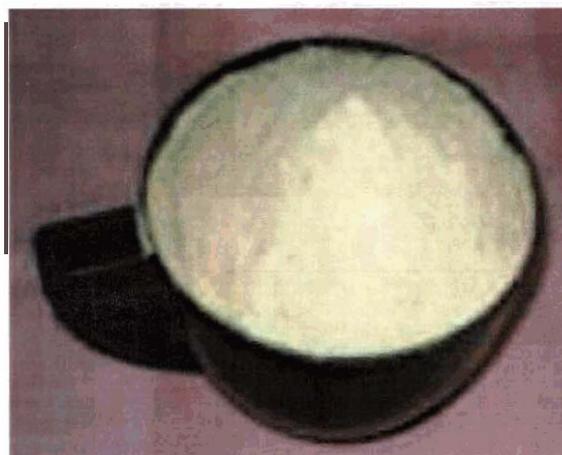


Photo 1. RIAL Instant

#### • Préparation du Djouka de riz

Les brisures de riz (1kg) ont été lavées, égouttées et ensuite passées à la vapeur pendant 15 minutes. Elles ont été aspergées d'eau et précuites par passage à la vapeur 3 fois de suite jusqu'à leur ramollissement. Les graines d'arachide (1kg) ont été lavées, mélangées à la solution de 20 grammes de potasse dilués dans 100 ml d'eau, séchées et broyées pour obtenir de la farine d'arachide potassique. Les brisures de riz précuites ont été mélangées à 1 kg de farine d'arachide potassique et le mélange ainsi obtenu a été passé à la vapeur jusqu'à son ramollissement (Photo 2).



Photo 2. Djouka de riz

#### • Préparation du couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante

La farine de riz a été d'abord humidifiée puis roulée pour obtenir des granules de couscous qui ont été ensuite passées à la vapeur pendant 15 minutes pour la précuisson. Émottées et tamisées à l'aide du tamis de 2 mm, les granules précuites ont été séchées avant d'être mélangées aux feuilles d'épinard et d'amarante émietées et séchées séparément à l'abri des rayons solaires. Le couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante (Photo 3) a été obtenu en mélangeant 50 grammes de feuilles d'épinard séchées et 50 grammes de feuilles d'amarante séchées à 500 grammes de granules précuites séchées (couscous) de riz.



Photo 3. Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante

### 2.2.3. Conservation des farines composées, du RIAL, du Djouka et du Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante précuits à base de riz

#### • Détermination de la teneur en eau

La détermination de la teneur en eau des produits transformés a été réalisée par séchage des échantillons dans l'étuve à 105°C pendant 12 heures. Après refroidissement, les échantillons ont été pesés et la teneur en eau a été exprimée sur la base de la matière sèche. Cette détermination a été effectuée avant leur mise en conservation et 1 fois par mois pendant la durée de la conservation.

#### • Détermination de l'acidité grasse

La rancidité des farines composées et celle des mets précuits (Djouka, Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante, et RIAL Instant) ont été évaluées par la détermination de leur teneur en eau et leur acidité grasse en trois répétitions. Chaque échantillon était conservé séparément dans des sachets en polyéthylène scellés. L'évaluation a été faite une fois par mois pendant la durée de la conservation, 7 mois pour les farines composées et 12 mois pour les mets précuits. Le dosage de l'acidité a consisté à titrer par volumétrie l'acidité extraite dans des conditions définies par la méthode de l'Agence française de Normalisation (AFNOR V-03 712). L'acidité grasse (AG) est exprimée en grammes d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) pour 100 grammes de matière sèche.

### 2.2.4. Analyses des résultats

Dans l'étude de la conservation des farines de complément et des mets précuits, l'analyse de variance a été effectuée à l'aide du logiciel GenStat.

## III. Résultats

### 3.1. Conservation des farines composées

#### 3.1.1. Teneur en eau des farines

La teneur en eau de 9,5 % de la farine composée 75 % riz-25 % soja a été la plus élevée au troisième mois de conservation. Cette teneur a progressivement baissé à partir du quatrième mois. Celle des farines composées 75 % riz-25 % niébé et 75 % riz-15 % niébé-10 % arachide a par contre progressivement augmenté jusqu'à 9 % au sixième mois de conservation. Jusqu'au quatrième mois de conservation, des différences significatives ont été enregistrées entre les teneurs en eau des farines composées avec une probabilité inférieure ou égale à 0,001 ( $Pr \leq 0,001$ ). Au cours des 4 premiers mois, la Plus Petite Différence Significative (PPDS) des farines composées 75 % riz-15 % niébé-10 % arachide, 75 % riz-25 % niébé et 75 % riz-25 % soja, a été respectivement 0,66 ; 0,83 ; 0,59 et 0,72. La figure 1 présente l'évolution de la teneur en eau dans les farines composées à base de riz conservées.

#### 3.1.2. Acidité grasse des farines composées conservées

L'acidité grasse des trois farines composées a progressivement augmenté au cours de la conservation. La farine composée contenant le soja a eu le plus faible taux d'acidité grasse qui a été de 0,04 g d'acide sulfurique pour 100 g de farine. Celle contenant le niébé et l'arachide a présenté une acidité grasse trois fois supérieure à celle de la farine contenant le soja au septième mois de conservation. Des différences significatives ont été enregistrées entre l'acidité grasse des farines composées à partir du 4<sup>e</sup> mois de conservation ( $P \leq 0,001$ ). À partir du quatrième mois, la Plus Petite Différence Significative (PPDS) pour l'acidité des farines composées 75 % riz-15 % niébé-10 % arachide ; 75 % riz-25 % niébé et 75 % riz-25 % soja a été respectivement 0,019 ; 0,018 ; 0,018 et 0,020. La figure 2 présente les teneurs en acidité grasse des farines composées conservées.

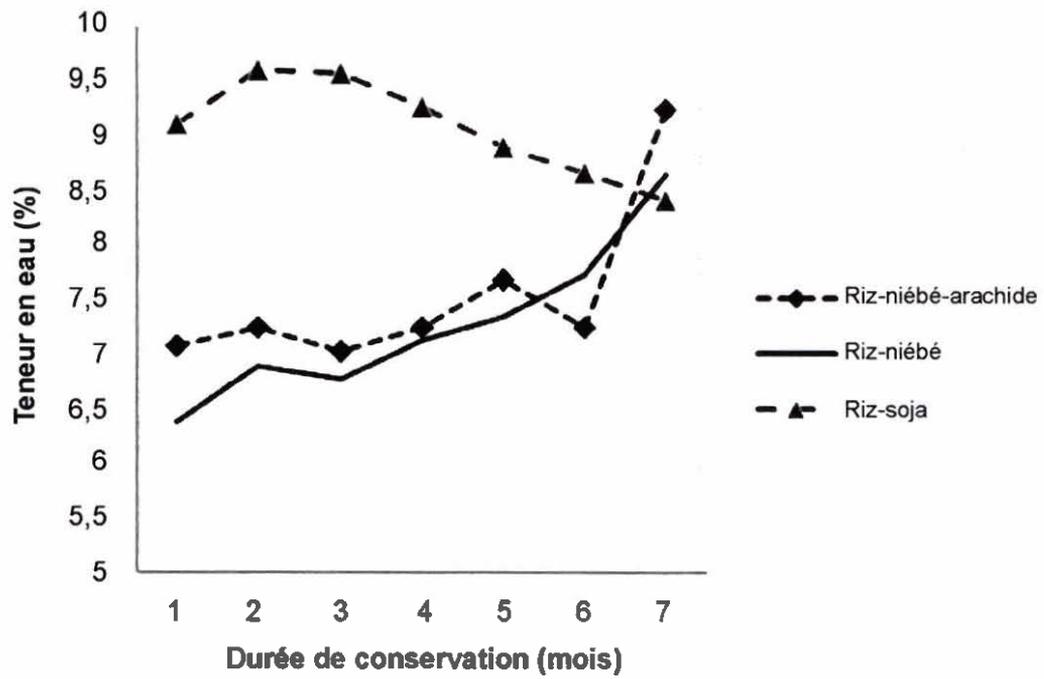


Figure 1. Teneur en eau des farines composées conservées

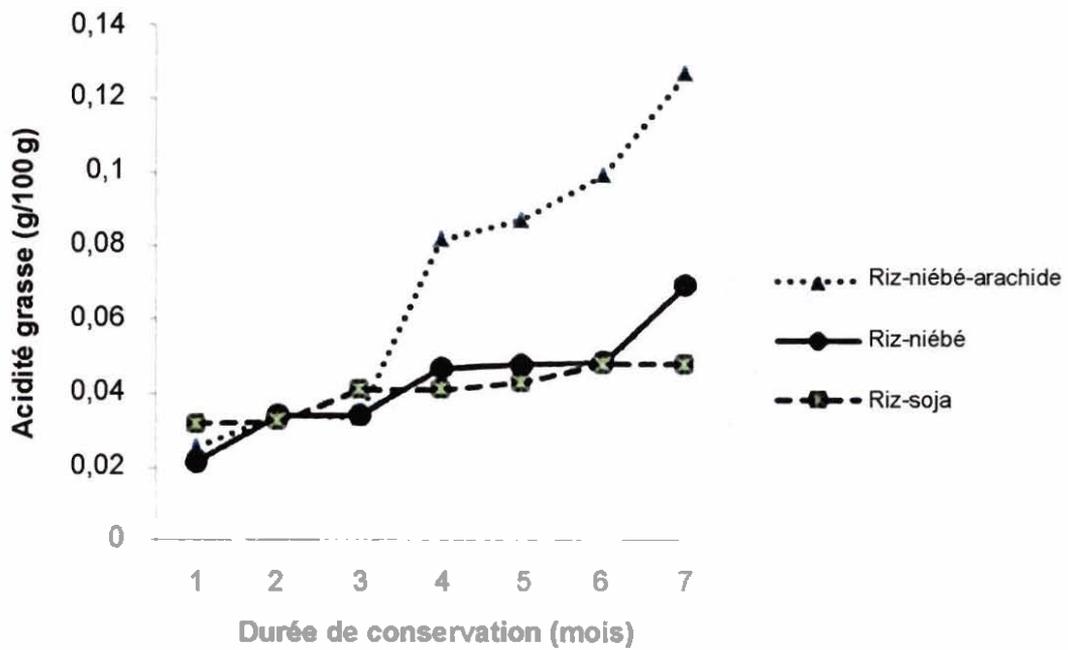


Figure 2. Acidité des farines conservées

### 3.2. Conservation du RIAL, du Djouka et du Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante précuits à base de riz

#### 3.2.1. Teneur en eau des mets précuits au cours de la conservation

Les teneurs en eau de la farine précuite instantanée RIAL (Riz-Arachide-Lait) et du Djouka ont progressivement augmenté à partir du deuxième mois de conservation sans atteindre 6% à la fin de la conservation. Par contre, le couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante a présenté la teneur en eau la plus élevée dès le début de la conservation. Cette teneur a également augmenté sans atteindre 10% d'humidité durant toute la durée de la conservation. Des différences hautement significatives ont été observées entre la teneur en eau du couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante et celles des deux autres mets précuits, RIAL et Djouka jusqu'au quatrième

mois. La probabilité était inférieure ou égale à 0,001 ( $P \leq 0,001$ ). La figure 3 indique les teneurs en eau des mets précuits conservés.

#### 3.2.2. Acidité grasse du RIAL, du Djouka et du Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante conservés

Les teneurs en acidité grasse des mets précuits ont varié de 0,02 à 0,14 g d'acide sulfurique/100 g de matière sèche. Des différences hautement significatives ont été observées entre l'acidité des aliments à partir du 5<sup>e</sup> mois de la conservation ( $P \leq 0,001$ ). La Plus Petite Différence Significative a varié de 0,023 à 0,064. La teneur en acidité grasse du couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante, après 5 mois de conservation, a été deux fois supérieure à celle des deux autres mets précuits, Djouka et RIAL. Pendant toute la durée de la conservation, le couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante a présenté la plus forte acidité (Figure 4).

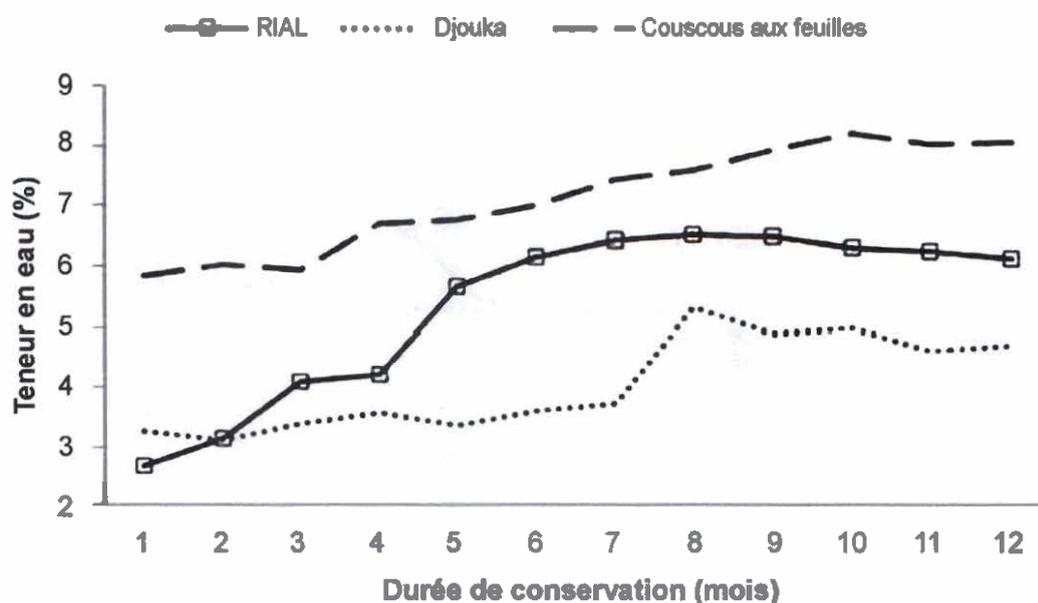


Figure 3. Teneur en eau des mets précuits conservés

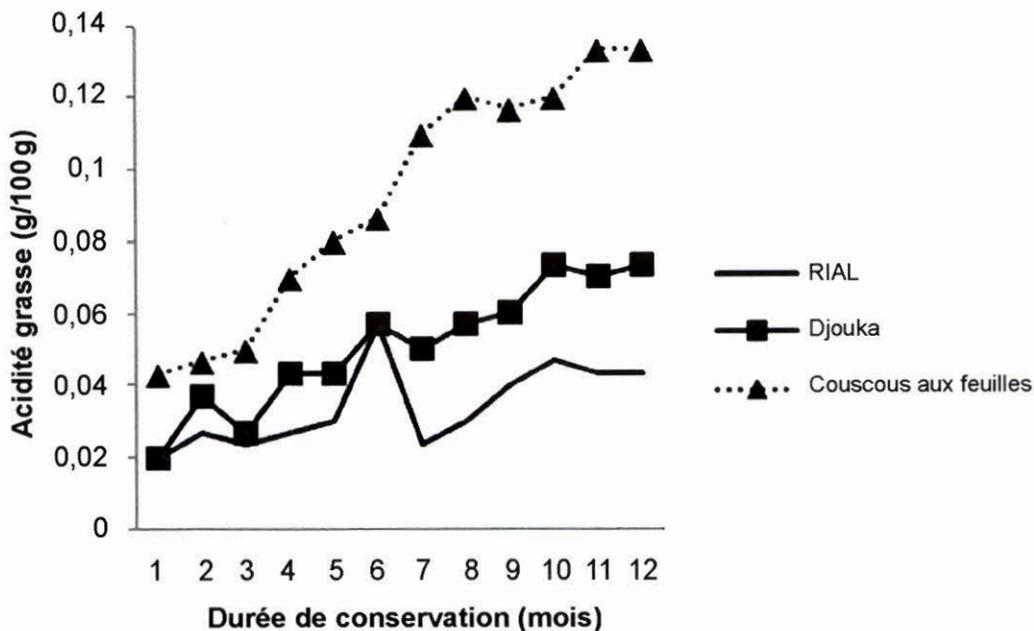


Figure 4. Acidité du RIAL, du Djouka et du Couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante conservés

## IV. Discussion

### 4.1. Conservation des farines de compléments

Toutes les farines composées avaient une teneur en eau inférieure à 10% favorable à une conservation de longue durée. Des études ont révélé que les aliments riches en matières grasses et ayant une faible teneur en eau, inférieure à 6%, étaient rapidement sujets à l'oxydation (Sidibé, 1996 ; Woodroof, 1973). Dans cette étude, ces farines, bien qu'ayant des teneurs en eau inférieures à ce taux, n'ont pas présenté des signes de détérioration oxydative.

La stabilité de ces farines enrichies peut s'expliquer par le fait qu'elles proviennent de grains bien dégermés ayant une faible teneur en eau (inférieure à 10%) et en lipides (inférieure à 5%). Aucune des farines enrichies conservées n'a atteint le seuil d'induction de la rancidité des farines de 0,4 g d'acide sulfurique, seuil au-delà duquel commence le développement des odeurs de détérioration des lipides (Dramé et al., 1999). L'arachide qui est très riche en

matière grasse, a été utilisée au taux de 10% dans la farine composée riz-niébé-arachide afin de favoriser une longue conservation. Son utilisation dans les farines composées favorise l'amélioration de l'énergie et des apports en minéraux de l'aliment.

Dans l'ensemble, les farines de complément n'ont pas montré de signe de détérioration oxydative pendant les 7 mois de conservation. Ainsi, aucun développement de rancissement ou de développement de mauvaise odeur n'a été indiqué. Ce qui implique que les caractéristiques organoleptiques telles que l'arôme des farines n'ont pas été affectées au cours de la conservation.

### 4.2. Conservation des mets précuits

Des fluctuations de teneur en eau observées au cours de la conservation du Djouka, pourraient être dues aux variations de température et d'humidité du milieu de conservation. L'augmentation progressive de la teneur en eau du RIAL et du couscous aux feuilles conservés peut aussi s'expliquer par l'augmentation de l'humidité du milieu de conservation. Ces

plats au cours de la transformation ont été étuvés, torréfiés et séchés. Ce qui a provoqué la gélatinisation de l'amidon et la réduction considérable de la teneur en eau. Puisque la teneur en eau n'a pas dépassé les 12%, tous les aliments sont favorables à une longue durée de conservation. Le seuil d'induction de l'acidité des farines ou des aliments riches en matières grasses est de 1 g d'acide sulfurique/100 g et celui des farines simples et de couscous aux feuilles est de 0,4 g d'acide sulfurique/100 g de matière sèche. Or aucun de ces aliments n'a atteint ces seuils de rancidité, impliquant qu'aucune rancidité ne s'est développée au cours de la conservation. Les résultats ont montré que tous les trois mets précuits étaient stables au cours de leur conservation.

## V. Conclusion

Au cours de la conservation, les farines composées à base de riz et de légumineuses (niébé, soja et arachide), le Djouka et le couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante ont présenté des taux d'acidité inférieurs au seuil d'induction de l'acidité des farines (0,4 g d'acide sulfurique/100 g de matière sèche) et de celles des produits riches en lipides tels que le Djouka (1 g d'acide sulfurique). Ces produits étaient stables durant toute la période de conservation. Ils peuvent être consommés pendant 7 à 12 mois sans détérioration oxydative (rancidité).

Les aliments de compléments composés de farines composées à cuire sont disponibles dans plusieurs localités, mais la fréquence de la consommation est affectée par les multiples occupations des mamans. Le RIAL Instant, aliment de complément pour les enfants prêt pour la consommation ayant une longue durée de conservation pourrait contribuer à réduire la malnutrition chez les enfants. Le Djouka et le couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante qui peuvent être conservés pour une utilisation ultérieure, constituent des produits transformés ayant une valeur ajoutée. La transformation de ces produits peut constituer une source d'activité génératrice de revenus et de création d'emplois. Au Djouka de fonio qui

est de nos jours exporté dans la sous-région et en Europe par les maliens peut s'ajouter le Djouka de riz pour une diversification de l'alimentation.

## VI. Remerciements

- Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles (CORAF)
- Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO)
- Comité National de la Recherche Agricole (CNRA)
- Institut d'Économie Rurale (IER)
- Centre National de Spécialisation en Riz (CNZ-Riz)

## VII. Références

- GIESE JAMES, 1996. Antioxydants: tool for preventing lipid oxidation. *Food Technology*, November, 50:11:73-76 NY
- NGALANI JOSEPH ANTOINE, 2000. Principes de la conservation des aliments. Document présenté à l'atelier de formation des femmes sur les technologies de transformation des produits alimentaires, Yaoundé, Cameroun. 19 p
- DRAMÉ DJIBRIL, SALIMATA SIDIBÉ COULIBALY et BERTHÉ AÏSSATA BENGALY, 1999. Recueil de Méthodes d'Analyse des céréales. Institut d'Économie Rurale, Mali.
- OUSMANE KANE, 1994. Données générales sur la technologie alimentaire: Application à la préservation des denrées. Centre régional Africain de technologie, Dakar, Sénégal. 22 p.
- SIDIBÉ SALIMATA C., 1996. Oxidative Deterioration of Peanut Oil and Low-fat Flour Prepared by using Supercritical Carbone Dioxide. Thesis of Master of Science, North Carolina A&T State University, Greensboro, North Carolina (Etats-Unis).
- WOODROOF, J. G., 1973. Peanuts production, processing, products, 2/e. Westport Connecticut. The AVI Publishing Company Inc.

# Réponse du riz au phosphore et au potassium sur les sols du delta vif du fleuve Niger

## Rice response to phosphorus and potassium on active delta's soil of Niger River

Doumbia Y.<sup>1\*</sup>, Kamissoko N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut d'Economie Rurale, BP 258, Bamako, Mali.

\*Tél. : +223 66 72 54 23 / 76 14 29 97 - Courriel : yacoudoumbia55@yahoo.fr

### Résumé

Les sols du Delta, fertiles au moment de leur mise en valeur, connaissent actuellement un problème de fertilité. Ce problème, favorisé par le système de culture extensif, se traduit par des faibles rendements, voir l'abandon des parcelles. Ainsi, nous avons conduit des expérimentations pour identifier les causes des faibles rendements et établir des recommandations pour ces sols. Les essais implantés sur vertisol et sur sol ferrugineux comportaient quatre niveaux de phosphore et de potassium. Les résultats ont montré une forte relation entre le rendement et les apports de phosphore et de potassium. La déficience en phosphore est plus importante que celle du potassium.

Pour un objectif de rendement de 6000 kg ha<sup>-1</sup> de paddy sur vertisol, il faut 20 kg ha<sup>-1</sup> de P et 75 kg ha<sup>-1</sup> de K. La dose de K peut être réduite en augmentant celle de P soit 40 kg ha<sup>-1</sup> de P et 50 kg ha<sup>-1</sup> de K.

Sur sol ferrugineux, l'obtention d'un rendement de plus de 4000 kg ha<sup>-1</sup> nécessite un apport de 50 kg ha<sup>-1</sup> de K et 40 kg ha<sup>-1</sup> de P. Il existe un facteur limitant. Quelles que soient les doses de phosphore et de potassium, le rendement ne dépasse pas 5000 kg ha<sup>-1</sup>.

L'interaction entre le phosphore et le potassium varie d'une saison à une autre.

**Mots clés :** phosphore, potassium, riz irrigué, rendement, sol ferrugineux, vertisol.

### Abstract

Fertile during their set up, soils of Delta currently have a fertility problem. The problem, promoted by the extensive cropping system, results in low yields or even abandoned plots. Therefore, we conducted experiments to identify the causes of the low yields and to make recommendations for these soils. Trials implanted on vertisol and ferruginous soil have four levels of phosphorus and potassium. From this experiment, we have observed a strong relationship between yield and phosphorus and potassium inputs. Phosphorus deficit is more important than that of potassium.

For a yield target of 6000 kg of rice paddy on vertisol, it should have at least 20 kg ha<sup>-1</sup> of P and 75 kg ha<sup>-1</sup> of K.

On ferruginous soil, yield of more than 4000 kg ha<sup>-1</sup> of rice paddy necessitate a supply of at least 50 kg ha<sup>-1</sup> of K and 40 kg ha<sup>-1</sup> of P. On this soil, it exists a limiting factor, no matter the level of phosphorus and potassium supplied, the yield does not exceed 5000 kg ha<sup>-1</sup>.

The interaction between phosphorus and potassium changes from one season to another.

**Key words:** Phosphorus, potassium, irrigated rice, yield, vertisol, ferruginous soil, Active Delta.

## I. Introduction

La riziculture irriguée est essentiellement pratiquée au Mali dans la zone de l'Office du Niger située dans le Delta Central du Fleuve Niger. La pratique, dans cette zone, d'abord extensive, a ensuite évolué vers un système de riziculture plus intensif par l'aménagement des parcelles de culture et l'adoption de technologies agricoles appropriées. Cependant, à l'analyse, le constat a été que, dans le système extensif, les exportations importantes des éléments azote (N), phosphore (P) et potassium (K) n'ont pas été compensées par la fertilisation qui était à base d'azote et de phosphore conduisant à un appauvrissement surtout en phosphore et potassium. Dabin, 1951 et Toujan, 1980 ont indiqué une forte baisse de la teneur en potassium. Des études plus récentes ont mis en évidence un bilan négatif pour les éléments P et K (Dembel et *al.*, 1999) et la nécessité de l'apport de phosphate dans un essai de fertilisation avec le phosphate naturel de Tilemsi et le phosphore soluble (PRI, 1990). Ainsi, dans le Macina, en zone Office du Niger, l'utilisation de potassium a entraîné une augmentation de 30 à 40 % du rendement du riz (PRI, 1994). L'objectif de cette étude était de déterminer la réponse du riz au phosphore et au potassium tout en prenant en compte l'interrelation entre le phosphore et le potassium.

## II. Matériel et méthodes

### 2.1. Matériel

#### 2.1.1. Sites d'étude et caractéristiques des sols

Les essais ont été conduits en 1997, 1998 et 1999 dans le Macina en zone Office du Niger. Cette zone située au Centre Sud du Mali est appelée Delta vif. Elle est constituée par les plaines basses qui bordent la rive gauche du Niger et qui sont actuellement inondées en période de crue (province du Macina et du Diaka).

Les essais ont été implantés sur deux types de sol dont un sol ferrugineux tropical et un

vertisol. Sur ces sols, la monoculture du riz est pratiquée depuis plus d'une quarantaine d'années. Ces sols se différencient par le pH, la granulométrie et la teneur en bases échangeables.

#### 2.1.2. Matériel végétal

La variété Kogoni 91-1, largement cultivée dans le périmètre a été utilisée. Cette variété utilisée dans le cadre de l'intensification de la riziculture est issue de croisement fait à la station de Kogoni entre Gambiaka Kokum et la variété IR 34. Elle est de courte taille et très productive (7 à 8 t ha<sup>-1</sup>).

### 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. Le potassium a été déterminé à partir de l'extrait de 0,1 M HCl + 0,2 M d'acide oxalique. La détermination de la CEC a été faite à partir d'une solution d'acétate d'ammonium. Les bases échangeables ont été déterminées à partir de solution d'acide chlorhydrique, d'acétate d'ammonium de Na, K, Ca et Mg. Le Na et le 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 dispositif est un factoriel en blocs avec quatre niveaux de phosphore et quatre niveaux de potassium. Les parcelles élémentaires avaient une surface de 30 m<sup>2</sup> avec une allée de 0,50 m entre les parcelles. Les traitements ont été répétés 4 fois et les blocs étaient séparés par des allées de 1 m.

Le phosphate d'ammoniaque (DAP) et le chlorure de potassium ont été apportés au moment du repiquage. Les traitements sans P ont reçu l'équivalent de l'azote apporté à partir du DAP. L'azote a été apporté essentiellement sous forme d'urée en complément minéral (CM) sur tous les traitements au tallage et à l'initiation paniculaire à la dose de 150 N ha<sup>-1</sup>.

Les traitements sont constitués par la combinaison de quatre niveaux de phosphore (0, 20, 40, 60 kg ha<sup>-1</sup> de P) et quatre niveaux de potassium (0, 25, 50, 75 kg ha<sup>-1</sup> de K).

### 2.2.3. Collecte et analyse des données

À maturité, la récolte a été effectuée sur les lignes centrales en éliminant deux lignes de chaque côté et les poids paddy ont été ramenés à 14 % d'humidité.

L'analyse statistique a été faite avec le STATITCF. Le test de NEWMAN et KEULS a été utilisé pour séparer les moyennes.

L'efficacité agronomique des engrais a été évaluée. Cette efficacité correspond à la quantité de paddy produit par kg de phosphore ou de potassium appliqué. Elle est obtenue à partir du rapport de la différence (rendement paddy obtenu avec la dose testée-celui du témoin absolu) sur la quantité d'engrais apportée.

## III. Résultats

### 3.1. Effet du phosphore et du potassium sur le rendement du riz

Sur les sols ferrugineux, les résultats d'analyse des variables mesurées figurent dans les tableaux 1, 2, 3. Les rendements moyens pour les campagnes 1997, 1998 et 1999 ont varié de 3 617 kg ha<sup>-1</sup> à 4 110 kg ha<sup>-1</sup>.

En 1997, il y a eu une interaction significative entre les niveaux de phosphore et de potassium sur le rendement du riz (Tableau I). Les différentes doses de phosphore et de potassium ont eu un effet significatif sur le rendement du riz. Les rendements ont varié de 1 393 à 5 857 kg ha<sup>-1</sup>. Le rendement moyen de l'essai a été de 3 918 kg ha<sup>-1</sup>.

En 1998, il y a eu des effets simples des niveaux de phosphore et de potassium (Tableau II). Avec l'apport des différentes doses de phosphore, les rendements ont varié de 2 913 à 4 908 kg ha<sup>-1</sup>. Les rendements pour les doses de potassium ont oscillé entre 3 576 et 4 962 kg ha<sup>-1</sup>. Le rendement moyen de l'essai a été de 4 110 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tableau I.** Analyse de variance sur rendement du riz en fonction des doses de P et K sur sol ferrugineux à Darsalam (Hivernage 1997).

Doses de P (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendement (kg ha <sup>-1</sup> )				Moyennes
	Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )				
	0	25	50	75	
0	1393 e	3170 cd	3831 bcd	3696 cd	3022
20	3679 cd	3464 cd	4125 bcd	3866 cd	3946
40	3589 cd	4072 bed	4786 abc	5420 ab	4466
60	2456 d	3866 bed	4777 abc	5857 a	4239
Moyennes	2779	3643	4379	4873	
Signification					
Effet P			HS		
Effet K			HS		
Interaction P x K			S		
CV %			18,4		

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

En 1999, l'interaction a été significative entre les niveaux de phosphore et de potassium (Tableau III). Les meilleurs rendements ont été obtenus avec les combinaisons des fortes doses. Ces rendements ont varié de 4780 kg ha<sup>-1</sup> pour la combinaison 40 kg ha<sup>-1</sup>

de P et 50 kg ha<sup>-1</sup> de K à 5857 kg ha<sup>-1</sup> pour la combinaison 60 kg ha<sup>-1</sup> de P et 75 kg ha<sup>-1</sup> de K. Les rendements de la campagne 1999 ont été relativement faibles à cause des pluies intenses qui ont affecté le tallage du riz. Le rendement moyen de l'essai a été de 3617 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tableau II.** Analyse de variance sur quelques variables agronomiques en fonction des doses de P et K sur sol ferrugineux dans le Macina à Darsalam (Hivernage 1998)

Facteurs	Variables				
	Talles (m <sup>2</sup> )	Panicules (m <sup>2</sup> )	Hauteur (cm)	Rendement paddy (kg ha <sup>-1</sup> )	Poids 1000 grains (g)
Doses de P (kg ha <sup>-1</sup> )					
0	251 b	247 b	86 b	2913 c	27 c
20	285 a	281 a	88 ab	3949 b	28 b
40	289 a	286 a	93 a	4815 a	29 a
60	295 a	292 a	91 ab	4908 a	29 a
Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )					
0	227 d	223 d	79 c	3576 c	27 b
25	269 c	265 c	89 b	3656 c	28 a
50	298 b	295 b	94 a	4390 b	29 a
75	327 a	323 a	95 a	4962 a	29 a
Moyennes	280	277	89	4110	28
Effet P	NS	HS	S	HS	HS
Effet K	NS	HS	HS	HS	HS
Interaction P x K	HS	S	NS	NS	NS
CV %	13,5	13,5	7,5	16,4	3,5

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

**Tableau III.** Interaction entre le phosphore et le potassium pour le rendement paddy sur sol ferrugineux à Darsalam dans le Macina (Hivernage 1999)

Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendement paddy (kg ha <sup>-1</sup> )				Moyennes
	Doses de P (kg ha <sup>-1</sup> )				
	0	20	40	60	
0	1643 g	2932 ef	3679 cde	3920 bcd	2295
25	2446 gf	3205 def	4036 bcd	4206 bc	3475
50	2616 f	2982 ef	4607 ab	5107 a	3828
75	2473 f	3571 cde	5196 a	5250 a	4123
Moyennes	2295	3173	4379	4621	3617
Effet P			HS		
Effet K			HS		
Inter P x K			S		
CV %			11,6		

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

Sur les vertisols, les résultats d'analyse des paramètres mesurés sont présentés dans les tableaux IV, V, VI. Les rendements moyens obtenus sur ce type de sol ont été plus élevés que sur sol ferrugineux.

En 1997, il y a eu un effet simple des différentes doses de phosphore et de potassium (Tableau IV), les rendements moyens ont varié de 2 625 à 4 873 kg ha<sup>-1</sup> pour les doses de phosphore et de 3 022 à 4 466 kg ha<sup>-1</sup> pour les doses de potassium.

En 1998, l'effet des différentes doses de phosphore et de potassium a été hautement significatif sur le rendement du riz (Tableau V). L'interaction entre les niveaux de phosphore et de potassium a été hautement significative. Les rendements ont été relativement élevés et ont varié de 2 507 kg ha<sup>-1</sup> à 7 722 kg ha<sup>-1</sup>.

En 1999, l'effet des doses de phosphore et de potassium sur le rendement du riz a été simple (Tableau VI). Les rendements moyens ont varié de 3 703 à 6 073 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tableau IV.** Analyse de variance sur le rendement en fonction des doses de phosphore et potassium sur vertisol dans le Macina à Darsalam (Hivernage 1997)

Doses de P (kg ha <sup>-1</sup> )	Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )				Moyennes
	0	25	50	75	
0	1111	3138	3555	4924	3182 c
20	1743	4319	5111	5958	4283 b
40	4764	5299	5708	6097	5467 a
60	2882	4461	5750	6285	4845 ab
Moyennes	2625 d	4304 c	5031 b	5816 a	4444
Signification					
Phosphore			HS		
Potassium			HS		
Interaction			NS		
CV %			22,1		

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

**Tableau V.** Interaction entre le phosphore et le potassium sur vertisol pour la variable rendement paddy kg ha<sup>-1</sup> à Darsalam dans le Macina (Hivernage 1998)

Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )	Doses de P (kg ha <sup>-1</sup> )				Moyennes
	0	20	40	60	
0	2507 g	3937 e	5069 cd	5076 cd	4147
25	4319 de	5479 c	6819 ab	7333 ab	5988
50	3319 f	6757 b	7078 ab	7319 ab	6118
75	4819 cd	6805 ab	7500 ab	7722 a	6712
Moyennes	3741	5745	6617	6863	5741
Effet phosphore			HS		
Effet potassium			HS		
Interaction P x K			HS		
CV %			7,4		

Les chiffres suivis par les mêmes lettres sont statistiquement équivalents au seuil de 1 %.

**Tableau VI.** Analyse de variance des variables agronomiques des doses de phosphore en fonction des doses de potassium sur vertisol à Darsalam dans le Macina (Campagne 1999)

Facteurs	Variables				
	Talles (m <sup>2</sup> )	Panicules (m <sup>2</sup> )	Hauteur (cm)	Poids paddy (kg ha <sup>-1</sup> )	Poids 1000 grains (g)
Doses de P (kg ha <sup>-1</sup> )					
0	222	217	83,69 c	3703 c	30,16 b
20	305	295	94,38 b	5182 b	30,96 b
40	295	291	99 a	5891 a	32,03 a
60	297	293	101,44 a	6073 a	32,22 a
Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )					
0	231	228	93,75	5120 ab	30,98
25	273	262	93,25	4970 b	31,36
50	297	292	94,75	5264 ab	31,06
75	318	314	96,75	5440 a	31,36
Moyennes	280	274	94,63	5213	31,19
Effet phosphore	HS	HS	HS	HS	HS
Effet potassium	HS	HS	NS	S	NS
Interaction P x K	NS	HS	NS	NS	NS
CV %	6,3	6,4	5,8	8,4	2,9

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

### 3.2. Relation entre le rendement et le phosphore appliqué

Les relations entre le rendement et les doses de phosphore en fonction des quantités de potassium apportées sur les deux types de sol ont été établies sur les trois années d'expérimentation (Figures 1 et 2).

### 3.3. Relation entre le rendement et le potassium appliqué

Le rendement du riz a augmenté avec les doses croissantes de potassium. Cette augmentation s'exprime différemment selon qu'il s'agisse d'un sol ferrugineux ou d'un vertisol. Sur sol ferrugineux, le rendement a augmenté de façon linéaire jusqu'à la dose de 75 kg ha<sup>-1</sup> de K avec un coefficient de détermination de 0,997 (Figure 3).

Sur vertisol, l'augmentation est devenue moins importante à partir de 50 kg ha<sup>-1</sup> de K et la relation rendement et potassium appliqué a été mieux décrite par une équation de type quadratique avec un coefficient de détermination de 0,998.

Sur ces deux types de sol, le coefficient de détermination a été très élevé et indique une forte relation entre le potassium appliqué et le rendement.

### 3.4. Efficience Agronomique du phosphore et du potassium

Les efficacités agronomiques du phosphore (P) pour les doses de potassium (K) et du K par rapport aux doses de P sont présentées dans les figures 4 et 5.

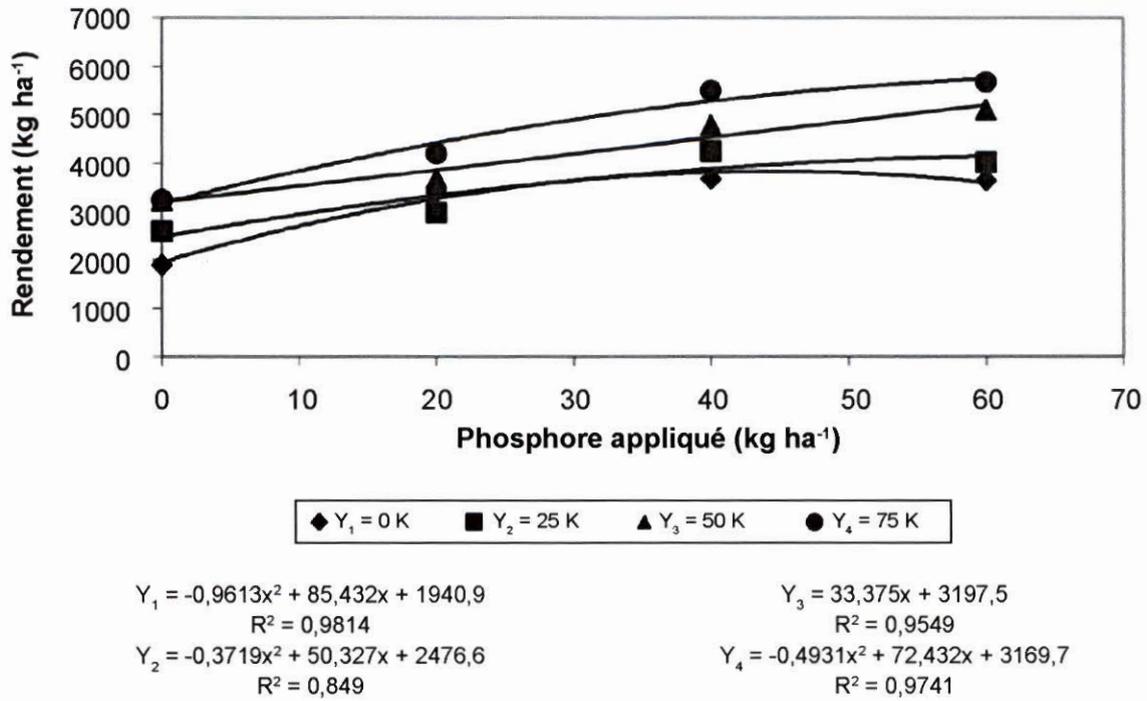


Figure 1. Réponse du riz au phosphore pour les doses de potassium sur sol ferrugineux

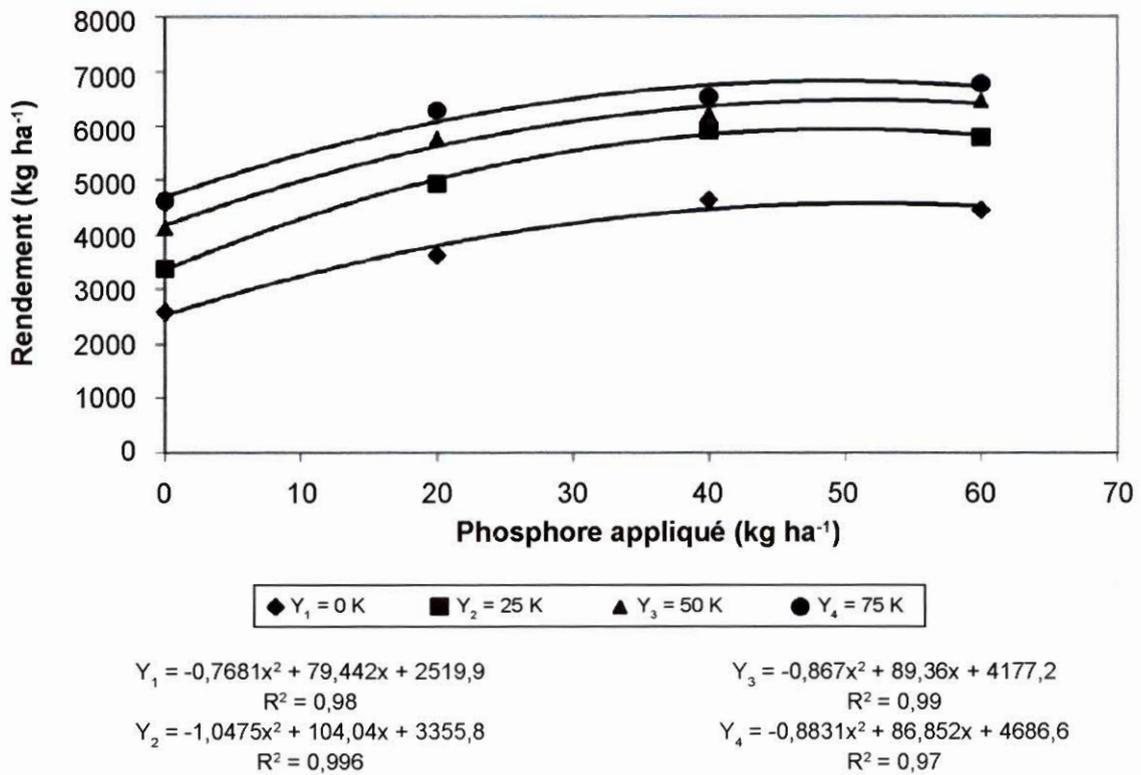


Figure 2. Réponse du riz au phosphore pour les doses de potassium sur vertisol

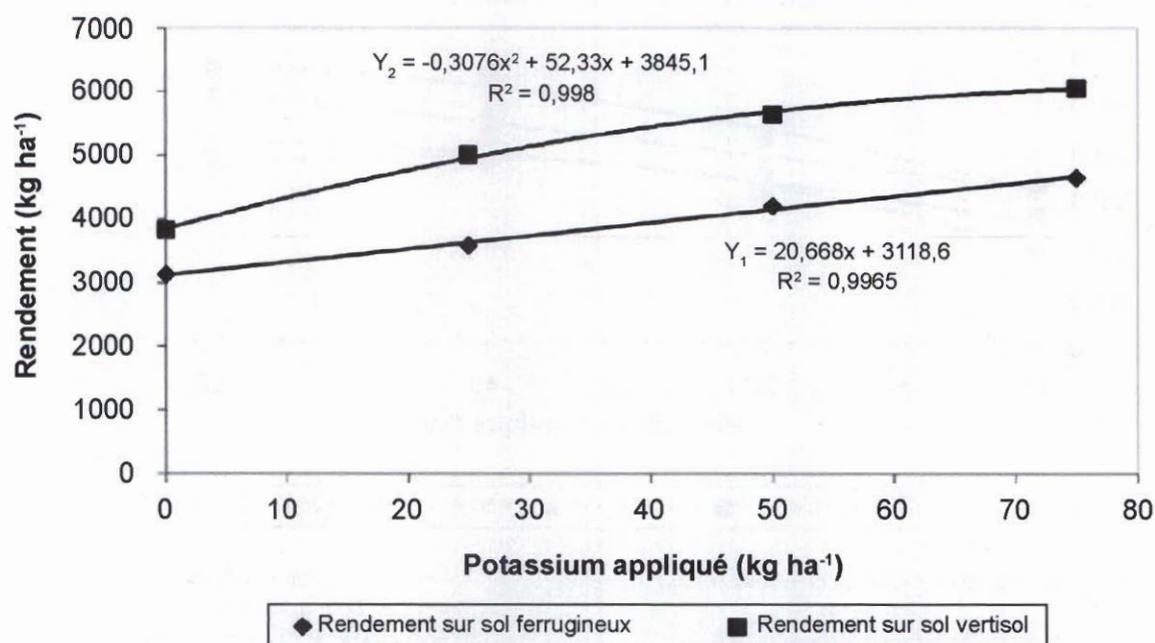


Figure 3. Relation entre rendement et potassium appliqué sur deux types de sol.

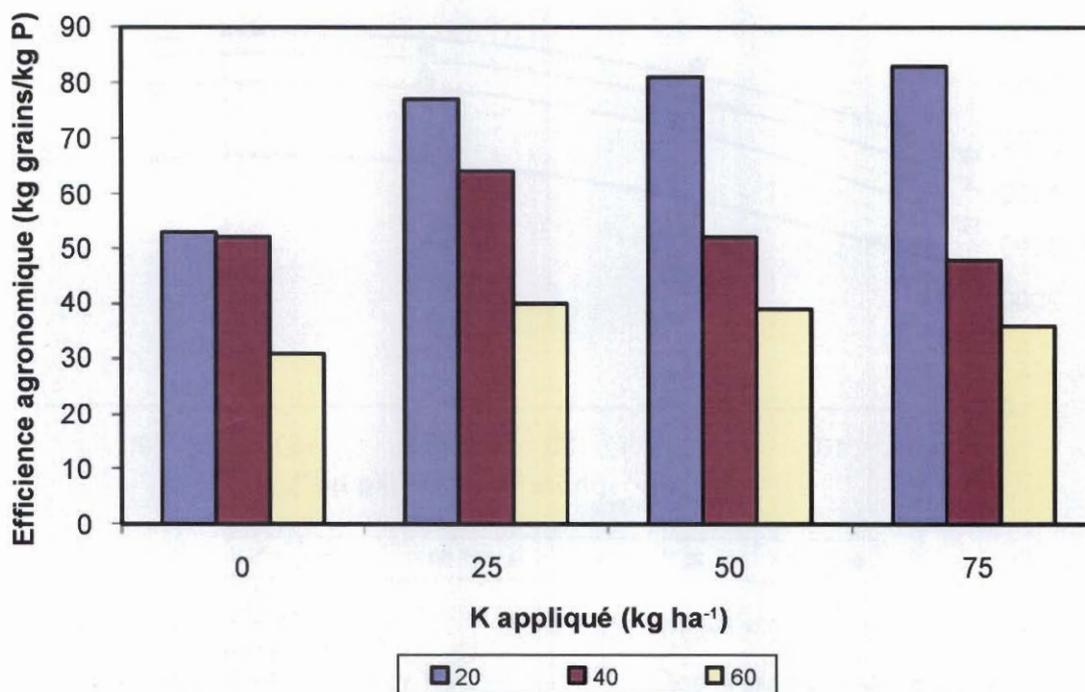


Figure 4. Efficacité agronomique du P en fonction des doses de K sur vertisol

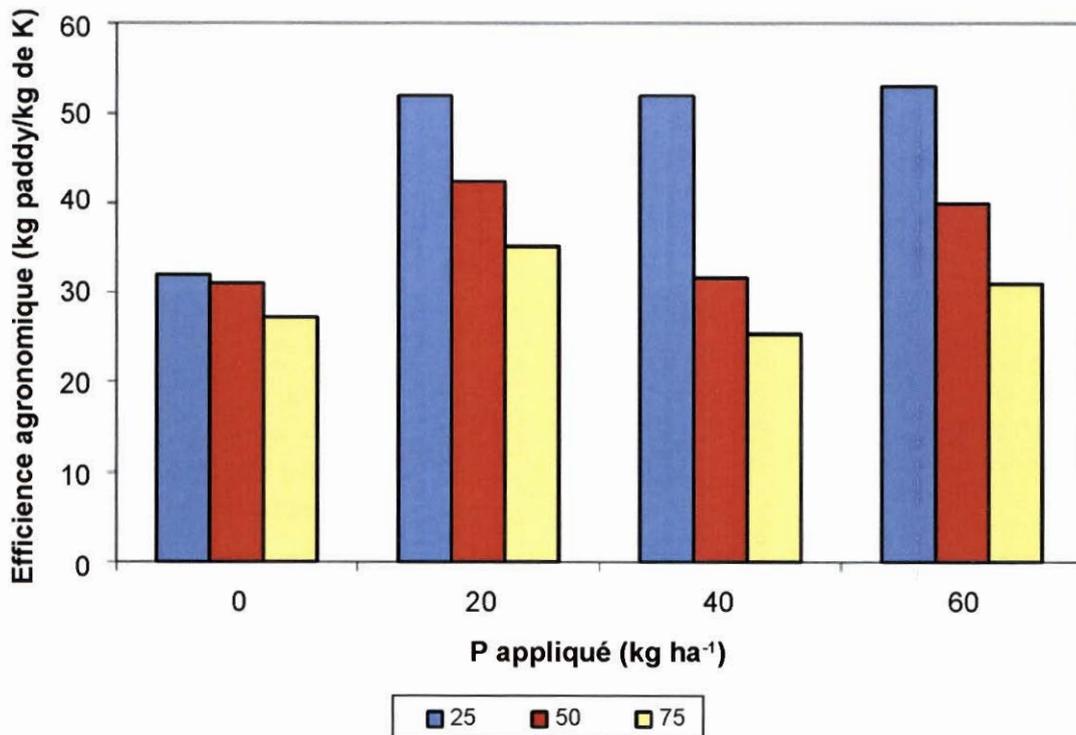


Figure 5. Efficacité agronomique du K en fonction des doses de P sur vertisol

## IV. Discussion

### 4.1. Effet du phosphore et du potassium sur le rendement du riz

En 1997, une interaction significative a été observée entre les niveaux de phosphore et de potassium sur le rendement du riz (Tableau I). Les rendements sont passés de 1393 kg ha<sup>-1</sup> pour le traitement sans phosphore et sans potassium à 5 857 kg ha<sup>-1</sup> pour les fortes doses de phosphore et de potassium de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P et 75 kg ha<sup>-1</sup> de K. Les meilleurs rendements ont été obtenus avec les combinaisons de 40 kg ha<sup>-1</sup> de P et 50 kg ha<sup>-1</sup> de K.

Compte tenu des besoins élevés, le phosphore demeure un des facteurs limitants du rendement sur ces sols.

Par ailleurs, avec de fortes doses de potassium, les faibles doses de phosphore donnent de faibles rendements. Une co-précipitation du

potassium avec le phosphore (Cole et Jackson, 1950 ; Haseman *et al.*, 1950 ; Lindsay *et al.*, 1962) pourrait expliquer ce phénomène. En effet, l'implication du potassium dans la précipitation du phosphore est assez prononcée dans les sols ayant une teneur élevée de potassium échangeable (Adam, 1980).

En l'absence de potassium, l'efficacité agronomique du phosphore a été plus élevée pour un apport de 20 kg ha<sup>-1</sup> de P. Elle a été de 114,3 kg de paddy par kg d'engrais. Tout apport de potassium, même à faible dose, diminue fortement cette efficacité. Suivant les doses de potassium, elle peut atteindre 74 kg de paddy par kg de P appliqué.

L'efficacité du potassium a varié en fonction de la dose de phosphore appliquée. En l'absence de phosphore, la dose de 25 kg ha<sup>-1</sup> de K a donné la grande efficacité agronomique avec 71,08 kg de paddy par kg de potassium appliqué.

En 1998, il y a eu des effets simples des doses de phosphore et de potassium. L'apport des fortes doses de phosphore ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de P) et de potassium ( $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K,  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K) a permis d'avoir les rendements les plus élevés. Les rendements ont varié de  $2\,913$  à  $4\,908 \text{ kg ha}^{-1}$  pour les doses de phosphore et de  $3\,576$  à  $4\,962 \text{ kg ha}^{-1}$  pour les doses de potassium.

À l'instar de la première année, l'efficacité agronomique la plus grande a été obtenue avec la faible dose de P et de K. Pour une même dose de phosphore, cette efficacité décroît avec l'augmentation de la dose de potassium.

En 1999, les rendements ont été relativement faibles par rapport aux années précédentes. Les fortes pluies en début de campagne ont affecté la mise en place et le tallage. Compte tenu de l'interaction significative, les meilleurs rendements ont été obtenus avec les quatre traitements qui combinent les moyennes et fortes doses de P et K ( $40 \text{ P-}50 \text{ K}$  ;  $60 \text{ P-}50 \text{ K}$  ;  $40 \text{ P-}75 \text{ K}$  ;  $60 \text{ P-}75 \text{ K}$ ). Ces rendements ont varié de  $4\,780 \text{ kg ha}^{-1}$  pour la combinaison  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de P et  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K à  $5\,857 \text{ kg ha}^{-1}$  pour la combinaison  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de P et  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K.

Ces résultats ont confirmé les besoins en phosphore de ces sols cultivés où la submersion augmenterait significativement la disponibilité du phosphore (Broeshart *et al.*, 1965).

Sur les vertisols, les rendements moyens ont été relativement plus élevés que sur sol ferrugineux. Cette situation pourrait s'expliquer par les teneurs en phosphore assimilable beaucoup plus élevées sur ce type de sol que sur sol ferrugineux.

En première année (1997), les rendements paddy sont passés de  $1\,111 \text{ kg ha}^{-1}$  pour les traitements sans phosphore et sans potassium à  $6\,285 \text{ kg ha}^{-1}$  pour les fortes doses de phosphore et de potassium ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de P -  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K). Il y a eu un effet des différents niveaux de phosphore et de potassium sur le rendement du riz (Tableau VI). Les meilleurs rendements ont été obtenus avec l'apport de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$

de P ( $5\,467 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Quant au potassium, il a fallu  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  pour avoir le rendement le plus élevé.

En 1998, les rendements ont été relativement élevés avec  $2\,507 \text{ kg ha}^{-1}$  pour la parcelle sans P et K et  $7\,722 \text{ kg ha}^{-1}$  pour les parcelles ayant reçu  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de P et  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K. Avec l'interaction entre les doses de P et de K (Tableau V), les meilleurs rendements ont été obtenus avec les combinaisons de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de P plus  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K et  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  de K plus  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de P. Aussi, les combinaisons de faible dose de P et forte dose de K ou de faible dose de K et forte dose de P ont permis d'avoir des rendements équivalents à ceux obtenus par les combinaisons de fortes doses.

Concernant l'année 1999, l'effet simple du phosphore a été perçu à partir de  $20 \text{ kg P ha}^{-1}$  (Tableau VI). Les meilleurs rendements ont été obtenus avec  $40$  et  $60 \text{ kg P ha}^{-1}$ . Ces résultats ont confirmé les besoins en phosphore évoqués par Stephan *et al.* (2013) surtout pour des objectifs de rendements élevés. L'effet du potassium n'a pas été assez net dans la mesure où le témoin est resté équivalent à la forte dose de potassium.

La réponse du riz au potassium a été moins marquée pendant cette campagne. La dose de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K peut être considérée comme optimale en tenant compte de l'apport de potassium au sol qu'il faut assurer d'une part, et de l'écart entre les rendements des fortes doses de K d'autre part.

L'efficacité agronomique du phosphore a varié en fonction des doses de phosphore et de potassium et a diminué avec l'augmentation des doses de P et de K. Pour toutes les doses de potassium, une plus grande efficacité a été obtenue avec  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de P (Figure 4).

Après trois années d'expérimentation, les doses de  $40$  et  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de P ont permis d'obtenir les rendements les plus élevés.

L'effet du potassium a été observé avec toutes les doses de phosphore et a présenté les mêmes tendances que sur sol ferrugineux. La dose de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K a donné le rendement le plus

élevé suivie de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K. À l'instar du phosphore, l'efficacité agronomique la plus grande a été obtenue avec la dose de  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  de K (Figure 5). Pour une même dose de phosphore, cette efficacité a baissé avec l'augmentation de la dose de potassium.

#### 4.2. Relation entre le rendement et le phosphore appliqué

Sur sol ferrugineux, l'augmentation des rendements a été fonction des doses de phosphore et de potassium (Figure 1). Cette augmentation, peu sensible avec les faibles doses de potassium, a été bien marquée pour les doses de 50 et  $75 \text{ kg ha}^{-1}$ . Les fonctions qui ont décrit le mieux ces relations ont été linéaires avec un coefficient de détermination (CD) de 0,95 et quadratiques avec un CD de 0,85 à 0,98.

Les coefficients de détermination ont été assez élevés et ont montré une forte relation entre le rendement et le phosphore appliqué.

Avec un apport de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K, la réponse du riz a été linéaire jusqu'à  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de P. Avec les autres niveaux de potassium, la dose de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de P a constitué un seuil où les rendements n'ont augmenté que très faiblement. Sur ces sols ferrugineux carencés, l'obtention d'un rendement de plus de  $4000 \text{ kg ha}^{-1}$  de paddy a nécessité un apport d'au moins  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K et  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de P. Avec une dose plus élevée de potassium ( $75 \text{ kg ha}^{-1}$ ), la dose de phosphore pourrait être réduite.

Sur vertisol, la même tendance a été observée sur toutes les courbes représentant les niveaux de potassium (Figure 2). Entre ces niveaux de potassium, la distinction a été assez nette pour une même dose de phosphore. Avec l'allure des différentes courbes, la dose de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de P apparaît comme une dose au-dessus de laquelle les rendements n'augmentent plus. Les équations qui ont défini ces relations sont de type quadratique avec des CD qui ont varié de 0,98 à 0,99.

Pour un objectif de  $6000 \text{ kg ha}^{-1}$  il faut au moins un apport de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K associé à

$20 \text{ kg ha}^{-1}$  de P ou un apport de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K combiné à  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de P.

#### 4.3. Relation entre le rendement et le potassium appliqué

Le rendement du riz a augmenté avec les doses croissantes de potassium. Cette augmentation s'exprime différemment selon qu'il s'agisse d'un sol ferrugineux ou d'un vertisol. Sur sol ferrugineux, le rendement a augmenté de façon linéaire jusqu'à la dose de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K (Figure 3).

Sur vertisol, l'augmentation a été moins importante à partir de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K et la relation rendement et potassium appliqué a été mieux décrite par une équation de type quadratique avec un coefficient de détermination de 0,998.

Sur ces deux types de sol, le coefficient de détermination a été très élevé et indique une forte relation entre le potassium appliqué et le rendement.

## V. Conclusion

À l'issue de ces trois années d'expérimentation, il ressort que les sols ferrugineux et les vertisols ont répondu différemment aux apports de phosphore et de potassium. Sur ces deux types de sol, la déficience en phosphore a été plus importante que celle du potassium. Il existe une interaction favorable entre le phosphore et le potassium. Cette interaction entre le phosphore et le potassium a varié d'une saison à une autre.

Sur les deux types de sol, les meilleurs rendements ont été obtenus avec les combinaisons des fortes doses de phosphore et de potassium ( $40$  à  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de P associés à  $50$  à  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K). Ces rendements ont été plus élevés sur vertisol que sur sol ferrugineux tropical.

L'efficacité agronomique la plus grande a été obtenue avec les doses de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de P et  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  de K. Pour une même dose de phosphore, cette efficacité a décliné avec

l'augmentation de la dose de potassium. Il en est de même pour le potassium avec l'augmentation des doses de phosphore.

Les applications de doses croissantes de phosphore et de potassium ont entraîné des augmentations de rendement qui ont été plus accentuées sur vertisol que sur sol ferrugineux. Sur les deux types de sol, les relations entre les rendements et les doses de phosphore et de potassium appliquées ont été décrites par des fonctions de type quadratique ou linéaire avec des coefficients de détermination très élevés de 0,97 à 0,99.

## VI. Références

- ADAMS F., 1980. Interactions of phosphorus with other elements in soils and in plants. p.661.
- BROESHART H., HAUNOLD E. and FRIED M., 1965. The effect of water conditions and oxidation-reduction status of rice soils on the availability of soil and fertilizer phosphorus. *Plant Soil* 23: 305-313.
- COLE, C. V., and M. L. JACKSON, 1950. Solubility equilibrium constant of dihydroxy-aluminium dihydrogen phosphate relating to a mechanism of phosphate fixation in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 15:84-89.
- 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 le Macina. Pôle régional de recherche sur les systèmes irrigués en Afrique de l'Ouest - CORAF Séminaire de Synthèse
- HASEMAN, J.F., BROWN E.H., & WHITT C. D., 1950. Some reactions of phosphate with clays and hydrous oxides of iron and aluminium. *Soil Sci.* 70:257-271.
- LINDSAY, W.L., FRAIER, A.W. & STEPHENSON H.F., 1962. Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26: 446-452.
- PRI, 1990. Essai sur les sources de phosphore sur les sols du Macina. Rapport de campagne 1989 Comité technique régional de la recherche Agronomique. 1<sup>ère</sup> Session 1990.
- PRI, 1994. Test potassium dans la zone du Macina. Rapport de campagne 1994. Comité technique régional de la recherche Agronomique. 4<sup>ème</sup> Session Avril 1994. p 27-30
- STEPHAN M. HAEFELE, KAZUKI SAITO, KABIROU M. N'DIAYE, FRANK MUSSGNUG, ANDREW NELSON and MARCO C.S. WOPEREIS, 2013. Increasing Rice Productivity Through Improved Nutrient Use in Africa. Realizing Africa's Rice Promise. *AfricaRice*. 250-264.
- 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.

# Évaluation de la technique de rotation niébé-mil améliorée avec du Phosphate Naturel de Tilemsi à différentes doses sur la productivité des sols et des cultures dans le Sahel: Cas de la région de Mopti

## Evaluation of the cowpea-millet rotation technique improved with Tilemsi Natural Phosphate at different doses on the productivity of soils and crops in the Sahel: Case of Mopti region

Traoré B.<sup>1\*</sup>, Haïdara S.<sup>2</sup>, Timbely D.<sup>1\*</sup>, Touré M.S.M.<sup>1</sup>, Témé B.<sup>1</sup>, Maïga M. S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut d'Economie Rurale, BP 258, Rue Mohamed V, Bamako, Mali

<sup>2</sup>Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou

<sup>3</sup>Faculté des Sciences et Techniques - Université de Bamako - Courriel: pamaiga@yahoo.fr

\*Courriel: boureimatraore@gmail.com - Tél.: +223 66 76 22 89 - dommotimbely@hotmail.com

### Résumé

Le mil est une des cultures principales de la région de Mopti en zone sahélienne du Mali. La pluviométrie et la faible fertilité des sols sont les principaux facteurs conditionnant le rendement de cette culture. La culture continue, pratiquée sans restauration de la fertilité du sol provoque une diminution rapide de la teneur en éléments nutritifs et une baisse du rendement du mil. La présente étude a pour objectif de contribuer à la lutte contre la baisse de la fertilité des sols et les bas rendements du mil dans la région de Mopti. Pour atteindre ces objectifs, des tests de rotation niébé-mil améliorée avec du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) à différentes doses (300 et 600 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup>) ont été réalisés en conditions réelles dans trois communes situées dans les trois zones agro-écologiques de la région de Mopti sur une durée de trois ans.

La technique de rotation niébé-mil améliorée avec du PNT à différentes doses (300 et 600 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup>) permet d'améliorer le rendement grain du niébé de 10 à 68% par

rapport au rendement grain du niébé seul. Les bénéfices réalisés sont nettement supérieurs à ceux du mil en culture continue et varient de 7 à 80%. Ainsi, les arrières effets du PNT (300 et 600 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup>) appliqué au niébé sur la culture du mil en deuxième et troisième années permettent d'accroître le rendement grains de mil de 29 à plus de 100%. Tandis que l'application du niébé seul accroît le rendement grain du mil de 20 à 47%. La valeur du pH du sol (très acide à acide) augmente en deuxième année, cette valeur baisse en troisième année avec les différents traitements de la rotation niébé avec apport du PNT dans l'ensemble des traitements. Ainsi, l'effet de la rotation légumineuse céréale, couplé avec l'arrière effet du PNT apporté sur le niébé en tête de rotation, constitue une technologie relativement simple et performante qui pourrait contribuer à améliorer la productivité du mil dans la région de Mopti.

**Mots clés :** niébé, mil, rotation, production, sol, cultures, Sahel, carbone organique.

## Abstract

Millet is a major crop in the region of Mopti in the Sahelian zone of Mali. Rainfall and low soil fertility are the key factors affecting the yield of this crop. Continuous cultivation, practiced without restoring soil fertility, causes a rapid decrease in nutrient content and reductions in millet yield. This study aims to contribute to the fight against the decline in soil fertility and low yields of millet in the region of Mopti. To achieve this objective, tests involving cowpea-millet rotation improved with Tilemsi Natural Phosphate (TNP) at different doses (300 and 600 kg.ha<sup>-1</sup>.3years<sup>-1</sup>) were carried out under real conditions in three communes in the three agro-ecological zones in the region of Mopti, over a three-year period.

The cowpea-millet rotation technique improved with TNP at different doses (300 and 600 kg.ha<sup>-1</sup>.3years<sup>-1</sup>) improved cowpea grain yield by 10 to 68% compared to the yield of cowpea as a single crop. The profits generated are significantly higher than those of millet in continuous culture, and vary from 7-80%. Thus, the back effects of PNT (300-600 kg.ha<sup>-1</sup>.3years<sup>-1</sup>) applied to cowpea on millet cultivation during the second and third years increased millet grain yield by 29 to over 100%. While the application of cowpea as a single crop increased millet grain yield by 20-47%. The value of soil pH (very acid to acid) increased during the second year, this value decreased during the third year due to the different treatments of cowpea rotation with TNP inputs in all the treatments. Therefore, the effect of the grain legume rotation, coupled with the back effects of the TNP on cowpea heading the rotation is a relatively simple and effective technology that could contribute to improving the productivity of millet in the Mopti region.

**Key words:** cowpea, millet, rotation, production, soil, crops, Sahel, organic carbon.

## I. Introduction

Le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols exigent l'utilisation des engrais organiques et minéraux. Cependant, les moyens économiques des paysans ne permettent pas des interventions reposant sur des investissements importants. Il devient alors nécessaire de mettre en œuvre des moyens naturels de gestion de la fertilité des sols, comme la fixation biologique de l'azote atmosphérique par les légumineuses dans un système de rotation des cultures. Le niébé est une espèce généralement efficace dans la fixation de l'azote grâce aux rhizobiums associés à ses racines. Il peut être introduit dans le système de rotation des cultures à base de mil pour améliorer la fertilité des sols et accroître les rendements. En effet, « l'alternance d'espèces différentes sur une même parcelle cultivée, suivant des successions simples et sans recherche de schémas de rotations pluriannuelles trop complexes et irréalistes, doit être considérée comme une priorité dans l'optique d'un maintien de la fertilité des terres » (Pieri, 1989).

Des essais en station ont montré les avantages qu'il y a à adopter la rotation annuelle de culture pure de céréales et de culture pure de niébé ou d'arachide (Bationo et al., 1998). Klaj et al., 1995, Bationo et al., 1997 ont démontré que dans certaines conditions, les rendements des céréales peuvent quasiment doubler dans le système de culture en rotation par rapport à la monoculture continue de mil. Même si elle n'est conçue qu'au seul égard de la fertilité, une rotation culturale entretient des mécanismes autant profitables à la conservation des sols qu'au maintien de leur fertilité, dans la mesure où ces mécanismes influent favorablement sur la teneur en humus et la stabilité des agrégats. Son rôle anti érosif sera cependant bien plus important si, en plus, on établit la meilleure couverture du sol dans le temps et dans l'espace.

La rotation mil-niébé fournit des rendements similaires à l'utilisation de 30 kg N ha<sup>-1</sup> (Bationo et al., 1998). La culture continue de mil donne des rendements bas à toutes les doses

de N par rapport au mil cultivé en rotation avec le niébé ou l'arachide. L'amélioration de la production dans la rotation peut être renforcée avec les engrais phosphatés (Bationo et al., 1997). L'application du phosphore (P) sur le niébé lui permet de mieux fixer l'azote (N) pour produire plus de biomasse. La fraction de P non absorbée reste disponible pour la culture suivante qui disposera aussi de plus de N (fixation).

Il ressort de ces différents travaux et études que les avantages de la rotation des cultures se résument à :

- mieux exploiter les éléments nutritifs du sol par des systèmes racinaires de morphologies différentes (céréale à racines localisées dans les couches superficielles du sol, et niébé dans les couches plus profondes) et par des besoins différents des espèces en ces éléments ;
- enrichir le sol en azote par la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique ;
- améliorer le taux de matière organique du sol, le pH, la porosité et la rétention de l'eau ;
- éliminer ou réduire des espèces parasites comme le striga ;
- améliorer la fertilité du sol par une source moins coûteuse, constituant de ce fait une alternative efficace.

Il n'est pas nécessaire d'enfouir les fanes du niébé pour bénéficier des effets positifs de la rotation. Les fanes et les gousses peuvent être exportées chaque année (Bationo, et al., 1998). Les biomasses racinaires localisées dans le sol constituent l'apport essentiel en ce qui concerne la régénération ou l'accroissement de la fertilité. Le niébé est considéré comme relativement résistant à la sécheresse (Cissé et al., 1990), mais il doit être cultivé à plus de 350 mm (Bationo et al., 1998). La zone d'étude, compte tenu des irrégularités pluviométriques, notamment l'existence d'années sèches très déficitaires, est pratiquement à la limite écologique d'utilisation de ce système de culture ; mais ceci renforce son intérêt comme technique alternative.

La présente étude avait pour objectif d'évaluer l'effet de la rotation niébé-mil améliorée avec du Phosphate Naturel de Tilemsi à différentes doses sur la productivité des sols et des cultures dans la région de Mopti en zone sahélienne du Mali.

## II. Matériel et méthodes

### 2.1. Matériel

#### 2.1.1. Présentation des sites d'étude

L'étude a été menée dans la région de Mopti. Les trois sites retenus pour l'expérimentation ont été le village de Koporo-pen situé dans la commune de Koporo-pen dans la zone agro-écologique du Séno, le village de Tougoumé dans la Commune rurale de Doucombo (sur le Plateau Dogon) et le village de Madiama dans la commune de Madiama dans la zone du Delta. L'expérimentation a été conduite dans des champs de brousse. Ces trois sites ont été choisis parce qu'ils sont à la fois représentatifs des trois zones agro-écologiques de la région de Mopti et qu'ils sont accessibles. Les caractéristiques des sites sont les suivantes :

- les plaines de la commune rurale de Koporo-pen, dans le Séno, sont constituées de matériaux du continental terminal formés de sable et de grès argileux coiffés d'une dalle cuirassée. L'ensemble du Séno est assez contrasté du point de vue du type de sol ; on y distingue essentiellement trois types de sols : les sols légers sableux (50%), les sols lourds argilo-limoneux (35%) et les sols limoneux sableux (15%) (DRSPR, 1992) ;
- comme le reste du plateau Dogon, la commune rurale de Doucombo est caractérisée par un relief très accidenté où les sols de culture sont rares et ne représentent que 22% de la superficie totale du cercle, le reste étant occupé par des affleurements rocheux. Les terres sont dégradées à cause de l'insuffisance de couvert végétal et des eaux de ruissellement (DRSPR, 1992) ;
- la commune de Madiama est située dans le Delta Central du Fleuve Niger en particulier

dans le bassin sédimentaire du moyen Bani qui a été comblé par les alluvions du quaternaire. Selon les travaux de Badini et al., 2001, la série texturale des types de sol des unités morpho-pédologiques répertoriées comprend : sable, sable limoneux, limon gravillonnaire, limon-sableux, limon, limon-argileux et argile.

Le climat de la région est de type sahélien, il présente une saison sèche qui s'étend d'octobre à mai et une saison pluvieuse de juin à septembre. La pluviométrie, de 1977 à 2005 a été en moyenne de 468 mm, avec un minimum de 273 mm de pluie en 2002 et un maximum de 643 mm (Traoré et al., 2005). La température moyenne annuelle est de 29,1°C. L'humidité relative annuelle moyenne est de 44% dont le maximum se situe aux mois d'août, septembre, octobre et le minimum aux mois de janvier, mars, avril. L'ensoleillement minimal est de six heures par jour en juillet, avec un maximum de 8 heures par jour au mois de février (Traoré et al., 2005).

### 2.1.2. Matériel végétal

La variété de niébé utilisée est le *Gorom-Gorom* (Suvita 2) originaire du Burkina Faso. Il s'agit d'une variété épurée à grains marron et de grosseur moyenne. Le cycle est de 70-75 jours. La variété est adaptée à des zones de 300-800 mm de pluie et aux zones subhumides à pluviométrie de 1 000 à 1 500 mm et certaines variétés montrent une résistance considérable à la sécheresse. En Afrique, le niébé est traditionnellement cultivé en association avec d'autres plantes telles que le mil ou le sorgho. En plus de la complémentarité que la légumineuse et la céréale jouent dans la diète alimentaire, l'association des deux cultures produit des avantages dans le contrôle des mauvaises herbes, la couverture du sol et sa protection contre l'érosion et la dispersion des insectes. Le niébé, comme les autres légumineuses, joue un rôle important dans la fertilisation des sols grâce à la symbiose avec des souches de rhizobium qui permettent la fixation de l'azote atmosphérique. Cette fixation a lieu dans des nodules ou nodosités formés sous l'effet de

l'infection des racines par les Rhizobium (Touré, 1974). Si les conditions édaphiques sont satisfaisantes (température, pH, éléments nutritifs), le taux de fixation peut atteindre 150 kg de N/ha et couvrir ainsi 80 à 90 % des besoins en N de la plante.

Une variété locale de mil, *Pennisetum glaucum* (L.), bien adaptée à la zone, a été utilisée dans l'expérimentation.

## 2.2. Méthodes

### 2.2.1. Choix des paysans

Le choix des paysans collaborateurs a été fait en assemblée villageoise en juin 2005 en présence des agents du service d'encadrement technique local et de quelques membres de la Commission Régionale des Utilisateurs des Résultats de la Recherche (CRU). Les critères de choix du paysan étaient basés sur la disponibilité à mener les tests et à accepter les innovations d'une part et d'autre part à l'accessibilité du champ.

### 2.2.2. Installation des parcelles expérimentales

La variété de mil utilisée, *Pennisetum glaucum* (L.), est une variété locale de mil, bien adaptée à la zone. Elle a été semée en deuxième et troisième années en 2006 et 2007 à la place du niébé. Le semis a été fait quand le sol était suffisamment humecté après une pluie d'au moins 15 mm. Le premier sarclage a eu lieu 15 jours après la levée tandis que le deuxième sarclage a été effectué 20 jours après le premier. Les autres sarclages ont été faits au besoin.

Le dispositif expérimental était constitué par des blocs randomisés avec trois traitements en quatre répétitions sur des parcelles élémentaires de 150 m<sup>2</sup> chacune, matérialisées par des repères. En première année, le témoin T<sub>0</sub> était une culture continue de mil, le T<sub>1</sub> était une culture pure de niébé, le T<sub>2</sub> était une culture de niébé avec apport de 300 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT et le T<sub>3</sub> était une culture de niébé avec apport de 600 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT. Le test a duré trois ans.

Le mil a été semé à 1 m entre les lignes et 1 m entre les poquets. Le semis était à 8 grains par poquet. Le semis a été démarré à raison de 2 à 3 plants par poquet, 15 jours après la levée. Le niébé a été semé à trois grains par poquet et ensuite démarré à deux plants 15 jours après la levée avec une densité de semis de 0,75 m x 0,30 m. Les semis ont été effectués après un labour à billons. En deuxième et troisième années, le mil a été semé à la place du niébé pour évaluer les arrières effets du niébé et du PNT sur le même dispositif. Les 3 traitements étaient les suivants :

T<sub>0</sub> = mil (témoin)

T<sub>1</sub> = niébé

T<sub>2</sub> = niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT

T<sub>3</sub> = niébé + 600 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT

Le dispositif utilisé à la station de Koporo-pen a été retenu pour le suivi du sol. Le sol sur ce site est de type sablonneux ; il est surexploité sans aucun apport. D'abord, 12 échantillons de sols ont été prélevés dans l'horizon 0-20 cm au niveau de chaque traitement. Ensuite, ils ont été mélangés et, enfin, il a été tiré de ce mélange un échantillon moyen. Ainsi, un échantillon moyen pour chaque traitement a été prélevé à la fin de chaque récolte. La situation initiale par rapport aux indicateurs retenus (N, P, K, C) est supposée être la même pour l'ensemble des parcelles élémentaires situées sur le même champ, malgré la grande variabilité qui affecte les sols. Les analyses ont été réalisées au Bureau National des Sols (BUNASOL) à Ouagadougou, au Burkina Faso. Elles ont porté sur l'azote total, le phosphore total, le potassium total, le carbone (matière organique) et le pH du sol.

Le taux de l'azote total du sol a été déterminé à partir du principe suivant : le sol est minéralisé par l'acide sulfurique concentré, porté à l'ébullition en présence d'un catalyseur. Ainsi, l'azote contenu dans la matière organique se transforme en sulfate d'ammonium. L'ammonium est déterminé à l'aide de l'auto-analyseur. Les nitrates présents dans la terre ne se transforment que partiellement en ammonium par cette méthode. Pour les sols

à haute teneur en nitrate, il est préférable d'employer pour la minéralisation un mélange d'acide sulfurique et d'acide salicylique. Après avoir tracé la ligne de base et mesuré les hauteurs de pic de la gamme étalon, des blancs et des échantillons par rapport à cette ligne, les concentrations en azote des blancs et des échantillons ont été calculées à l'aide de la gamme à partir d'un appareil de type Technicon Industrial Systems 1977.

$$\% N = 0.01 * (a-b)$$

Où a = ppm N pour l'échantillon

b = ppm pour le blanc

Précision : 0,01 % près.

La détermination du phosphore total du sol a été réalisée à partir du principe suivant : le sol est minéralisé par l'acide de Fleischmann à la température de 140°C (avec des variations possibles de 120 et 160°C). Dans le minéralisât le phosphore est déterminé sur auto-analyseur en mesurant l'intensité du complexe bleu phosphomolybdique. Après avoir tracé la ligne de base et mesuré les hauteurs de pic de la gamme étalon, des blancs et des échantillons par rapport à cette ligne, les concentrations en phosphore des blancs et des échantillons ont été calculées à l'aide de la gamme d'un appareil de type Technicon Industrial Systems 1977.

$$P \text{ total} = 100 (a-b)$$

Où a = ppm P mesuré pour échantillon

b = ppm P mesuré pour le blanc

Précision : 1 ppm près.

La détermination du potassium total du sol a été réalisée à partir du principe suivant : l'extraction par HCl 0,1 M donne une indication du K présent dans le sol sous forme soluble, du K au complexe absorbant et d'une partie du K fixé dans les minéraux. Pour être sûr que le sol est extrait, il faut compenser la quantité d'acide neutralisé par le sol (CaCO<sub>3</sub>, dolomite). Ceci pourrait se faire par l'addition d'une plus grande quantité de HCl, ou par introduction d'acide oxalique. Par addition supplémentaire de HCl, probablement, plus de K serait extrait. Ceci est dû à une destruction

plus rapide des minéraux par l'acidité initiale plus élevée. Par addition d'acide oxalique, la concentration en ion  $H^+$  reste constante pendant la période d'extraction et le  $Ca$  du  $CaCO_3$  dissout se précipite sous forme de Ca-Oxalate. Ainsi, le calcul est le suivant :

$$K \text{ en mg/100 g de terre} = (a-b)$$

$$K_2O \text{ en mg/100 g de terre} = 1,2 (a-b)$$

Où  $a$  = ppm K mesuré pour l'échantillon ;  
 $b$  = ppm K mesuré pour le blanc

Précision : 0,01 ppm près.

La détermination du Carbone organique du sol (Méthode Anne modifiée) a été réalisée à partir du principe suivant : le carbone dans le sol est oxydé par un mélange de dichromate de potassium et d'acide sulfurique, l'excès de  $K_2Cr_2O_7$  par une solution contenant le  $Fe^{2+}$  sous la forme de sel de Mohr ou de sulfate de fer. L'acide phosphorique est utilisé pour complexer l'ion  $Fe$  afin d'obtenir un point de virage plus distinct. La différence en meq.  $Fe$  utilisé pour l'échantillon et pour l'essai à blanc permet de calculer le contenu de carbone dans le sol. Des analyses élémentaires ont montré que 97% du carbone dans le sol sont oxydés de cette façon. Le pourcentage de matière organique dans le sol peut être calculé sur la base du taux de carbone suivant la formule ci-dessous (Nelson and Sommer, 1982) :

$$\% C = 0,24 \times (a-b) \times (13/V)/g$$

Où  $a$  = volume versé pour le blanc

$b$  = volume versé pour l'échantillon

$V$  = volume versé pour le contrôle de la solution de  $Fe$

$G$  = poids de l'échantillon

$$\% MO = 1,72 \times \% C$$

Précision 0,01 près.

À la maturité, le mil a été récolté suivant les traitements en utilisant 5 carrés de rendement de  $16 m^2$  soit  $4 m \times 4 m$ . Les épis récoltés ont été d'abord séchés au soleil pendant deux semaines, puis battus et pesés.

L'analyse de la variance a été effectuée pour déterminer la différence entre les effets des

traitements et le test de Duncan a été utilisé pour séparer les moyennes des différents traitements.

### III. Résultats

#### 3.1. Effet de la rotation niébé-mil avec apport de PNT sur la fertilité du sol

- Effet sur la concentration en  $N$ ,  $P_2O_5$  et  $K_2O$  du sol

Les sols sont caractérisés par un taux très bas en azote (Tableau I). Les taux d'azote sont peu différents dans l'ensemble des traitements, après la première année. En deuxième année, l'accroissement du taux d'azote par rapport au témoin a été de 10% avec l'application de Niébé, de 15% avec le Niébé +  $300 kg \cdot ha^{-1} \cdot 3ans^{-1}$  de PNT et de 20% avec le Niébé +  $300 kg \cdot ha^{-1} \cdot 3ans^{-1}$  de PNT. En troisième année, l'accroissement du taux d'azote par rapport au mil (témoin) a varié de 14,2% avec le Niébé, et de 38% avec le Niébé +  $300 kg \cdot ha^{-1} \cdot 3ans^{-1}$  de PNT.

Le  $P_2O_5$  a connu un accroissement dans les traitements de niébé avec fertilisant par rapport au niébé sans fertilisant en première année. En deuxième année, cet accroissement a été de 7% (2,8 ppm) avec le Niébé, 14,2% (5,6 ppm) avec le Niébé +  $300 kg \cdot ha^{-1} \cdot 3ans^{-1}$  de PNT et de 36,6% (14 ppm) avec le Niébé +  $300 kg \cdot ha^{-1} \cdot 3ans^{-1}$  de PNT. Mais, en troisième année, la quantité de  $P_2O_5$  a montré un déficit de 28% (16,9 ppm) avec le Niébé +  $300 kg \cdot ha^{-1} \cdot 3ans^{-1}$  de PNT et de 21% (12,7 ppm) avec le Niébé +  $300 kg \cdot ha^{-1} \cdot 3ans^{-1}$  de PNT. Les quantités de  $P_2O_5$  avec le Mil (témoin) et le Niébé sont restées voisines.

En première année, La quantité de  $K_2O$  dans l'ensemble des traitements du niébé a connu une augmentation par rapport au niébé sans fertilisant. De même en deuxième année, la quantité de  $K_2O$  a connu un accroissement de 6,17% (20 ppm) avec le Niébé, 8,95% (29 ppm) avec le Niébé +  $300 kg \cdot ha^{-1} \cdot 3ans^{-1}$  de PNT, et de 10,49% (34 ppm) avec le Niébé +  $300 kg \cdot ha^{-1} \cdot 3ans^{-1}$

**Tableau I.** Concentration du sol en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O dans la commune rurale de Koporo-pen (0 - 40 cm).

Éléments fertilisants	Itinéraires techniques	Année	Mil (témoin)	Niébé	Niébé + 300 kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> de PNT	Niébé + 300 kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> de PNT
N total %		2005	0,016	0,015	0,020	0,015
		2006	0,020	0,022	0,023	0,024
		2007	0,021	0,024	0,023	0,029
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total ppm		2005	40,6	40,6	48,7	44,7
		2006	39,3	42,1	44,9	53,3
		2007	59,4	59,4	42,5	46,7
K <sub>2</sub> O total ppm		2005	587,0	523,2	561,5	689,1
		2006	324	344	353	358
		2007	5,49	5,23	5,18	5,56

(Source : analyse de sol : BUNASOL 2005, 2006, 2007)

de PNT. Mais en troisième année, la quantité de K<sub>2</sub>O comme le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a diminué par rapport au mil (témoin) avec le Niébé, et le Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT, tandis que ce taux a augmenté de 1,2 % (0,07 ppm) avec le Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT.

- Effet sur la concentration en carbone total du sol

Les analyses de sol après la deuxième année de culture ont montré un accroissement du taux de carbone dans le sol (Figure 1) par rapport au Mil (témoin), de 5,34% avec le Niébé, de 8 % avec le Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT et de 11 % avec le Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT. Le rapport C/N a été de 13 pour le Mil (témoin) et le Niébé, ce rapport baisse et prend la valeur 12 pour les traitements Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT et Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT; dans ces deux derniers traitements la minéralisation a été plus rapide. En troisième année, les analyses de sol ont montré une diminution du taux de carbone dans l'ensemble des traitements par rapport à la deuxième année. Les taux de carbone du sol des différents traitements ont connu respectivement comme l'année précédente un accroissement par rapport au Mil (témoin) de 17,7% avec le Niébé, de 14,2% avec le Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT et de 16,8% avec le Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de

PNT. La minéralisation a été très forte avec un rapport C/N égal à 11 pour le Mil (témoin) et le Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT et de 12 pour le traitement Niébé et de 14 pour le Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT.

- Effet sur le pH du sol

Après la deuxième année, les analyses de sol ont révélé un pH acide pour l'ensemble des traitements. La valeur du pH a augmenté de 4,2% pour le mil après niébé, 5,4% pour le mil Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT et de 5,6% pour le Niébé + 600 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT par rapport au pH du sol du Témoin. L'augmentation progressive de la valeur du pH traduit une diminution de l'acidité du sol avec les différents traitements de la rotation niébé avec apport du PNT (Figure 2). Les analyses de sol ont montré que la valeur du pH baisse après la troisième année, ce qui indique que l'acidité des sols augmente dans l'ensemble des traitements, et elle a été plus élevée dans les traitements mil après Niébé avec un taux d'accroissement de 4,7% et mil après Niébé + 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT avec 5,9% par rapport au pH du sol de Témoin. Cette diminution de la valeur du pH traduit une augmentation de l'acidité du milieu qui serait due à la minéralisation de la matière organique (baisse du taux de carbone du sol).

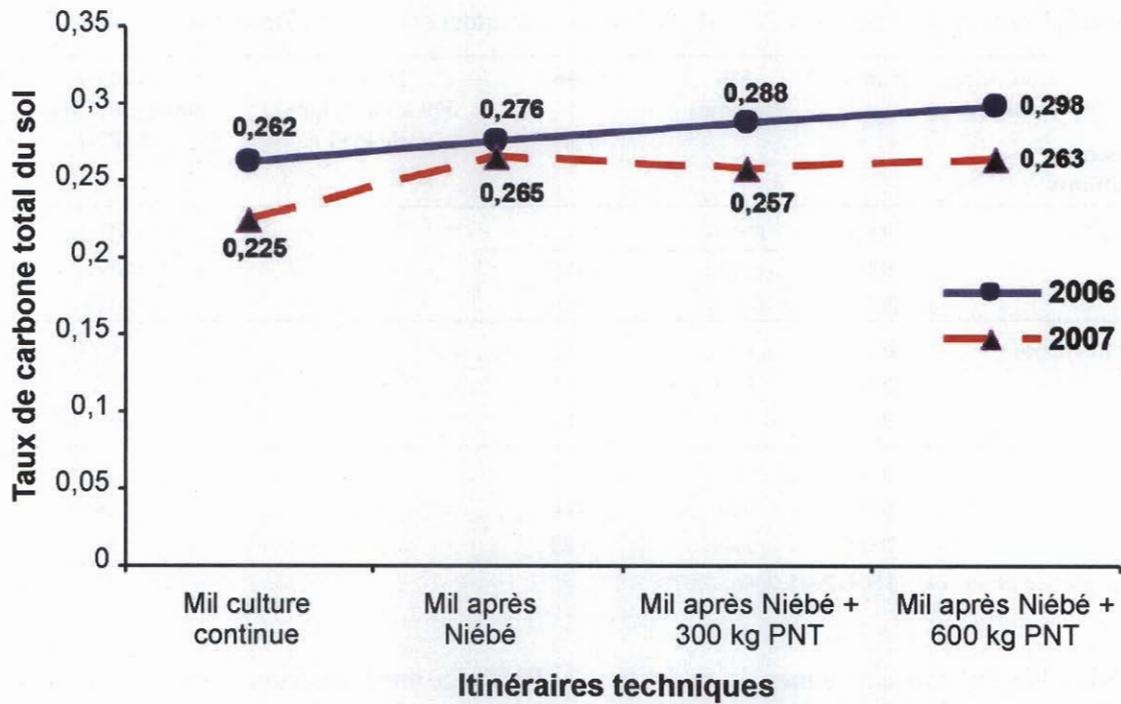


Figure 1. Variation du taux de carbone total du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo-pen.

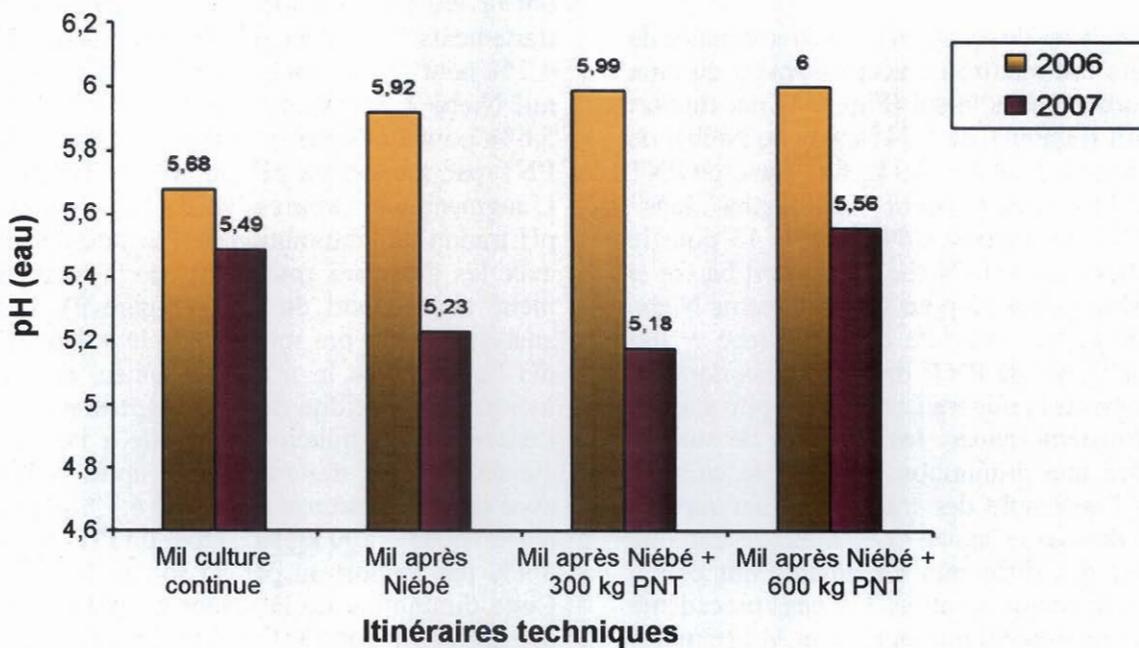


Figure 2. Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques pendant les deux dernières années (2006 et 2007) dans la commune de Koporo-pen.

### 3.2. Effets de la rotation niébé-mil avec apport de PNT sur les rendements moyens de pailles et grains de mil

L'analyse des résultats au seuil de 5% en première année, a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les rendements moyens (grains et paille) de niébé en tête de rotation (Tableau II). Les rendements ont connu l'accroissement le plus élevé avec le niébé avec la dose de 600 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT, avec 45% (343 kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 32% (397 kg.ha<sup>-1</sup>) en fane par rapport au Niébé en culture pure. Quant avec le niébé avec la dose de 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT, les taux d'augmentation étaient de l'ordre de 35% (271 kg.ha<sup>-1</sup>) en grains et 26% (330 kg.ha<sup>-1</sup>) en fane par rapport au Niébé en culture pure. La culture du niébé en tête de rotation en première année permet de réaliser beaucoup plus de valeur ajoutée que le mil en culture pure. La production par hectare connaît une progression et permet de réaliser beaucoup plus de bénéfice aussi bien avec le niébé seul, qu'avec le niébé et le PNT.

L'analyse des résultats au seuil de 5% en deuxième et troisième années, a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les rendements moyens (grains et paille) de niébé en tête de rotation (Tableau III). Les rendements ont connu l'accroissement le plus élevé avec le niébé avec la dose de 600 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT, avec 106% (752 kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 76% (2 800 kg.ha<sup>-1</sup>) en fane par rapport au Niébé en culture pure. Avec le niébé plus la dose de 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT, les taux d'augmentation étaient de l'ordre de 66% (495 kg.ha<sup>-1</sup>) en grains et 73% (2 587 kg.ha<sup>-1</sup>) en fane par rapport au mil en culture pure. Quant avec le niébé seul, les taux d'augmentation étaient de l'ordre de 37% (277 kg.ha<sup>-1</sup>) en grains et 49% (1 749 kg.ha<sup>-1</sup>) en fane par rapport au mil en culture pure. La culture du niébé en tête de rotation en première année permet de réaliser beaucoup plus de valeur ajoutée que le mil en culture pure. La production par hectare connaît une progression et permet de réaliser beaucoup plus de bénéfice aussi bien avec le niébé seul, qu'avec le niébé et le PNT.

**Tableau II.** Rendements moyens (grains et paille) niébé et mil témoin en tête de rotation en 2015.

Itinéraires techniques	Rendement (kg/ha)		Rapport grain/paille
	Paille	Grain	
Mil (Témoin)	5333	686	0,13
Niébé	1257	769	0,61
Niébé + 300 kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> de PNT	1587	1040	0,66
Niébé + 600 kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> de PNT	1634	1112	0,68

**Tableau III.** Rendements moyens mil (grains et paille) des deux campagnes 2016 et 2017

Itinéraires techniques	Rendement (kg/ha)		Rapport grain/paille
	Paille	Grain	
Mil (Témoin)	3 543	746	0,18
Mil après Niébé	5 292	1 023	0,18
Mil après Niébé + 300 kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> PNT	6 130	1 241	0,20
Mil après Niébé + 600 kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> de PNT	6 343	1 538	0,20

### 3.3. Évaluation du coût de production du mil au champs avec la rotation niébé-mil et PNT

Le tableau IV indique le nombre d'hommes qui travaille par jour (homme/jour) pour les différents travaux. Il a été estimé à partir du nombre de travailleurs impliqués pour l'installation du test chez un paysan. Les valeurs obtenues ont été ramenées à l'hectare. Ainsi, de nombreuses investigations ont été faites sur le terrain auprès des techniciens et des paysans pour aboutir à des données supposées raisonnables d'homme/jours par tâche. Quant au travail concernant la récolte, il a été évalué à 10% de la valeur de la production.

Les prix de vente du mil et du niébé au producteur varient d'une année à l'autre et dans la même année les prix varient d'une période à l'autre. Ils sont les plus bas, juste après les récoltes et montent progressivement pour atteindre le maximum vers le début de la campagne agricole suivante. Les investigations sur les marchés des différents sites ont permis de retenir le prix moyen de vente du mil à 140 F CFA.kg<sup>-1</sup> dans le Delta Central du Niger sur les trois ans et dans le Séno en première année, le prix moyen de 130 F CFA.kg<sup>-1</sup> sur le Plateau Dogon durant les trois ans et les

deux dernières années pour le Séno. Le prix moyen de vente de grains de niébé utilisé dans les évaluations a été de 300 F CFA et celui des fanes a été de 125 F CFA pour l'ensemble des sites (Tableau V).

L'analyse économique des résultats a indiqué au tableau VI que les coûts moyens de production du mil en rotation du niébé seul et du niébé avec différentes doses de PNT ont été supérieurs à celui du témoin. Ces différents coûts permettent de réaliser de la valeur ajoutée par rapport à la pratique paysanne. Ainsi, la culture du mil après le niébé et la dose de 600 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT vient en tête avec une augmentation de la valeur ajoutée de 144% (soit 99 970 F CFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport à la culture continue du mil, de 60% (soit 63 250 F CFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au Niébé seul et de 28% (soit 36 560 F CFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au Niébé avec la dose 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT. La culture du niébé avec la dose 300 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT, a procuré une valeur ajoutée de 25% (soit 26 690 F CFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au témoin et de 91% (soit 63 410 F CFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au Niébé seul. La rotation après Niébé seul a engendré une valeur ajoutée de 53% (soit 69 530 F CFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au témoin de culture continue de mil.

**Tableau IV.** Nombre d'hommes par jour et par hectare

Activités	Mil	Niébé
Labour (tous les ans)	2	2
Semis (tous les ans)	1	1
Sarclage 1 (tous les ans)	3,75	4
Sarclage 2 (tous les ans)	2,25	1
Épandage de 300 kg de PNT (1 <sup>ère</sup> année)	1,5	1,5
Épandage de 600 kg de PNT (1 <sup>ère</sup> année)	-	2
Traitements phytosanitaires (tous les ans)	-	1

(Source : enquête exploitations de Boureima Traoré en 2005)

**Tableau V.** Prix du mil, du niébé, des intrants et quantité d'intrants

Produits et intrants	Unité	Prix (F CFA)	Quantité d'intrants par hectare (kg/ha)
Mil (semence)	kg	225	5 kg.ha <sup>-1</sup>
Niébé (semence)	kg	450	20 kg.ha <sup>-1</sup>
PNT	kg	120	300-600 kg.ha <sup>-1</sup>
Traitements phytosanitaires	ha	12000	
Labour	½ ha	4000	
Autre main-d'œuvre	h/jour	750	

(Source : enquête exploitations de Boureima Traoré en 2005)

**Tableau VI.** Moyennes des rendements, coût de production et bénéfices/pertes

Itinéraires techniques	Mil (témoin)	Niébé Mil	Niébé + 300 kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> de PNT Mil T <sub>2</sub>	Niébé + 600 kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> de PNT Mil T <sub>3</sub>
Rendement moyen grain (kg/ha)	725,9	1 023,0	1 240,8	1 538,0
Coût total de production (F CFA.kg <sup>-1</sup> )	29 528	33 545	36 510	40 572
Bénéfices/Pertes (F CFA.kg <sup>-1</sup> )	69 529	106 250	132 937	169 498

#### IV. Discussion

Les analyses agronomiques et économiques des résultats ont montré que la pratique de la rotation avec le niébé en tête de rotation a été plus rentable que la culture continue de mil. Elle a permis de réaliser des bénéfices nets supérieurs à ceux du mil en culture continue. L'application du PNT à différentes doses sur le niébé en tête de rotation a donné avec l'application de 600 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, un taux d'accroissement du rendement grain variant de 7 à 80%. Avec l'apport de 300 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, le taux d'augmentation du rendement grain a varié de 10 à 68% par rapport au rendement grain du niébé seul. L'augmentation du taux d'azote dans les grains par rapport au témoin a varié de 106 à 112%. En ce qui concerne la paille, le taux d'azote a varié de 99,4 à 150%. Ces accroissements du rendement grains confirment les résultats de Veldkamp et al.,

1991 selon lesquels l'expérience agronomique a montré un effet mesurable du PNT dès la première année de son application sur la parcelle. Cet itinéraire technique peut être confronté à des difficultés, telles que le manque d'entretien des plants contre les insectes, le coût et le risque d'utilisation des insecticides. Cette dernière difficulté peut avoir sa solution avec l'introduction des extraits de grain de *neem* pour le traitement phytosanitaire. Le mil pourrait bénéficier d'effets résiduels de N fixé par la légumineuse. Les gousses et fanes étant exportées du champ, ces effets proviendraient du système racinaire. Certains auteurs ont attribué l'effet bénéfique des rotations aux exsudats racinaires de certaines légumineuses à solubiliser le P (Gardener et al., 1981 cités par Bationo et Ntare, 2000). En effet, les arrières effets sur la culture du mil en deuxième année de 600 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT appliqué au niébé permettent d'accroître le rendement grains de

mil de 45 à plus de 100%. Avec l'arrière effet de l'application de 300 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, et du niébé, l'accroissement du rendement grains a varié de 29 à 70%. Quant à l'arrière effet du niébé seul sans fertilisant, le rendement grains du mil accroît de 5 à 47%. En troisième année, les arrières effets de 600 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT appliqué au niébé ont permis d'accroître le rendement grains à plus de 100%. Avec l'application de 300 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, et du niébé, l'augmentation de rendement grains peut varier de 75 à plus de 100%. Quant à l'arrière effet du niébé seul sans fertilisant, le rendement grains peut atteindre 20 à plus de 100%. Cette augmentation progressive du rendement en fonction de la quantité de PNT confirme les conclusions obtenues par Traoré et *al.*, 2000, selon lesquelles après une légumineuse telle que l'arachide ou le niébé fertilisée avec un engrais phosphaté, le mil bénéficie d'un arrière effet d'autant plus important que la fertilisation phosphatée de la légumineuse est plus élevée. Les bilans des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O ont été déficitaires. L'application du PNT à différentes doses sur le niébé en tête de rotation a permis d'obtenir une augmentation progressive de la valeur du pH, qui traduit une diminution de l'acidité du sol, de très acide à acide, avec les différents traitements de la rotation niébé avec apport de PNT en deuxième année. Mais en troisième année, l'acidité des sols augmente, de acide à très acide, dans l'ensemble des traitements, ce qui se traduit par la baisse des valeurs du pH. Ainsi, l'effet de la rotation légumineuse-céréale couplé avec l'arrière effet du PNT apporté sur le niébé en tête de rotation constitue une technologie relativement simple et performante qui pourrait être utilisée par la plupart des paysans et contribuer à une amélioration significative de la productivité du mil et des systèmes de culture à base de mil dans les zones sahéliennes du Mali. Ces résultats satisfaisants obtenus par les effets résiduels de la rotation et de l'apport de PNT sont très importants au regard de la faiblesse des investissements requis. Ces technologies utilisées à grande échelle, pourraient contribuer d'une manière significative à l'autosuffisance et la sécurité alimentaire des populations dans les zones sahéliennes du Mali.

## V. Conclusion

Les analyses agronomiques et économiques des effets des itinéraires techniques de la rotation niébé-mil améliorée avec du PNT aux doses de 300 et 600 kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> ainsi, que leurs effets résiduels, de un à deux ans après application, ont montré que la pratique de la rotation avec le niébé en tête de rotation a été plus rentable que la culture continue de mil. Ces itinéraires ont permis de réaliser des bénéfices nets supérieurs à ceux du mil en culture continue. L'application du PNT sur le niébé en tête de rotation a donné, en appliquant la dose de 600 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, un taux d'accroissement du rendement grains variant de 7 à 80%. Ce taux, avec un apport de 300 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, a varié de 10 à 68% par rapport au rendement grains du niébé seul. L'augmentation du taux d'azote dans les grains par rapport à la culture continue du mil a varié de 106 à 112%. En ce qui concerne la paille, le taux d'azote a varié de 99,4 à 150%.

Le mil pourrait bénéficier d'effets résiduels de N fixé par la légumineuse. Ainsi, les arrières effets sur la culture du mil en deuxième année de 600 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT appliqué au niébé ont permis d'accroître le rendement grains de mil de 45 à plus de 100%. Avec l'arrière effet de l'application de 300 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, et du niébé, l'accroissement du rendement grains du mil a varié de 29 à 70%. Quant à l'arrière effet du niébé seul sans fertilisant, le rendement grains du mil a augmenté de 5 à 47%. En troisième année, les arrières effets de 600 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT appliqués au niébé ont permis d'accroître le rendement grains à plus de 100%. L'application de 300 kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, en présence du niébé, a entraîné une hausse du rendement grains de 75 à plus de 100%. Le rendement grain peut atteindre 20 à plus de 100% avec l'arrière effet du niébé seul sans fertilisant. Les bilans des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O ont été déficitaires. L'application du PNT à différentes doses sur le niébé en tête de rotation a permis d'obtenir une augmentation progressive de la valeur du pH. Cette augmentation du pH se traduit par une diminution de l'acidité du sol en deuxième année. Mais en troisième année, l'acidité des

sols a augmenté en passant de acide à très acide dans l'ensemble des traitements. On en conclut que l'effet de la rotation légumineuse-céréale, couplé avec l'arrière effet du PNT, apporté sur le niébé en tête de rotation, constitue une technologie relativement simple et performante qui pourrait être utilisée par la plupart des paysans, et contribuer ainsi à une amélioration significative de la productivité du mil et des systèmes de culture à base de mil dans les zones sahéliennes du Mali.

## VI. Références

- BADINI O. and L. DIONI, 2001. Etude Morpho-pédologique de la Commune de Madiama, Cercle de Djenné – International Programs, Washington State University, Pullman, WA. Technical report SANREM West Africa. Working Paper N° 01-02, 29 pages.
- BATIONO A., et VLEK. P.L.G., 1997. The role of nitrogen fertilizer applied to food crops in the Sudano-Sahelian zone of West Africa. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 124, 39-44.
- BATIONO A., NTARE B.R., 2000. Rotation and nitrogen fertilizer effects on pearl millet, cowpea and groundnut yield and soil chemical properties in a sandy soil in semi-arid tropics, West Africa. *Journal of Agricultural Science*, 134, p. 277-284.
- BATIONO A., F. SEYNI, A. C. BUERKERT, and C. L. BIELDERS, 1998. Rotation céréale-légumineuse, *In*: Technologies diffusables et transférables aux producteurs, (En Fr.), pp. 27-29.
- CISSÉ S. et GOSSEYE P.A., 1990. Compétition pour les ressources limitées: le cas de la cinquième région du Mali. Rapport I. Ressources naturelles et population: AB-BLo/ESPR, AB-DLo. Wageningen, 106 p + 66 p annexes.
- DRSPR, 1992. Éléments de reconnaissance générale dans les zones du Séno et du Delta en 5ème région. (Département de la Recherche sur les Systèmes de Production Rurale), 27 pages.
- KLAIJ M.C. and NTARE B.R., 1995. Rotation and tillage effects on yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) and cowpea (*Vigna unguiculata*), and aspects of crop water balance and soil fertility in a semi-arid tropical environment. *Journal of Agricultural Science* 124: 39-44.
- NELSON D.W. and SOMMER L.E., 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2nd Edition. ASA-SSSA, Madison, 595-579.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de 30 années de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris : Agridoc-International. Ministère de la coopération et CIRAD-IRAT. 444p.
- TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS, 1977. Industrial method no. 334-74. *Aust. J. Soil Res.* 24:517-526 W/B+. Industrial/simultaneous determination of nitrogen and/or phosphorus in BD acid digests. Technicon Industrial Systems, Tar-rytown, NY.
- TOURÉ Y. T., 1974. Fixation symbiotique de l'azote chez les légumineuses : mémoire de fin d'étude ENSup 90 pages
- TRAORÉ S., 2005. Fiche technique des techniques culturales performantes pour de nouvelles variétés de mil 07. IER 6 pages.
- VELDKAMP W.J., TRAORE A., N'DIAYE K., KEITA M.K., KEITA B., BAGAYOKO M., 1991. Fertilités des sols du Mali ; Mali Sud/Office du Niger: Interprétation des données analytiques des sols et plantes 1991. IER, 149 p.



**Poussins d'un jour se réchauffant sous une lampe électrique**



**Poules au repos après consommation d'eau et d'aliment**

# **Contraintes alimentaires et nutritionnelles chez les pondeuses dans les zones périurbaines de Sikasso, Ségou et du District de Bamako au Mali et perspectives**

## **Food and nutritional constraints of hen layers in the peri-urban areas of Sikasso, Ségou and the District of Bamako in Mali and prospects**

**Traoré B.<sup>1</sup>, Coulibaly M.K.<sup>2</sup>, Sidibé S.<sup>2</sup>, Sylla M.<sup>1</sup>, Keïta S.<sup>1</sup>, Niang M.<sup>2</sup>,  
Tembely S.<sup>2</sup>, Dakouo M.<sup>2</sup>, Bengaly S.<sup>2</sup> et Diallo M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut d'Economie Rurale/Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba -  
Programme Volaille - BP 262 - Tél. : +223 20 24 35 82 / 20 24 78 53

<sup>2</sup>Laboratoire Central Vétérinaire - Km8 Route de Koulikoro Bamako, Mali - BP 2295  
Tél. : +223 20 24 33 44

\*Tél. : +223 66 63 11 71 - Courriel : Bantieni.traore@ier.ml / traorebantieni@yahoo.fr

### **Résumé**

L'aviculture occupe une place importante dans l'économie malienne. Elle représente un instrument efficace de lutte contre la pauvreté et d'atteinte de la sécurité alimentaire en tant que source de revenus et de protéines pour les populations. L'activité est cependant confrontée à des contraintes dont l'alimentation des oiseaux. Ce facteur est le plus coûteux. Pour rendre disponibles et à moindre coût les produits avicoles aux consommateurs, il importe de mieux connaître les systèmes alimentaires des exploitations en vue de leur optimisation. C'est dans ce cadre que se situe la présente étude dont l'objectif est d'identifier les principales contraintes alimentaires et nutritionnelles des élevages de pondeuses dans les zones périurbaines du Mali et de proposer des solutions appropriées pour les lever.

L'étude a été réalisée dans les zones périurbaines du District de Bamako et des villes de Sikasso et Ségou qui représentent 70 à 80% des volailles exotiques dans le système périurbain du pays. Des exploitations ont été choisies dans ces zones pour abriter les études. Les critères de choix de ces exploitations étaient le volontariat, l'accessibilité des sites en toute saison et leur localisation

dans un rayon de 50 km autour des villes respectives. Les données collectées portaient sur les ingrédients utilisés, la formulation des aliments, les quantités d'aliments consommés, la composition et la valeur nutritive de la ration distribuée et les performances de ponte des oiseaux. Des échantillons d'aliments et de matières premières ont été prélevés pour en déterminer la composition chimique et la valeur nutritive. Ces déterminations ont porté sur la matière sèche, les cendres, la cellulose brute, l'énergie, les protéines, le calcium, le phosphore, le sodium, le manganèse.

Les élevages de pondeuses dans les systèmes périurbains du Mali sont confrontés à des contraintes nutritionnelles et alimentaires qui affectent la production d'œufs. Ces contraintes limitant quantitativement et qualitativement la production des œufs sont liées aux aliments et aux matières premières. Citons parmi ces contraintes, la faiblesse ou l'excès de la teneur en protéines ainsi que la faiblesse en calcium des rations, la grande fluctuation de la valeur nutritive d'une préparation alimentaire à une autre pour la même formule utilisée. Parmi les solutions envisagées pour lever ces contraintes, nous citons entre autres, la diversification des matières premières utilisées dans l'alimentation, l'amélioration des techniques de collecte et/ou de production

de la farine de poisson, le contrôle de la qualité des aliments et des matières premières, la mise au point de formules alimentaires efficaces.

**Mots clés :** Contraintes alimentaires et nutritionnelles, zones périurbaines, poudeuses, protéines, minéraux, Mali

## Abstract

Poultry farming occupies an important place in Malian economy. It is an effective instrument in the fight against poverty and to achieve food security as a source of protein and of income for the population. However, the activity faces constraints among which is bird feed. This factor is the most expensive. To make available and cost poultry products to consumers, it is important to learn about food systems' operations for optimization. It is in this context that the present study aims to identify the main dietary and nutritional constraints of laying farms in peri-urban areas of Mali and to propose appropriate solutions to overcome them. The study was conducted in peri-urban areas of the District of Bamako and the cities of Sikasso and Ségou, which represent 70 to 80% of exotic poultry in this system of the country. Farms were selected in these areas for the study. The selection criteria of these farms were: volunteering, accessibility of sites in all seasons and location within 50 km of the respective cities. Data was collected on the ingredients used, feed formulation, the quantity of food consumed, the composition and nutritive value of the ration and performance of laying birds. Samples of food and raw materials were collected to determine their chemical composition and nutritional value. These determinations were carried on the dry matter, ash, crude fiber, energy, proteins, calcium, phosphorus, sodium and manganese.

Poultry farms in peri-urban systems of Mali are facing food and nutrition constraints affecting egg production. These constraints affecting the quantity and quality of egg production are related to food and raw materials. Among these constraints are weakness or excess of

protein content and weak calcium rations, the huge fluctuation of the nutritional value from one food preparation to another for the same formula. Among the solutions recommended to overcome these constraints, we include among others, diversification of the raw materials used in food, improving data collection and/or production of fishmeal, the quality control of food and raw materials, the development of efficient food formulas.

**Key words:** food and nutritional constraints, peri-urban areas, hen layers, protein, minerals, Mali

## I. Introduction

L'aviculture occupe une place importante dans l'économie malienne. L'effectif du cheptel avicole national est estimé à 36 750 000 sujets, toutes espèces confondues et le secteur moderne représente près de 2% de cet effectif (DNPIA, 2010).

Cette activité constitue une source précieuse de revenus et de protéines pour les populations. Elle représente à ce titre un instrument efficace de lutte contre la pauvreté et d'atteinte à la sécurité alimentaire au Mali.

Au cours des dernières années, l'aviculture moderne a connu un essor considérable dans plusieurs zones périurbaines du Mali. Elle est actuellement la principale source d'approvisionnement en œufs de consommation et de poulets de chair. Mais elle reste confrontée à des contraintes liées à la santé, l'habitat et l'alimentation qui limitent ses performances.

Parmi ces contraintes, l'alimentation est le facteur le plus coûteux. En effet, elle occupe environ 60 à 80% des coûts des productions animales. Pour diminuer ces coûts et rendre disponibles les produits animaux aux consommateurs, il importe de mieux connaître les systèmes alimentaires des exploitations en vue de leur optimisation. C'est dans ce cadre que se situe la présente étude qui a pour objectif d'identifier les principales contraintes alimentaires et nutritionnelles des élevages de

poudeuses dans les zones périurbaines et de proposer des solutions appropriées pour les lever.

## II. Matériel et méthodes

L'étude a été réalisée dans 22 exploitations avicoles modernes de poudeuses localisées en zone périurbaine du District de Bamako et des villes de Sikasso et de Ségou. Ces villes sont situées respectivement dans le climat soudanien, guinéen et sahélien. En outre, elles représentent 70 à 80% des volailles exotiques dans le système périurbain du pays.

Les exploitations ont été choisies en fonction de l'accord de l'aviculteur à collaborer, de leur accessibilité en toute saison et de leur localisation dans un rayon de 50 km autour des villes respectives. Les données ont été collectées à l'aide de fiches d'enquêtes administrées par des observateurs dans les 22 exploitations avicoles dont 16 en zone périurbaine de Bamako et 3 respectivement dans les zones périurbaines de Sikasso et Ségou. Ces données portaient sur les ingrédients utilisés, la formulation, les quantités d'aliments consommés, la composition et la valeur nutritive de la ration distribuée et les performances de ponte des oiseaux. Des échantillons d'aliments ont été prélevés chez les provendiers pour en déterminer la composition et la valeur nutritive. Ces déterminations effectuées au Laboratoire de Nutrition Animale (LNA) du Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba ont porté sur la matière sèche, les cendres, la cellulose brute, l'énergie, les protéines, le calcium, le phosphore, le sodium et le manganèse.

D'autres informations telles que la provenance de l'aliment, son mode de préparation et son stockage ont été aussi enregistrées.

Les données ont été analysées à l'aide de la statistique descriptive (calcul de la moyenne arithmétique simple et des écart-types).

Il faut noter que des tests de contrôle de la qualité sanitaire des aliments ont été également

effectués au Laboratoire de Bactériologie Médicale du Laboratoire Central Vétérinaire (LCV) de Bamako. Ces tests ne feront pas l'objet de la présente étude.

La durée de l'étude était de quatre ans (2006 à 2009).

## III. Résultats

### 3.1. Formulation des rations

La principale source d'énergie utilisée dans les rations des poudeuses est constituée de maïs (54,8-56,5%) auquel s'ajoutent les sons de céréales (blé, mil) s'élevant à 10,6-11,7%.

La farine de poisson représente l'essentiel des apports protéiques dans la plupart des exploitations (15-17,5%). Les tourteaux (coton, soja) constituent dans la ration une moindre proportion (8,5-10%). Quant aux minéraux, la coquille d'huître est la plus répandue dans la ration (6-7,5%).

Le sel et les vitamines sont naturellement inclus dans les rations mais n'en constituent pas une source de variation importante chez les aviculteurs.

Il faut également noter que pour la même spéculation, il n'y a pas de différence dans le niveau d'apport des ingrédients dans le système périurbain.

Les matières premières utilisées proviennent principalement des marchés des grandes villes, approvisionnés à partir des marchés locaux. Parfois, pour faire face à leurs propres besoins souvent élevés, certains aviculteurs cultivent eux-mêmes du maïs.

Les ingrédients disponibles sur les marchés sont généralement limités au maïs comme source d'énergie et au poisson comme source de protéines. Les matières premières telles que les sons de céréales et les tourteaux entre autres sont peu disponibles.

La composition de la ration des poudeuses dans les zones périurbaines du Mali est indiquée sur la figure 1.

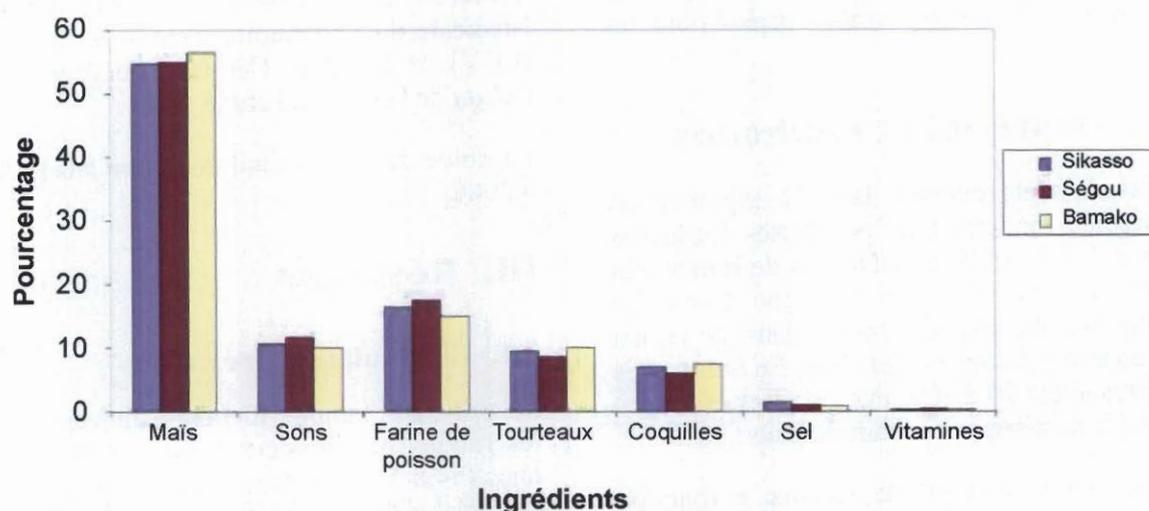


Figure 1. Composition de la ration despondeuses dans les régions de Sikasso, Ségou et le District de Bamako

### 3.2. Qualité des aliments

#### 3.2.1. Composition chimique des aliments et des ingrédients

##### 3.2.1.1. Les aliments

Les résultats des analyses chimiques des aliments provenant des trois sites sont mentionnés dans le tableau I.

Il ressort de l'examen du tableau I que les échantillons d'aliment pourpondeuses avaient un taux moyen de calcium variant de 0,85 à 1,93%, quant au taux de phosphore, il est compris entre 0,51 et 0,84%. Bien que la quantité d'énergie métabolisable ne soit pas

indiquée pour déterminer le ratio Énergie/protéine, le taux moyen de protéines de l'aliment pourpondeuses est de 15,84% à Bamako et 20,86 et 20,55 % respectivement à Sikasso et Ségou. Pour la matière sèche, sa teneur a peu varié, soit 91,53 à 92,60 %.

##### 3.2.1.2. Les ingrédients

Les résultats de l'analyse bromatologique des échantillons de poisson, de son Achcar, de maïs et de coquilles d'huître collectés au niveau de fabriques d'aliments et d'exploitations avicoles localisées en zones périurbaines du District de Bamako, des villes de Sikasso et de Ségou se rapportent à la matière sèche, aux protéines et au phosphore.

Tableau I. Composition chimique de l'aliment pourpondeuses dans les zones périurbaines du Mali

Sites	Matière sèche (MS)	Matières minérales (MM)	Protéines brutes (PB)	Cellulose brute (CB)	Calcium (Ca)	Phosphore (P)	Sodium (Na)	Manganèse (Mn)
Sikasso	92,43±0,29	16,97±3,02	20,86±4,43	2,81±0,03	1,93±1,00	0,51±0,04	0,39±0,09	3,60±0,54
Ségou	91,53±0,22	14,07±2,25	20,55±2,25	2,53±0,10	0,85±0,37	0,84±0,02	0,38±0,03	7,15±0,66
Bamako	92,60±0,95	16,36±2,49	15,84±4,38	3,41±0,25	1,75±1,19	0,56±0,18	0,52±0,11	3,60±0,54

Nota: Les résultats sont exprimés en % par rapport à la matière sèche à 105°C. Il a été utilisé le coefficient de transformation 6,25 pour exprimer le taux de protéines.

Les taux de matière sèche du maïs, du poisson, des coquilles d'huître, du tourteau de coton et du son Achcar ont été respectivement : 86,10%, 91,35%, 95,00%, 95,30% et 92,85%. Seul le maïs a donné un taux inférieur à 90%.

La teneur en protéines des échantillons de poisson testés était comprise entre 28,05 et 35,98%.

Dans les coquillages analysés, les taux de phosphore suivants ont été mis en évidence respectivement dans les sites de Ségou, Sikasso et Bamako : 0,12%, 0,56% et 3,03%.

### 3.2.2. Consommation et indice de consommation des aliments

#### 3.2.2.1. Consommation

La consommation moyenne journalière des pondeuses est donnée au tableau II pour l'ensemble des sites selon le stade physiologique des oiseaux.

La consommation moyenne journalière durant la période de ponte est de 108,54 g/j.

#### 3.2.2.2. Indice de consommation

L'indice de consommation moyen des aliments est présenté au tableau III.

L'indice de consommation sur l'ensemble de la zone périurbaine est de 3,16. C'est-à-dire qu'il faut 3,16 kg d'aliment pour produire 1 kg d'œuf.

### 3.3. Production des œufs

Le taux de ponte dans les zones périurbaines du Mali est donné dans le tableau IV.

Le taux moyen de ponte enregistré durant les 11 mois de ponte était de 66,74%.

La courbe de ponte qui traduit l'évolution de la production d'œufs est mentionnée dans la figure 2.

**Tableau II.** Consommation moyenne journalière des pondeuses en fonction de leur stade physiologique dans tous les sites

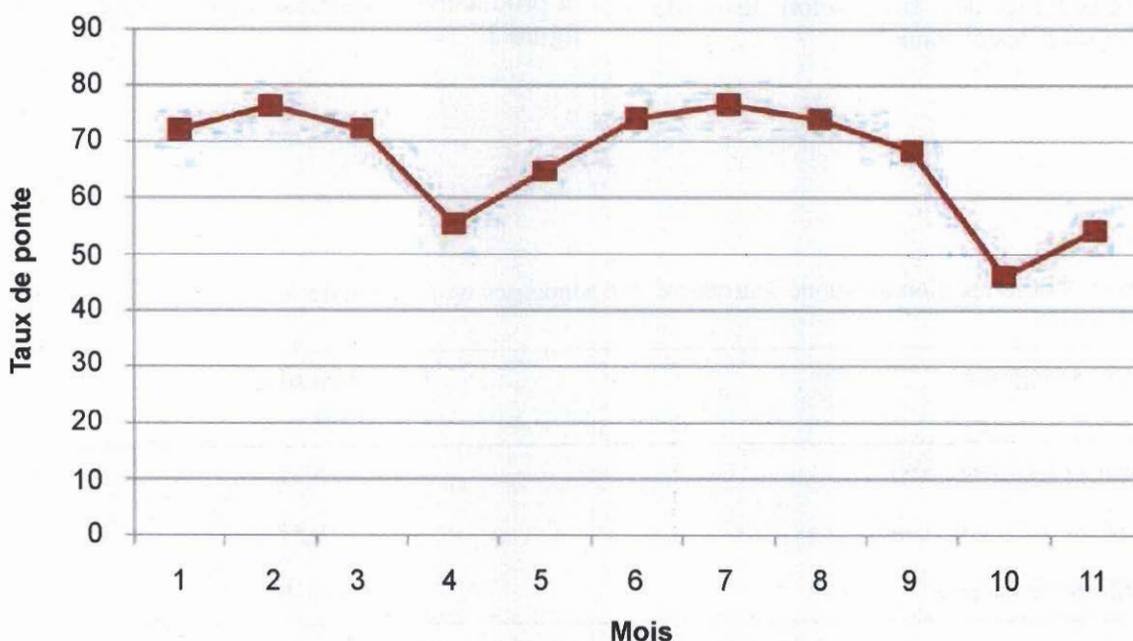
Stade physiologique	Consommation (g/j)
Démarrage (0-10 semaines)	49,01±5,75
Croissance (10-20 semaines)	71,69±9,51
Ponte (20-80 semaines)	108,54±3,44

**Tableau III.** Indice de consommation moyen des aliments

Stade physiologique	Quantité d'aliment consommée (kg)	Quantité d'œufs produits (kg)	Indice de consommation
Ponte (20-80 semaines)	35,82	11,33	3,16

**Tableau IV.** Taux de ponte dans les zones périurbaines du Mali

Mois	Taux de ponte (%)
1	72,13
2	76,35
3	72,23
4	55,37
5	64,78
6	74,06
7	76,65
8	73,96
9	68,37
10	46,15
11	54,12
<b>Moyenne</b>	<b>66,74</b>



**Figure 2.** Courbe de ponte des poules ponduses au cours du cycle de production de 11 mois

La courbe de ponte montre une évolution en dents de scie. Le pic de production de 76,35% est atteint au deuxième mois d'entrée en ponte puis la courbe décroît progressivement jusqu'au 4<sup>ème</sup> mois pour remonter ensuite jusqu'au 7<sup>ème</sup> mois. Elle décroît ensuite pour atteindre son minimum (54,12%) au 10<sup>ème</sup>

mois et amorce enfin une légère augmentation au 11<sup>ème</sup> mois. Donc la courbe suit une évolution normale jusqu'au 2<sup>ème</sup> mois au-delà duquel elle est atypique en raison de la non-maîtrise de certains facteurs tels que la santé et surtout l'alimentation et la nutrition.

## IV. Discussion

### 4.1. Formulation des rations

Le maïs représente la principale source d'énergie utilisée dans les rations des pondeuses (54,8-56,5%). Il en est de même pour la farine de poisson comme source de protéines. La prépondérance du maïs dans l'apport énergétique est une donnée classique dans le rationnement des pondeuses. Les taux peuvent se situer entre 52 et 58%. Pour la farine de poisson qui est pratiquement la seule source de protéines disponible dans les systèmes périurbains, son niveau d'apport est conforme à celui fourni par Sanofi, 1993. Il en est de même des coquilles d'huître dans les rations (Mack et Donald, 1990 ; Besançon et al. 1985).

### 4.2. Qualité des aliments

#### 4.2.1. Composition chimique des aliments et des ingrédients

##### 4.2.1.1. Les aliments

Les échantillons d'aliment pour pondeuses avaient un taux moyen de calcium variant de 0,85 à 1,93 %, ce taux est faible. En effet, selon Sanofi (1993), le taux normal de calcium pour l'aliment pour pondeuses varie entre 3,5 et 4 % selon la souche et l'âge du poulet. Quant au taux moyen de phosphore de 0,51 et 0,84 %, il est légèrement au-dessus des normes admises qui sont de 0,36-0,48% selon les souches (Didier et al., 2006 ; Sanofi, 1993). Bien que la quantité d'énergie métabolisable ne soit pas indiquée pour déterminer le ratio Énergie/protéine, le taux moyen de protéines de l'aliment pour pondeuses est faible à Bamako et excédentaire dans les deux autres sites. En effet, les normes de taux moyens de protéines des rations pour pondeuses sont de 16 à 19 % selon le stade de production (Mack et Donald, 1990). Quant à la teneur moyenne en matière sèche, l'aliment complet étant constitué principalement de céréales, nous pouvons dire que cette valeur est convenable et que les ingrédients étaient bien liés. Cependant, il nous révèle :

- que les ingrédients, sources de calcium n'ont pas été incorporés dans les proportions adéquates dans la ration ou leur composition en calcium est en dessous de la valeur normale ;
- une variation énorme des taux de protéines. Cette variation peut être due pour la même formule alimentaire à la fluctuation de la composition chimique des ingrédients utilisés.

##### 4.2.1.2. Les ingrédients

Le taux de matière sèche du maïs est seulement inférieur à 90 %, taux recommandé par Church et al. (2008). Dans les autres ingrédients (poisson, coquille d'huître, tourteau de coton et son Achcar), la teneur en matière sèche a été largement supérieure à 90 %. Ceci pourrait être lié à des questions de conservation.

La teneur en protéines des échantillons de poisson qui est de 28,05 et 35,98 % est inférieure à celle rapportée par Moula et al. (2009) (60,65 et 72%) et Sanofi (1993) (30 à 60 %). Les méthodes artisanales de fabrication de la farine de poisson pourraient expliquer la faiblesse de ce taux de protéines. Quant aux protéines du son Achcar, leur faiblesse, en comparaison des valeurs recommandées par Besançon et al. (1985) et Sangadou (2001) pourrait, certainement s'expliquer par la variation de la composition des différentes variétés de blé utilisées.

Les taux de phosphore dans les coquillages analysés sont conformes à ceux obtenus par Leeson et Summers (2005), Sanofi (2003) et Blair (2008).

#### 4.2.2. Consommation et indice de consommation des aliments

##### 4.2.2.1. Consommation

La consommation moyenne journalière des oiseaux, de l'entrée en ponte à la réforme, est conforme à celle rapportée par Sanofi (1993) soit 105 à 115 g/j chez des pondeuses à œufs blancs. Mais elle est légèrement supérieure à celle obtenue sur des Leghorn par Traoré et al. (2002), soit 99,9 à 103 g/j. Ceci est lié à la

diversité des souches de pondeuses utilisées dans le système périurbain.

#### 4.2.2.2. *Indice de consommation*

L'indice de consommation sur l'ensemble de la zone périurbaine est de 3,16. Il est comparable à celui obtenu par Somé (2008) sur des hybrides et des races moyennes, soit respectivement 3 et 3,5. Des indices de consommation comparables ont été également rapportés par Somé (2008) en Côte d'Ivoire et au Sénégal, soit respectivement 3,27 et 3,11. Des indices de consommation allant de 2,6 à 2,88 ont été obtenus par Sandagou (2001) chez la Leghorn. Somé (2008) a enregistré des indices de consommation de 2,44 au Maroc. La diversité des souches de pondeuses dans le périurbain pourrait expliquer cette différence.

#### 4.2.2.3. *Production des œufs*

Le taux moyen de ponte enregistré durant les 11 mois de production était de 66,74 %. Pour de nombreux auteurs (Sanofi, 1993 ; Leeson et Summers, 2005 ; Sandagou 2001), le seuil de rentabilité de la production d'œufs au cours d'un cycle de ponte est de 60 % en deçà duquel il est médiocre. Le pic est obtenu en général 5 à 6 semaines après le début de l'entrée en production. Sa valeur et sa persistance dans le temps caractérisent la productivité de l'élevage et sa conduite. Ainsi, un pic de ponte supérieur à 90% est très bon alors qu'il est mauvais en deçà de 80% (Sanofi, 1993 ; Mack et Donald, 1990 ; Besançon et al., 1985). Le faible pic de 76,35% obtenu dans le périurbain serait lié aux incertitudes sur la qualité nutritionnelle des aliments consommés notamment la très grande fluctuation de la teneur en protéines de la farine de poisson et les impuretés qu'elle contient (sable, débris de nattes, morceaux de fer, etc.) d'où l'évolution atypique de la courbe de ponte. En effet, dans une courbe normale de ponte, la production d'œufs baisse régulièrement après le pic, jusqu'à la fin de la ponte (Leeson et Summers, 2005 ; Mack et Donald, 1990 ; Sanofi, 1993). En outre, les différences dans la conduite de l'alimentation et les aspects sanitaires pourraient expliquer l'évolution de la courbe de ponte en dents de scie.

### 4.3. **Contraintes alimentaires et nutritionnelles des pondeuses**

#### 4.3.1. **Les aliments**

Les échantillons d'aliment pour pondeuses avaient un taux moyen de calcium faible (variant entre 0,85 et 1,93 %), le taux normal de calcium pour l'aliment des pondeuses variant entre 3,5 et 4% selon la souche et l'âge du poulet. Cette contrainte est préjudiciable à la formation de l'œuf, notamment la consistance de sa coquille.

Bien que la quantité d'énergie métabolisable ne soit pas indiquée pour déterminer le ratio Énergie/protéine, le taux moyen de protéines de l'aliment pour pondeuses est faible à Bamako et excédentaire dans les deux autres sites (Sikasso et Ségou). En effet, les normes de taux moyens de protéines des rations pour pondeuses sont de 16 à 19% selon le stade de production. Cette faiblesse de la teneur en protéines des aliments entraîne une baisse de la quantité et de la qualité des œufs produits.

En outre, pour la même formule alimentaire, la valeur nutritive de la ration varie dans la même exploitation d'une préparation à l'autre en raison de la fluctuation de la composition chimique des ingrédients utilisés, notamment les sources de calcium et de protéines. Les valeurs bromatologiques trouvées sont différentes des valeurs souhaitées. Ce qui augmente les incertitudes dans la formulation pour l'obtention de rations adéquates.

#### 4.3.2. **Les ingrédients**

L'une des contraintes majeures dans la formulation des rations en aviculture moderne est la pauvreté du marché en matières premières, principalement les sources de protéines, la farine de poisson en était presque l'unique. Cette contrainte limite fortement les possibilités de formulation et de diversification des rations destinées à l'aviculture moderne en général et aux pondeuses en particulier.

Les échantillons de poisson testés contenaient des taux de protéines largement en dessous des

normes indiquées soit 28,05 et 35,98 % contre 60,65 et 72%. Les méthodes artisanales de fabrication de la farine de poisson pourraient expliquer la faiblesse de son taux de protéines. En outre, la quantité et la qualité des pêcheries baissent en hivernage. Ce manque de fiabilité dans la valeur nutritive de la farine de poisson constitue une contrainte majeure en matière de formulation des rations.

L'échantillon de son Achcar connaît la même faiblesse en taux de protéine (12,31 contre 15 et 19%). Cette variation qui pourrait s'expliquer par celle de la composition des différentes variétés de blé utilisées est un handicap dans la formulation.

Dans les coquillages, le taux de phosphore mis en évidence à Ségou est inférieur aux normes (0,12 contre 0,36 à 0,40). Une attention particulière pourrait être accordée à cet aspect dans la formulation des rations.

La conséquence immédiate de ces contraintes est la perturbation de la production d'œufs dont la courbe suit une évolution atypique à l'allure en dents de scie.

## V. Conclusion

Les élevages de poules dans les systèmes périurbains du Mali sont confrontés à des contraintes nutritionnelles et alimentaires qui affectent la production d'œufs. Ces contraintes sont liées aux aliments et aux matières premières.

Les échantillons d'aliments pour poules sont pauvres en calcium, ce qui est préjudiciable à la formation de l'œuf notamment la consistance de sa coquille.

Le taux moyen de protéines de l'aliment pour poules est faible à Bamako et excédentaire dans les sites de Sikasso et de Ségou. L'équilibre de la ration en nutriments est essentiel pour éviter des déficits ou du gaspillage pouvant perturber les productions animales.

Les incertitudes dans la formulation des aliments pour l'obtention de rations adéquates

sont accrues avec la grande fluctuation de la valeur nutritive d'une préparation alimentaire à une autre pour la même formule utilisée.

La pauvreté du marché en matières premières notamment en sources de protéines, limite fortement les possibilités de formulation et de diversification des rations destinées aux poules dans les systèmes périurbains.

Les échantillons de poisson contenaient des taux de protéines très en deçà des normes indiquées en raison des méthodes artisanales de sa fabrication. La farine de poisson étant presque la seule source de protéines, le manque de fiabilité dans sa valeur nutritive constitue une contrainte majeure en matière de formulation alimentaire. Le même constat est valable pour le son de blé en raison de ses diverses variétés.

Le taux de phosphore des coquillages est excédentaire à Bamako et Sikasso contrairement à Ségou où il est déficitaire.

## VI. Perspectives

Des solutions existent pour lever les contraintes nutritionnelles et alimentaires qui affectent la production d'œufs dans les systèmes périurbains du Mali. Parmi ces solutions, citons entre autres :

- la diversification des matières premières utilisées dans l'alimentation de la volaille notamment celle des poules doit être entreprise pour permettre une bonne formulation alimentaire à moindre coût. Cette diversification nécessite l'introduction et/ou le développement de la production nationale et/ou l'importation des matières premières requises dans l'alimentation. Ces matières premières seront des sources de protéines (tourteaux, farine de viande, de sang, graines de légumineuses (niébé), etc.), des sources d'énergie (céréales et sons de céréales, issues de blé, issues de riz, mélasse de canne, drêches de brasserie, etc.), des sources de minéraux (poudre d'os, carbonate de calcium, phosphate bicalcique, etc.);

- la correction de la faible teneur en protéines de la ration (surtout à Bamako) par l'apport de sources de protéines d'origine végétale (tourteaux) et/ou combinées aux sources de protéines animales (farines animales);
- l'amélioration des techniques de collecte et/ou de production de la farine de poisson de façon à sauvegarder sa qualité nutritionnelle;
- la correction du déficit en calcium et en phosphore par l'apport de minéraux comme la poudre d'os, le phosphate bicalcique, etc.;
- le contrôle de la qualité des aliments et des matières premières par des analyses de laboratoire en vue de l'homologation de leur valeur. Ceci permettra à terme une plus grande rigueur dans la maîtrise des référentiels techniques de production d'œufs;
- la mise au point de formules alimentaires efficaces intégrant la diversité des matières premières disponibles conséquemment à l'introduction et/ou au développement de leur production nationale et/ou leur importation. Ceci permettra certainement d'améliorer la production et la qualité des œufs dans les systèmes périurbains du Mali.

## VII. Références

- BANTIÉNI TRAORÉ, ISSA SALISSOU, JOH HANCOCK, FÉLIX ADAH, N'GOLOPÉ KONÉ, OUSMANE KEITA, MODIBO SYLLA, MAMOUROU DIOURTE, DIALLO FATIMATA COULIBALY, SÉKOUBA KEITA et ABOCAR TOURÉ, 2002. Mise au point de rations alimentaires économiques pour la production d'œufs et de chair en aviculture moderne. Rapport de recherche de la 9<sup>ème</sup> session du Comité de Programmes de l'Institut d'Économie Rurale (IER). 11 p
- BESANCON P., HENRY O., ROUANET J.M., 1985. Valeur nutritionnelle comparée des farines délipidées de coton glandless et de soja. In: Le cotonnier sans gossypol, une nouvelle source alimentaire. Actes du colloque IDESSA-CIDT-TRITURAF, Abidjan. Côte d'Ivoire, 26-27 novembre, 1985:97-110.
- BLAIR R., 2008. Nutrition and feeding of organic poultry. Cromwell Press. Trowbridge, UK. 314 p.
- CHURCH M., CILLIERS S.C. et VAN SCHALKWYK, S.J., 2008. Cottonseed meal in poultry diets. *Feedstuffs*, 53 (52): 21-24.
- DIDIER HUONNIC, ROBERT MAURICE, ADELIN HUNEAU, CHRISTINE BUREL et VIRGINIE MICHEL, 2006. Poules poudeuses logées en cages conventionnelles et en volières. *Sciences et Techniques Avicoles* - Avril 2006 - N° 55, p 8-22.
- DNPIA, 2010. Rapport annuel 2010. Direction Nationale des Productions et Industries Animales.
- LEESON S. and SUMMERS J.D., 2005. *Commercial Poultry Nutrition*, (3rd ed). Guelph, Ontario, Canada: University Books. 398 p.
- MACK ET DONALD, 1990. Nutrition and feeding of organic poultry. Cromwell Press. Trowbridge, UK. 314p.
- MOULA N., ANTOINE-MOUSSIAUX N., FARNIR F., PHILIPPART DE FOY M., LEROY P., 2009. Performances zootechniques de la poule Ardennaise une race pour le futur ? *Ann. Méd. Vét.*, (2009), 153. 66-75.
- SANDAGOU AMADOU, 2001. Synthèse sur les rations alimentaires mises au point pour le bétail au Sénégal. Thèses de doctorat – EISMV, Dakar.
- SANOFI, 1993. Guide de l'aviculture tropicale. Sanofi Santé et Nutrition Animale de l'aviculture tropicale - 116 p.
- SOMÉ W., 2008. Etudes de l'aviculture moderne dans la zone de Bobo-Dioulasso et de l'utilisation des farines de chenille de karité (*Cirina butyrosperni* Vuillet) dans l'alimentation des poulettes et des poudeuses de races. Mémoire. Fin cycle. Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. p5-63.

# Typologie et dynamique des mares dans le Delta intérieur du Niger au Mali

## Typology and dynamics of ponds in the Interior Delta of Niger in Mali

Diakité C.H.<sup>1</sup>, Ballo A.<sup>2</sup>, Traoré S.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Sol-Eau-Plante, BP. 262 CRRA de Sotuba, Bamako, République du Mali

<sup>2</sup>Université des Sciences Humaines et de Gestion, Bamako, République du Mali

\*Tél.: +223 76 36 54 84 - Courriel: cheikhamallafr@yahoo.fr

### Résumé

Le Delta Central du Niger ou Delta Intérieur du Niger se situe au centre du Mali. C'est une vaste plaine alluviale de l'ordre de 30 000 km<sup>2</sup> aux ressources naturelles riches et variées. Il est étroitement lié au régime hydrologique des fleuves Niger et Bani dont les apports en eau peuvent atteindre 80 milliards de m<sup>3</sup>. L'eau pénètre dans les cours d'eau principaux et secondaires, les chenaux, les mares et les plaines pour transformer l'ensemble du delta au plus fort de la crue en une immense mer intérieure. Le système mare est représentatif de la morphologie alluviale de la région. Le but de l'étude était de déterminer les différents types de mares dans le Delta Central du Niger. Pour cela, il a été fait une interprétation, une analyse et la cartographie des mares en s'appuyant sur la télédétection. Quatre dates ont été retenues pour conduire l'étude.

Les résultats ont montré que les mares du Delta Central du Niger sont réparties en huit types de mares qui se manifestent tous par des changements de superficies (eau libre, végétation active autour) d'une année à l'autre. Cette dynamique a été constatée sur le terrain en mars 2009 et est visible sur les données graphiques que sont les cartes et images.

**Mots clés:** Delta, mare, type, dynamique, carte, Mali

### Abstract

The Central Delta of Niger or Interior Delta of Niger is located at the center of Mali. It is a vast alluvial plain of around 30 000 km<sup>2</sup> with rich and various natural resources. The region is closely bound to the hydrological regime of the Niger and Bani streams. Their contributions in water can reach 80 billion m<sup>3</sup>. During flood peaks, water penetrates in the main and secondary streams, channels, ponds and plains to transform the entire delta into a massive interior sea. The pond system is representative of the alluvial morphology of the region. The objective of the study is to determine the different types of ponds in the Central Delta of Niger. Therefore, interpretation, analysis and mapping of the ponds were done based on remote sensing. Four dates were selected in order to conduct the study.

Results showed that the ponds in the Central Delta of Niger are divided into eight types. All the ponds show changes in surface area (open water, surrounded by active vegetation) from one year to the next. This dynamic has been noted on the land in March 2009 and has been visible on the graphic data (maps and images).

**Key words:** Delta, pond, type, dynamic, map, Mali

## I. Introduction

Le Delta Central du Niger ou Delta Intérieur du Niger situé au centre du Mali est une vaste plaine alluviale de 30 000 km<sup>2</sup> aux ressources naturelles riches et variées. Son fonctionnement dans la région est étroitement lié aux régimes hydrologiques du Niger et du Bani (Chamard et al., 1997) dont les apports en eau ont atteint 80 milliards de m<sup>3</sup> pendant la décennie 50, et ont diminué jusqu'à 30 milliards de m<sup>3</sup> au cours de la décennie 80 (Adesir, 1999). L'eau pénètre dans les cours d'eau principaux et secondaires, les chenaux, les mares et les plaines pour transformer le delta au plus fort de la crue en une immense mer intérieure.

Selon Diallo (2000), il existe au total 4 867 mares dans le Delta Intérieur du Niger. Le système des mares est représentatif de la morphologie alluviale de la zone: les levées alluviales anciennes, subactuelles et actuelles, les lits ordinaires des cours d'eau et leurs bourrelets de rives, les cuvettes plus ou moins grandes, forment le relief du delta (Diallo, 2000). Les mares (permanentes ou semi-permanentes) ont chacune des caractères propres qui évoluent en fonction de l'hydrologie, du climat, de la saison et des activités qu'elles sous-tendent. Les levées alluviales différencient les fonctionnements hydrologiques du Delta et sous-tendent les activités humaines. Les hommes du delta sont conscients de la dépendance de leur environnement, de leurs activités pastorales, agricoles et halieutiques et de leurs revenus à la ressource eau. Pour améliorer les conditions de l'inondation des plaines et le fonctionnement du système des mares, ils ont creusé dans la partie supérieure des berges des rivières et des *mayodji*<sup>1</sup>, des chenaux larges de 2 à 4 mètres et longs de 10 à 150 mètres (Chamard et al., 1997).

La présente étude avait pour objectif de déterminer les différents types de mares et leur dynamique dans le Delta Central du Niger.

<sup>1</sup>Défluent (*mayo* au singulier, **mayodji** au pluriel, en langue Peulh)

Dans cette zone, la typologie des mares étant fonction de leurs caractéristiques, elles ont été groupées en huit (8) types.

## II. Matériel et Méthodes

### 2.1. Matériel

#### 2.1.1. Localisation et caractéristiques de la zone d'étude

L'étude a été menée dans le Delta Intérieur du Niger dans trois localités qui ont été choisies selon les modes d'utilisation et de fonctionnement des mares et les activités socio-économiques pratiquées (Figure 1). Ce sont Kadiol à dominance élevage, Batamani, localité à dominance pêche et Sévéri, à dominance agricole. Les trois localités sont représentatives des trois systèmes de production du delta.

Le Delta Intérieur du Niger, tel que indiqué sur la figure 1, se situe dans trois régions administratives que sont Ségou, Mopti et Tombouctou. C'est la région naturelle du Delta Central Nigérien. Les précipitations se manifestent pendant 3 ou 4 mois de juin à septembre; entre 1971 et 2007 les pluviométries totales annuelles enregistrées ont varié de 635,4 en 1994 à 242,4 mm en 2002 avec une moyenne annuelle de 430,4 mm; ce qui place la région d'étude dans la zone sahélienne (Figure 2).

Les mois les plus pluvieux sont juillet, août, septembre. Une analyse de l'évolution de la pluviométrie depuis 1971 à partir des données de la station météorologique de Mopti révèle que la saison des pluies peut être précoce en débutant aux mois d'avril-mai.

Pendant les trois dernières décennies, la variabilité a été marquée par des poches de sécheresse en 1971-1974 et 1987-1991.

Si l'année 1994 a été une année à pluviométrie excédentaire avec 635,4 mm de pluies à Mopti, les années 1973 avec 326,2 mm, 1982 avec 324 mm et 2002 avec 242,2 mm ont été déficitaires en pluies.



Dans le Delta Intérieur du Niger, la contribution des précipitations au fonctionnement hydrologique est appréciable.

Les plaines inondables du Delta Intérieur du Niger sont, une fois les eaux retirées, le refuge de millions de bétails qui, au cours de la période des inondations broutent sur les prairies environnantes.

En 2005, il y avait au total 5 millions de bétail comprenant bovins, ovins et caprins qui ont pâturé dans la zone (James et al., 2010) dont les plaines inondables, qui, avec le retrait des eaux, sont converties momentanément en prairies herbues constituées d'une végétation basse et uniforme.

Dans le Delta Intérieur du Niger, la culture du riz est la principale activité agricole. Les terrains occupés par des champs de riz sont de plus en plus des portions de plaines inondables. L'espèce de riz cultivée qui est *Oryza glaberrima* demande la même profondeur de lame d'eau que le riz sauvage et les forêts inondables. Ainsi, l'extension des champs de culture de riz se fait au détriment des habitats naturels (James et al., 2010). Entre 1920 et 2000, l'espace de culture de riz a été multiplié par dix, provoquant une diminution de la superficie occupée par le riz sauvage (Zwarts & Koné, 2005).

Avec l'amélioration des inondations au cours des années 90 et au début des années 2000, les basses terres des rizières ont été abandonnées au profit des champs inondables à un niveau d'eau de 250-360 cm à Akka (James et al., 2010).

Le nombre de poissons capturés dans l'ensemble du delta a varié entre 10000 et 50000 tonnes entre 1977 et 2005 (James et al., 2010). Cette variation est étroitement liée au niveau de la crue de l'eau de l'année précédente. La moyenne de la pêche quotidienne d'un pêcheur a varié de 35 kg/jour en début février à 7 kg/jour en fin juin (Kodio et al., 2002). Cette diminution est liée à l'appauvrissement des réserves halieutiques disponibles et à la fin de la saison de pêche (James et al., 2010).

### 2.1.2. Matériel d'étude

Les outils de télédétection ont été les outils de base pour cette étude. Ils ont été utilisés pour réaliser des enquêtes sur le terrain et pour la cartographie.

Les images Landsat 1978, 1990 et 2000 ont été utilisées pour les travaux de terrain et de cartographie. Le choix des images du satellite Landsat a été guidé par le besoin d'avoir une résolution spatiale plus fine de l'ordre de 20 à 30 mètres pour l'étude des mares, et de disposer de données répétitives et d'accès gratuit. Les images à moyenne résolution, les cartes topographiques de l'IGN de 1956 au 1/200 000<sup>e</sup> et la carte FAO des étages floristiques de 1971 à l'échelle 1/50 000<sup>e</sup> de la zone d'étude en sortie papier ont également été utilisées pour les travaux de terrain. Ces cartes renferment des informations antérieures aux images disponibles.

## 2.2. Méthodes

### 2.2.1. Caractérisation des mares

La méthode d'étude utilisée a été : a) interprétative (interprétation d'images satellitaires), b) analytique (étude minutieuse des données collectées) et c) cartographique (représentation graphique des résultats d'étude). Elle a permis de décrire les mares selon le positionnement, le fonctionnement hydrologique, la forme et l'utilisation.

Partant des connaissances de base sur le Delta, il a été retenu dans chacune des trois localités d'étude dix mares de commun accord avec les populations en fonction des activités autour des mares et selon leur fonctionnement : mares fermées à Kadial, semi fermées à Sévéri et ouvertes à Batamani.

Des mares retenues, l'enquête terrain a porté sur la collecte d'informations sur :

- la position des mares en longitude et latitude par rapport au cours d'eau principal d'alimentation ;
- les cours d'eau alimentant les mares ;

- les formations végétales autour des mares, leur composition ;
- la position en longitude et latitude des sites d'habitation autour des mares ;
- l'utilisation de la mare.

D'autres opérations de positionnement ont été faites au GPS ; elles ont concerné la localisation des points de contrôle et des sites d'habitation que sont les villages, et les dagas<sup>2</sup>. Les points de contrôle ont été pris sur le terrain sur toutes les classes thématiques identifiées sur la carte des étages floristiques.

### 2.2.2. Étude de la dynamique des mares

La dynamique des mares a été mise en évidence par l'évolution de sa superficie à différentes dates par étude diachronique des images. D'une image à l'autre des trois dates disponibles, des observations ont été faites sur l'ensemble des éléments qui composent les trois images. Il a été également fait une identification des unités de paysage autour des mares sur ces différentes images par photo-interprétation. Sur les unités définies la même analyse diachronique est faite afin de comprendre le fonctionnement inter annuel des différents types de mares selon l'évolution de ces unités de paysage. Les images Landsat disponibles sont de 1978, 1990 et 2000.

## III. Résultats

L'ensemble des mares dénombrées dans le delta (4 867 mares) occupe une superficie de 1 903 710 ha (Diallo, 2000). La taille de ces mares varie de moins d'un hectare à plus de 300 hectares et la moyenne est de 3,9 ha.

Trois dimensions de mares ont été bien distinctes en fonction des seuils fixés sur les images satellitaires et les cartes utilisées : la petite taille (1 ha), la taille moyenne (3,9 ha) et la grande taille (300 ha et plus). La taille de la mare est dépendante du milieu physique de sa localisation.

<sup>2</sup>Daga : hameau dans le Delta Central du Niger

L'analyse des émissaires qui assurent la connexion des défluent (*mayodji*) aux mares a permis de distinguer les mares alimentées par des canaux creusés ou aménagés et celles alimentées par les bras secondaires.

Le réseau hydrographique a été visible sur les différents supports graphiques utilisés (la carte topographique de l'IGN, la carte des étages floristiques et les images satellitaires). Son analyse a permis de reconnaître les différents embranchements des cours d'eau, jusqu'à leur connexion aux mares et de distinguer :

- des mares alimentées par déversement au cours de l'inondation des plaines par la topographie faible des bordures ;
- et des mares dont l'alimentation en eau dépend presque exclusivement des pluies, l'apport de l'inondation étant minime, voire négligeable.

Les composantes fonctionnelles du réseau hydrographique ont été très déterminantes pour le regroupement des mares.

Le résultat de notre étude a permis de caractériser huit types de mares dans l'ensemble du delta. Ce sont :

**Type 1 :** il s'agit des mares reliées à un défluent (*mayo*) par un canal aménagé. Ce sont des mares de forme allongée et de taille moyenne. Elles sont permanentes.

**Type 2 :** représente les mares isolées des établissements humains. Ce sont des mares temporaires qui se caractérisent par leur mode d'utilisation.

**Type 3 :** ces mares ont des dimensions très différentes. Leur regroupement dans la même classe est lié à leur fonctionnement temporaire. Elles sont semi-permanentes.

**Type 4 :** ce type représente les mares avec des bordures en pente douce qui sont utilisées comme zone de pâturage au retrait des eaux.

**Type 5 :** ce sont des mares situées à la limite des plaines d'inondation du Niger et des glaciés d'épandage sableux de la bordure orientale ;

leur remplissage est assuré uniquement par les eaux de ruissellement.

**Type 6 :** ces mares se distinguent par le fait qu'elles sont mises en défens pour les pêches collectives de saison sèche.

**Type 7 :** ce sont des grandes mares rencontrées pendant les enquêtes de terrain avec des systèmes d'alimentation en eau très variés.

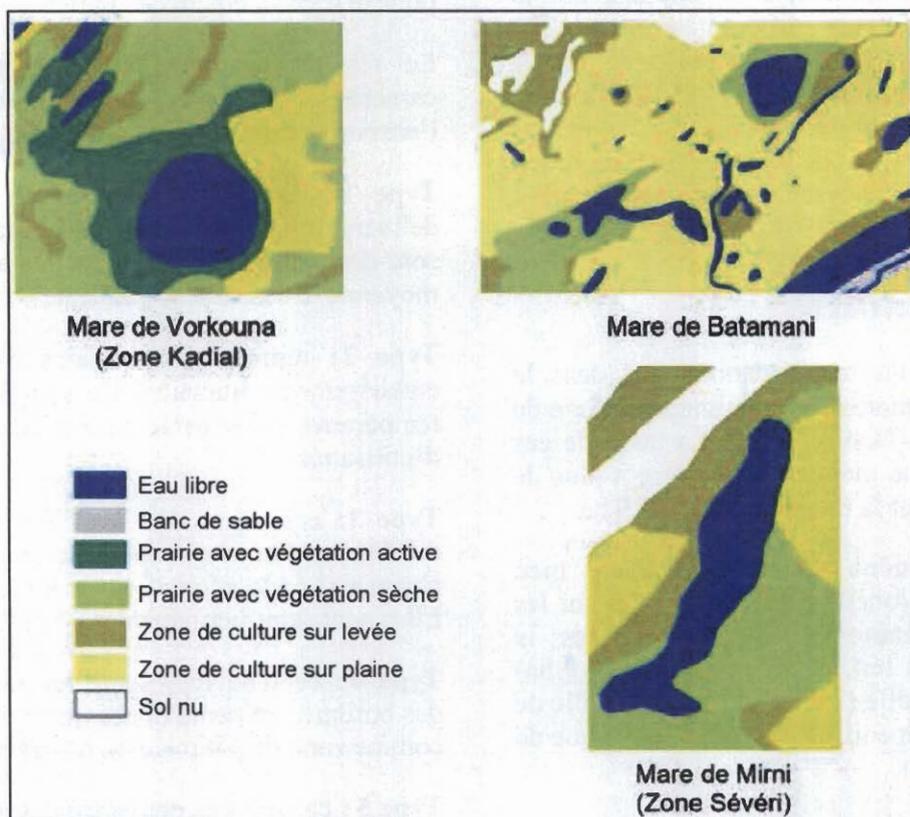
**Type 8 :** ce type regroupe les mares qui ont une couverture continue de végétation active pendant la décrue pendant laquelle elles sont entièrement en eau. Ces mares sont de taille petite (1 ha) à moyenne (3,9 ha).

La dynamique des mares change d'une année à l'autre et dépend de l'abondance hydro-pluviométrique, des caractéristiques de l'eau et de la végétation évoluant autour. Les changements de la superficie de l'eau

libre et la surface couverte par la végétation active constatée sur le terrain en mars 2009 sont visibles sur la carte des étages floristiques de 1971 et sur les images 1978, 1990 et 2000 (Figure 4 et Tableau I).

Les mares changent de superficie quand leur volume d'eau augmente ou diminue (Tableau I). De leur représentation cartographique, on distingue :

- les mares en eau ;
- les mares auréolées de végétation et d'autres pas ;
- les mares en assèchement et/ou tapissées de végétation active ;
- les mares totalement asséchées et tapissées de végétation sèche ou pâturée ;
- les mares totalement asséchées et la végétation pâturée a quasiment disparu.



**Figure 3.** Exemples de types de mares selon la forme dans les trois sites d'étude (Source : OICMA-BDPA/FAO, 1973)

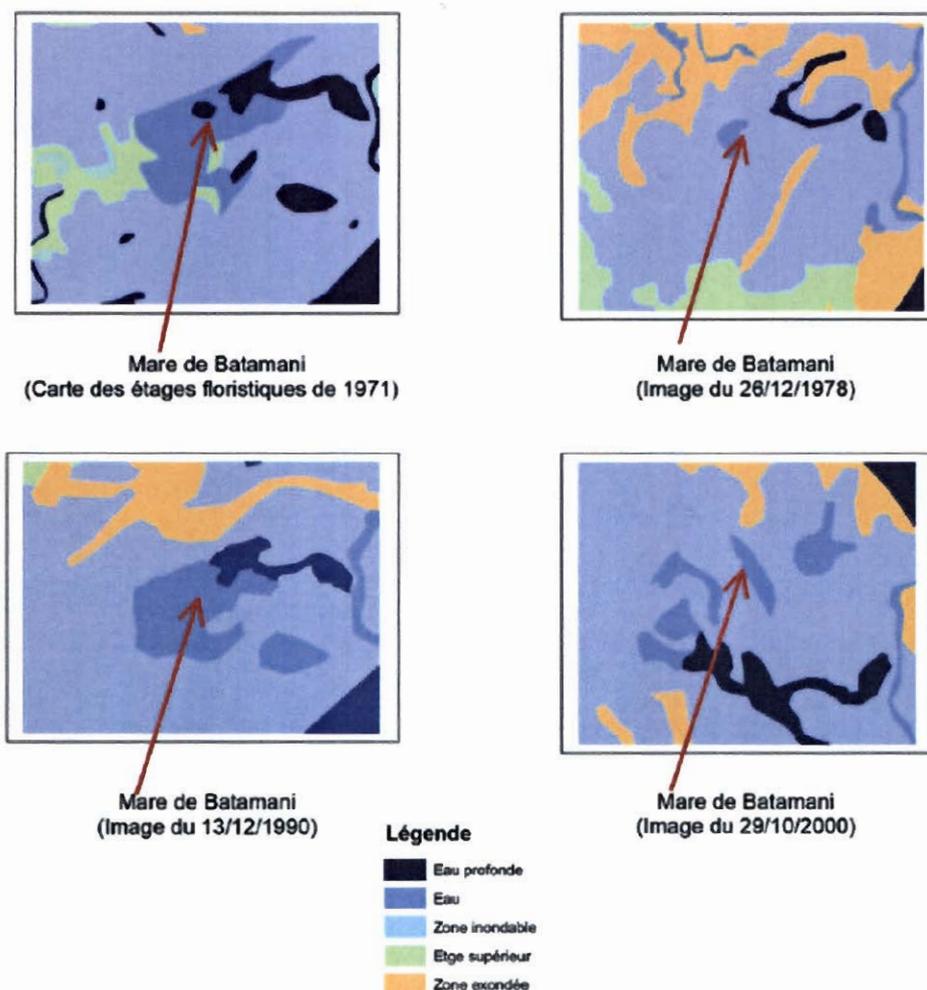
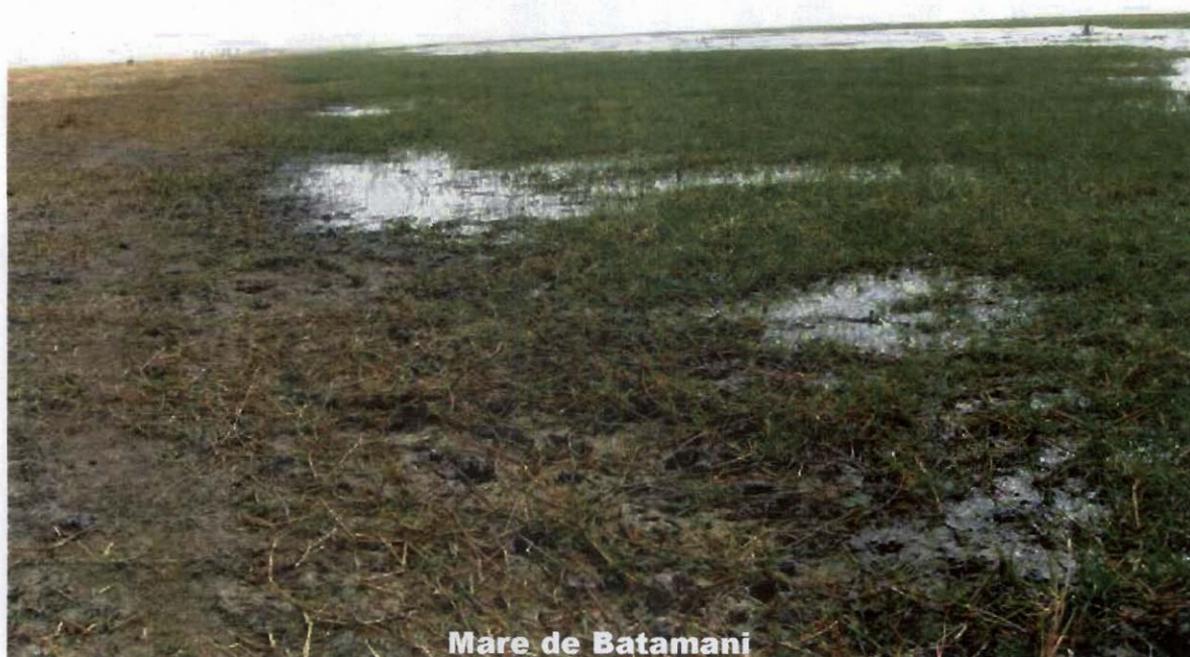
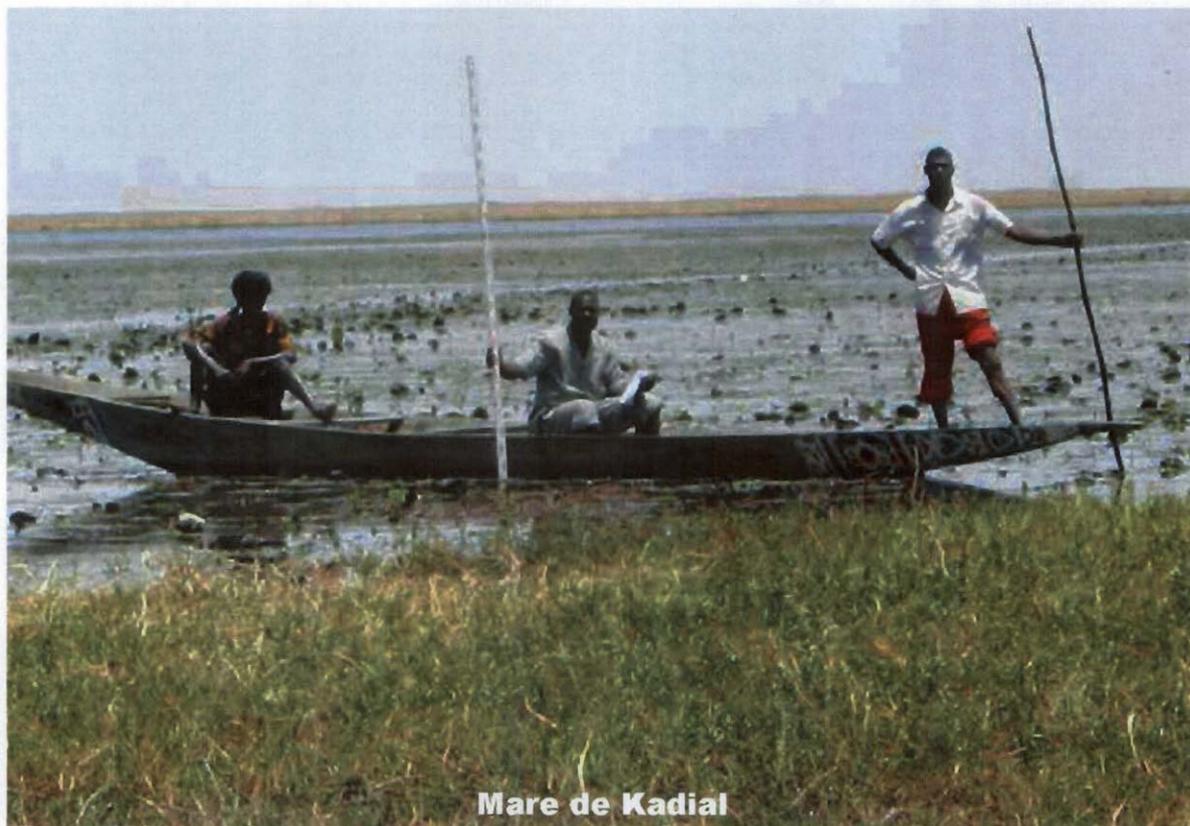


Figure 4. Situation de la mare de Batamani à différentes dates d'étude

Tableau I. Variation interannuelle de 3 mares en 1971, 1978, 1990 et 2000 (en hectare)

Villages et unités de paysages	Années			
	1971	1978	1990	2000
<b>Kadial</b>	Superficie/ha	Superficie/ha	Superficie/ha	Superficie/ha
Eau libre	48,6	29,59	10,36	45,9
Prairie (végétation active)	Pas délimitée	78,37	71,18	27,95
<b>Sévéri</b>	Superficie/ha	Superficie/ha	Superficie/ha	Superficie/ha
Eau libre		34,17	5,419	27,34
Prairie (végétation active)		102,5	89,51	92,95
<b>Batamani</b>	Superficie/ha	Superficie/ha	Superficie/ha	Superficie/ha
Eau libre	95,06	51,86	24,29	91,54
Prairie (végétation active)	291,8	157	133,6	249,7

Source : Diakité et al., 2009



#### IV. Discussion

L'analyse du fonctionnement de la zone a montré la diversité des mares selon les ressources qu'elles renferment; selon qu'elles aient été aménagées pour une meilleure alimentation en eau ou selon divers autres facteurs (riziculture, pisciculture, etc.).

Dans la région, les années 1971 et 1978 ont été considérées comme normales au plan hydrologique où, à Mopti, la pluviométrie était respectivement de 493,4 mm et de 415,7 mm de pluie.

La forme et la surface des mares sont deux caractères importants qui interviennent dans la différenciation physique des mares et contribuent aussi à leur productivité en poissons. La forme des mares intervient dans leur occupation par les poissons pour des besoins divers (riziculture, pisciculture et élevage). Elle diffère d'une mare à une autre et a une influence sur le comportement migratoire des poissons à l'intérieur des mares (Diallo, 2000). La surface est beaucoup plus reliée au volume d'eau et à la topographie, or la production de poissons est liée à l'abondance des crues du Niger et du Bani, (Quensière et al., 1994). Les mares les plus rencontrées sont de forme ovale, ronde, demi-lune pleine et allongée.

Les informations sur le milieu ont permis de comprendre la dynamique du fonctionnement des mares et de leur environnement dans la zone du Delta Central. Ainsi, la pluviométrie et l'hydrologie qui conditionnent la vie animale et végétale sont des paramètres variables dans le temps et dans l'espace. Leur évolution, de 1971 à nos jours, a été marquée par une variation de la pluviométrie en dehors de quelques années normales, voire exceptionnelles.

Au maximum des crues dans le delta, la plupart des mares se trouvent noyées et, de ce fait, se confondent avec les plaines inondées. La limite physique des mares ne peut donc être distinguée. Cette situation

est favorisée par la couverture végétale qui épouse la même physionomie sur les mares et les plaines. En effet, il s'agit de part et d'autre de la couverture de graminées pérennes qui ont à peu près le même cycle de croissance et de développement à la montée des crues. Il en résulte une couverture végétale qui s'élève nettement au-dessus du niveau de l'inondation, de l'ordre de 50 cm à 1 m.

Avant la fin de la phase de décrue, la grande majorité des mares émerge de leur environnement, les limites physiques devenant nettement plus perceptibles. À partir de ce moment, les caractères des mares s'affichent, notamment leur forme, la surface qu'elles occupent, l'état de la végétation de leurs bordures et des berges, l'état de l'auréole de végétation dans leur cuvette, etc. La mare communique encore avec le fleuve.

La saison sèche marque une autre étape dans l'évolution des mares, celle de leur isolement complet. En effet, les *mayodji* et les bras secondaires qui relient les mares et le fleuve s'assèchent, rompent les liaisons mares-fleuve. Cette situation est suivie de la baisse de l'épaisseur de la lame d'eau dans la cuvette des mares. Elle se poursuit dans le temps, au cours de la saison sèche, fortement liée aux facteurs environnementaux qui favorisent en cette période l'évaporation et l'évapotranspiration.

Les changements interannuels de la végétation peuvent être suivis par le biais de la composition floristique qui peut augmenter ou diminuer en nombre d'espèces et leur recouvrement sur la cuvette d'une mare.

En période de bonne pluviométrie ou le fonctionnement hydrologique était normal, en 1971, le *bourgou* (*Echinochloa saligna*) dominait les formations végétales des mares et des plaines basses et se répandant quelque peu sur les plaines moyennement hautes. La carte des étages floristiques de 1971 le prouve. Le *bourgou* occupait les plaines et les bordures des mares (OICMA-BDPA/FAO, 1973) et Gallais (1967) parlait de la colonisation des mares par le *bourgou*.

En 2007, le *bourgou* s'est retranché dans les mares où il est en association avec *Vossia cuspidata* qui semble le dominer dans les formations végétales. En plus des espèces dominantes, il y a d'autres espèces comme les nénuphars, *Neptunia sepium*, le vetiver (*Vetiveria nigriflora*), *Mimosa pigra* et le riz sauvage.

## V. Conclusion

Les enseignements tirés des images satellitaires couplés avec les informations recueillies sur le terrain ont permis de caractériser huit types de mares dans le delta. La forme et la surface ont été deux caractères importants dans la différenciation physique. Elles sont les deux paramètres qui, en fonction de la topographie de la zone du Delta, peuvent expliquer l'importance du volume d'eau emmagasiné ou drainé par différentes mares. Quant à leur dynamique, il a été constaté une variation de surface des mares d'une année à l'autre. Elle dépend de l'abondance hydropluviométrique, des caractéristiques de l'eau et aussi de la végétation évoluant autour. Les changements de la superficie de l'eau libre et la présence d'unités de paysage constatées sur le mars 2009 sont visibles sur la carte des étages floristiques de 1971 et sur les images 1978, 1990 et 2000.

## VI. Bibliographie

- ADESIR-SCHILLING MICHÈLE, 1999. L'herbe, le poisson et le riz. Transformation des paysages et dynamiques paysannes dans le Kotiya (Delta central du Niger, Mali). Paris : Thèse de géographie de l'Université de Paris I, 497p.
- CHAMARD PHILIPPE CLAUDE, COUREL MARIE FRANÇOISE, ADESIR-SCHILLING MICHÈLE & DIAKITÉ CHEICK HAMALA, 1997. L'inondation des plaines du Delta Intérieur du Niger (Mali). Tentatives de contrôle : la réalité et les risques, *Sécheresse*, 8 (3): 151-156.
- DIAKITÉ CHEICK HAMALA, LERHUN JEANNINE, BALLO ABDOU, SOUMARÉ MAMY et TRAORÉ SIDI SOULÉYMANE, 2009. Impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau : « Système de prévision de l'inondation du Delta Central du Niger au Mali et développement régional ; Rapport de campagne de recherche, RIPIECSA/IER, 27p.
- DIALLO ALPHA OUSMANE, 2000. « Contribution à l'étude de la dynamique des écosystèmes des mares dans le Delta Central du Niger au Mali » thèse de Doctorat de l'Université de Paris I, 301 pages.
- GALLAIS JEAN, 1967. Le Delta Intérieur du Niger et ses bordures. Etude morphologique. Mémoires et Documents. Edition du CNRS. 155 p.
- JAMES LETEN, LÉO ZWARTS, SALIKOU SANOGO, MARCEL PORNA KONÉ, SANTARA, LAMISSA DIAKITÉ, PAUL COULIBALY, 2010. Etats des lieux du Delta Intérieur vers une vision commune de développement, Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement du Mali, Bamako, 190p.
- KODIO AMADOU, MORAND PIERRE, DIÉNÉPO KADER & R. LAË, 2002. Dynamique de la pêche du delta intérieur du Niger revisitée à la lumière des données récentes. In: Didier Orange, R. Arfi, Marcel Kuper, Pierre Morand & Evelyne Poncet (eds). Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales: 431-453. Paris: IRD.
- OICMA-BDPA/FAO, 1973. Cartes des étages floristiques dans l'aire grégarienne du Delta Central du Niger, Projet OICMA, 47 cartes au 1/50 000<sup>ième</sup>.
- QUENSIÈRE JACQUES, 1994. La pêche dans le Delta Central du Niger, Approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique, Paris, ORSTOM-IER-Kartala, 535p. (2 volumes),
- ZWARTS LÉO, GRIGORAS ION, HANGANU JENICA, 2005. Vegetation of the lower inundation zone of the Inner Niger Delta. In: Zwarts Léo, Beukering Pieter van, Kone Bakary, Wymenga Eddy, editors. The Niger, a lifeline. Lelystad: Rijksaterstaat/IVM/Wetlands International/A&W. p 109-119.

# Croissance démographique et extension spatiale de la ville de Bamako au Mali

## Population growth and spatial extension of the city of Bamako in Mali

Mariko Seydou

École Normale Supérieure (ENSUP) de Bamako, Maître de Conférences  
Département d'Enseignement et de Recherche (DER) Histoire-Géographie  
BP: 241 – Bamako, Mali  
Tél. : +223 75 10 59 88 / 65 51 05 17 - Courriel : kadiolo16@yahoo.fr

### Résumé

L'article intitulé: « Croissance démographique et extension spatiale de la ville de Bamako au Mali » apparaît tout à fait important dans la mesure où Bamako connaît un grand essor démographique, accompagné par une remarquable croissance spatiale.

L'objectif de l'étude est d'analyser l'accroissement démographique et spatial de la ville de Bamako au Mali, avec les conséquences que cela engendre, en vue de faire des propositions pour pallier les problèmes imminents.

La rédaction de cet article a nécessité la lecture et l'analyse d'ouvrages scientifiques, de travaux de recherche d'hommes de sciences. Aussi, des journaux nationaux, des articles, des mémoires d'étudiants, des thèses de doctorat ont été exploités à bon escient. Les données démographiques et spatiales de l'Institut National de la Statistique, de la Direction Régionale de l'Urbanisme et de l'Habitat du District de Bamako, de la Direction Nationale de l'Urbanisme et de l'Habitat du Mali ont été collectées et utilisées dans l'article. Des lectures faites sur Internet ont également favorisé l'analyse de la croissance démographique et spatiale de la ville de Bamako. L'observation, effectuée sur le terrain à travers la ville de Bamako du 1er au 30 juillet 2016 a permis de faire le constat et de s'imprégner profondément de la réalité des faits.

Dans l'article, la ville de Bamako a été présentée sur les plans historique et physique. Les causes et les conséquences de la croissance démographique et de l'extension spatiale de Bamako ont été analysées. La croissance démographique et spatiale de Bamako ont été

mises en exergue. Aussi, des propositions ont été faites en vue de circonscrire les problèmes qui résultent de la croissance démographique et de l'extension spatiale de la ville de Bamako.

**Mots clés :** croissance démographique, extension spatiale, population, Bamako, Mali

### Abstract

This article entitled "Population growth and spatial extension of the city of Bamako in Mali" is relevant as Bamako is experiencing an incredible growth both in population and size.

The purpose of the study is to analyze Bamako's expansion and population growth occurring in the city along with its consequences and suggested solutions.

Data for this article were collected from previous studies: newspaper articles student work and doctoral dissertation. Statistical data were mainly gathered at the National Institute for Statistics, at the Malian National Directorate of Urbanism and Housing and at the Bamako regional Directorate of Urbanism and Housing. Some field work helped provide first-hand information on the phenomena under investigation. A historical and physical description of the city of Bamako is provided. The causes and consequences of the expansion of Bamako and its population growth are discussed. Recommendations are also made in terms of possible solutions to the problems that led to the situation.

**Key words:** Population growth, urban expansion, population, Bamako, Mali

## I. Introduction

Les villes africaines en général et singulièrement celles d'Afrique subsaharienne, pendant ces dernières décennies ont vu leur population augmentée et cet accroissement s'est accompagnée par une extension spatiale. Au Mali, le phénomène urbain s'est particulièrement opéré au profit de la ville de Bamako, qui, à elle seule, abrite près de 12% de la population urbaine malienne. L'augmentation de la population et de l'espace bamakois résulte de la somme du croît naturel et de l'apport des migrations, provenant de l'intérieur du pays. Cela est à l'origine de la croissante démographique et spatiale, de l'insalubrité de Bamako, la capitale, avec bien entendu un certain nombre de problèmes y afférents. Parmi ces problèmes, nous pouvons entre autres noter: l'apparition de quartiers spontanés, l'insécurité, avec des conditions de vie peu décentes des populations.

La croissance démographique de Bamako a conduit à une extension spatiale forte et incontrôlée, donnant de cette ville une véritable impression de «gâchis urbain» encore plus caractéristique. De nos jours, Bamako n'a plus de disponibilités foncières pour satisfaire aux besoins de ses populations. À cet effet, elle est contrainte de déborder sur les communes périphériques de Sanankoroba, de Mountougoula, de Kalaban-Coro, de Baguinéda, de Safo, de Dialakorodji, du Mandé...

Face à cette croissance démographique et spatiale qui perdure depuis plus de trois décennies dans la plupart des villes d'Afrique, les politiques foncières et de logement engagées n'ont pas atteint les objectifs escomptés (Keita M., 1978; Cathérine Coquery Vidrovitch, 1989). Des efforts, certes sont déployés par les autorités du District pour trouver des solutions à cette extension spatiale et à la croissance démographique de la ville de Bamako. Force est de constater qu'aujourd'hui, certaines populations bamakoises restent confrontées à

un certain nombre de problèmes qui sont loin de trouver des solutions tendant à améliorer leur cadre de vie.

L'extension spatiale de la ville de Bamako, conséquence logique du croît démographique, est surtout entretenue par le fort besoin de logement. La spéculation foncière renforcée a aussi favorisé l'extension spatiale bamakoise et a engendré à la fois des difficultés d'aménagement, de logement, d'équipements, d'assainissement, etc. L'extension est d'autant plus inquiétante qu'elle semble se dérouler en dehors des programmations du Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU) (Diarra, 1999).

Par ailleurs, dans la mesure où Bamako constitue la plus grande ville du Mali, cette cité exerce une forte attraction sur l'ensemble de la population du pays. En moyenne, annuellement, 17000 migrants affluent vers Bamako, attirés notamment par les opportunités d'emploi, d'étude et d'amélioration de leurs conditions de vie (Journal l'Essor, 2009). C'est là que l'essentiel du potentiel économique est concentré, notamment, les établissements des secteurs industriel et tertiaire, comme en témoigne la présence de plus de 1440 entreprises industrielles en 2009 sur les 1607 que compte l'ensemble du Mali, représentant près de 88,9% du tissu national (Institut National de la Statistique, 2008), ou encore, la présence des universités et des grandes écoles nationales. C'est à Bamako qu'il y a les institutions financières, les grandes sociétés commerciales nationales et internationales, les ambassades des pays partenaires, les départements ministériels et les institutions du pays.

À l'instar d'autres villes africaines telles que Brazzaville, Abidjan, Nairobi ou Prétoria Bamako connaît cette croissance démographique et spatiale accélérée. Son rythme de croissance urbaine est actuellement le plus élevé en Afrique et le sixième du monde (Google, 2015).

## II. Présentation historico-géographique de Bamako

Historiquement, les origines de Bamako remontent aux années 1640. La ville doit son nom à un chasseur du nom de Bamba Sanogo qui s'était installé sur le site avec son campement de chasse. Son nom aussi est Samalé Bamba, venu de Samalé qui était un petit village, situé à 35 kilomètres à l'Ouest de Bamako. En langue bamanan (une des principales langues du Mali), Bamako viendrait de «*Bamba*» qui signifie caïman et «*Ko*» qui veut dire rivière. Donc, Bamako signifie la rivière aux caïmans. Selon les armoiries de la ville, les «Trois Caïmans» seraient les trois crocodiles échappés de l'ancien parc zoologique, situé entre l'actuelle mairie centrale du District et le Carrefour des Jeunes. Un jour, sous le bureau d'un commis colonial, un caïman fut retrouvé. Une autre fois, des femmes ont retrouvé sur la voie publique un deuxième caïman. La troisième fois, sur la voie ferrée Dakar-Niger, un troisième caïman a été capturé.



Logo de la ville de Bamako, les «Trois Caïmans»

Bamako fut un grand centre d'échange de produits forestiers et agricoles de l'Ouest (colas, céréales), de sel gemme, de dattes et de pacotilles du Nord. Cet échange donna à Bamako le caractère d'un centre commercial par excellence, qui prendra de l'ascendant jusqu'à l'arrivée des troupes françaises, dirigées par le chef d'escadron Borgnis-Desbordes le 1<sup>er</sup> février 1883. À l'arrivée des colonisateurs, Bamako était un village, composé de quatre quartiers à savoir : Niaréla, Bozola, Dravéla et Bagadadji. À partir de ce moment, Bamako s'est développé au rythme de la colonisation et a pris l'allure d'une véritable ville, grâce à des aménagements urbains et le colonisateur français a doté la ville d'une organisation administrative.

Après les premières œuvres d'organisation entreprises par l'armée française de 1883 à 1907, avec l'œuvre du Gouverneur Général Terrasson de Fougères entre 1914 et 1918, Bamako avait pris l'aspect néo-soudanais. La ville devint le chef-lieu de la colonie du Haut Sénégal-Niger le 17 octobre 1899. Le 20 décembre 1918, Bamako devint une commune mixte, administrée par un administrateur-maire. Officiellement, en décembre 1920, la ville devient la capitale du Soudan Français. Entre 1946 et 1952, le Gouverneur Général Louveau poursuivit les œuvres de construction pour faire de Bamako une ville assainie, avec des services de voirie et des espaces publics verts (Journal l'Essor, 2009).

La ville fut érigée en commune de plein exercice et Modibo Keita devint le premier maire. Elle était dirigée par un gouverneur, nommé par décret et en 1966, par un maire, élu et assisté d'un conseil municipal. À partir de 1978, Bamako devient une circonscription administrative autonome, dirigée par un gouverneur, assisté de deux adjoints et de 40 conseillers (Journal l'Essor, 2009). De 1960 à 2014, la ville a été administrée par douze maires et gouverneurs-maires.

Le tableau I qui suit, montre la succession des différents maires et des gouverneurs à la tête de la ville.

**Tableau I.** Succession des maires et des gouverneurs ayant administré Bamako

N° d'ordre	Prénoms et Noms	Fonction	Années d'administration
1.	Modibo Keïta	Maire et par délégation de pouvoirs : Ibrahima Sall, puis Sunkalo Coulibaly	1958 - 1968
2.	Chef de Bataillon Balla Koné	Administrateur délégué	1969 - 1970
3.	Capitaine Sékou Ly	Administrateur délégué	1970 - 1978
4.	Chef d'Escadron Oumar Coulibaly	Gouverneur	1978 - 1981
5.	Chef de Bataillon Moussa Keïta	Gouverneur	1981 - 1983
6.	Yaya Bagayogo	Gouverneur	1983 - 1990
7.	Abdoulaye Sacko	Gouverneur	1990 - 1991
8.	Madame Sy Kadiatou Sow	Gouverneur	1991 - 1994
9.	Lieutenant-Colonel Karamoko Niaré	Gouverneur	1994 - 1998
10.	Ibrahima N'Diaye	Maire	1998 - 2003
11.	Moussa Badoulaye Traoré	Maire	2003 - 2007
12.	Adama Sangaré	Maire	2007 - 2016

Source : Bureau des Ressources Humaines du District de Bamako, 2016

Au plan physique, la ville est située sur le 7°59' de longitude Ouest et le 12°40' latitude Nord sur les deux rives du fleuve Niger. La rive Nord construite entre le Niger et le Mont Mandingue dans la plaine se réunit aux extrémités Est et Ouest.

La topographie comporte des reliefs beaucoup plus marqués sur la rive gauche du Niger. Dans cette partie, il existe une série de plateaux de grès schisteux et de granites, recouverts d'une carapace latéritique ou ferrugineuse. Prolongement direct des monts mandingues, orientée d'Est en Ouest, cette série de plateaux est par endroits entaillée de gorges et de vallées qui forment des collines appelées « *koulou* ». Les hauteurs moyennes se situent autour de 400 mètres d'altitude. Le point culminant se situe à 550 mètres d'altitude. Le « Dialanakoulou » qui se trouve à côté, domine le fleuve Niger. En position

reculée par rapport au fleuve, se dresse le « Dougakoulou ». À l'Ouest de la rive droite, nous avons le « Badalakoulou » qui culmine à 391 mètres.

Bamako a un climat soudanien, caractérisé par l'alternance d'une saison sèche qui dure six mois et d'une saison pluvieuse allant aussi à six mois. Les températures moyennes annuelles varient de 26 à 30°C. Les précipitations annuelles ont varié, de 1936 à nos jours, de 1 499,5 mm à 722,6 mm avec une moyenne de 1100 mm d'eau. On distingue des sols issus d'altération et de latérisation de la roche et des formations alluviales occupent les lits mineurs et majeurs du fleuve et ses affluents. La formation végétale de la ville est la savane qui a été sérieusement affectée par la coupe de bois pour les besoins domestiques (Koita, 2013).

### III. Croissance de la population et extension spatiale de Bamako

#### 3.1. Croissance de la population

La ville a connu une croissance démographique significative au cours des ans. De 1884 à 1945, la population de la ville a passé de 2 500 à 37 000 habitants, soit un taux d'accroissement de 4,5%. Avant 1945, la population bamakoise évoluait très lentement. À juste titre, les raisons de cette lente croissance de la population sont à chercher dans les pratiques de la colonisation, à savoir: le régime de l'indigénat, les travaux forcés, le recrutement et la mobilisation des soldats pour les deux guerres.

L'évolution démographique de Bamako, plus tard, a pris une forte ampleur à telle enseigne que les autorités ont procédé au lotissement de nouveaux quartiers. Le quartier de Quinzambougou fut créé et loti. Avec l'arrivée des flux massifs de populations à Bamako, des quartiers comme Hamdallaye, N'Tomikorobougou, Missira, N'Yominriambougou et Badialan ont vu le jour. Cette affluence humaine vers la capitale a été favorisée davantage par l'arrivée et le développement des chemins de fer en 1904 et de la création de l'aéroport de Bamako, devenu international en 1945. Aussi, la lutte contre les grandes endémies a-t-elle fait baisser le taux de mortalité urbaine, alors que la fécondité restait inchangée.

La période 1945-1960 constitue une première amorce dans l'accroissement démographique de Bamako. En quinze ans, sa population passa de 37 000 à 130 000 habitants, soit un taux d'accroissement de 8,8% (Diarra et al., 2003). Cette croissance démographique s'explique aisément par le fait qu'après la conférence de Brazzaville en 1944, il y a eu quelques conséquences positives dans les relations qui liaient les colonies à la République Française. Il s'agit notamment, de la création de l'assemblée territoriale et de la représentation des colonies au parlement français. Ces ouvertures seront plus ressenties

dans les villes comme Bamako, Dakar, Conakry où l'activité politique sera intense. En guise de rappel, c'est à Bamako en octobre 1946, que le Rassemblement Démocratique Africain (RDA) a vu le jour.

De 1960 à 1968, la croissance démographique de Bamako a été faible. De 130 800, on passa à 170 000 habitants, soit un taux d'accroissement annuel de 4,08%. Ce ralentissement s'explique fondamentalement par la lutte implacable que les autorités ont menée contre l'exode rural en instituant des «laisser passer» aux sorties des villages et aux entrées de Bamako, refus de délivrer des cartes aux jeunes qui passaient entre les mailles de la brigade routière, multiples rafles à l'approche de la période hivernale (Bleneau et La Cognata, 1972). Ces dispositions ont été rigoureusement appliquées à Bamako; ce qui avait ralenti considérablement l'immigration vers Bamako. Alors, le taux d'accroissement de la population dégringola à 4,08%.

Si les années 1960-1968 ont été marquées par la maîtrise de la population de Bamako, à partir de 1969, c'est la véritable ruée vers la capitale. L'année 1969 est le point de départ de la croissance démographique de Bamako, car entre 1969 et 1976, on assista au doublement de sa population. Le taux d'accroissement annuel de la population 12% pendant cette période est impressionnant. En huit ans d'intervalle, la population de la capitale passa de 170 000 à 419 239 habitants. La part de l'immigration est aussi importante dans cet accroissement phénoménal. En 1976, le constat a été que plus du tiers de la population bamakoise étaient des étrangers. Selon Piché et Ouédraogo, en 1995, 45,4% des immigrants à Bamako se sont installés entre 1969 et 1981, alors que ce chiffre n'était que de 14,9 entre 1960 et 1968. L'immigration n'est pas le seul motif du doublement de la population bamakoise en huit ans. Le début des années 1970 a été marqué par une des sécheresses, les plus atroces. Au Mali, la sécheresse de 1972-1973 a provoqué la disette et a aussi décimé le cheptel du pays. Une épidémie de choléra aggrava la situation. Tous ces événements provoquèrent le désarroi dans le monde rural, d'où un départ

massif vers la capitale, Bamako. La croissance de la population bamakoise entre 1969 et 1976 s'explique également par la baisse de la mortalité, car, de 1960 à 1976, le taux de mortalité a chuté de moitié malgré la difficile conjoncture liée à la sécheresse, le taux de mortalité a passé de 16‰ à 8‰ en l'espace de seize ans. À Bamako, ce taux de mortalité se chiffrait à 8,39‰ contre 11,24‰ pour la moyenne nationale (Diarra *et al.*, 2003). Cette décroissance est due à l'amélioration des conditions sociales et sanitaires.

De 419 239 habitants en 1976, la population est passée à 658 275 habitants en 1987. Cette croissance fut moins forte que celle enregistrée entre 1969 et 1976. Après 1976, on a retrouvé une croissance moins forte avec 4,46% par an. La morosité économique avait fait que la ville n'attirait plus les ruraux, qui ont préféré plutôt se diriger vers la France, le Gabon, la Côte d'Ivoire, la Libye, etc. Le départ des premiers migrants vers ces États date des années 1977-1979. Durant cette période, le taux de natalité à Bamako avait chuté de 43,62‰ à 40,5‰. Cette baisse de natalité s'est accompagnée de celle de la mortalité qui dégringola aussi à 6,06‰; ce qui signifie un accroissement naturel de 3,44% (Diarra *et al.*, 2003).

La baisse constatée pendant la période précédente se confirma nettement. De 658 275 habitants en 1987, la population du District passa à 1 016 167 habitants en 1998, soit un taux d'accroissement annuel moyen de 4,03%. La baisse de ce taux s'explique en grande partie par la faible fécondité, liée à l'importance de la planification familiale, acceptée dans les ménages, à l'usage des préservatifs et aussi la fin de l'immigration définitive, à cause des réelles difficultés, liées à l'insertion urbaine.

Si la décennie 1987-1998 a été marquée par un ralentissement de la croissance de la population, à partir de 1998, la croissance démographique du District a connu un essor prodigieux. C'est ainsi que la population bamakoise passa de 1 016 296 à 1 809 106 habitants en 2009, soit un taux d'accroissement de 5,4%. En effet, en 1998, le poids démographique de Bamako par rapport à l'ensemble du milieu urbain était de 38,6%. Plusieurs explications peuvent être fournies pour justifier cette croissance. Une

des raisons est que la ville était devenue plus attractive pour les ruraux. Une autre raison de cet accroissement trouve sa justification dans l'accès à l'emploi et à la coïncidence aussi avec un début d'industrialisation de la ville qui a attiré des vagues de populations. Des villages périphériques comme Sénou, Yirimadio, Sébénikoro, considérés comme des portes d'entrée de la ville ont été aussi intégrés à Bamako.

La croissance démographique de la ville de Bamako s'explique également par l'arrivée des populations de toutes les régions du pays, de Kayes à Kidal vers Bamako. Ce flux migratoire des populations de l'intérieur vers la capitale malienne trouve sa justification par le manque d'entreprises dans les zones de départ et le chômage qui touche beaucoup de couches sociales. Bamako qui est aussi le centre de convergence des régions abrite les grandes structures étatiques et privées. En 1987, la Commune IV était la plus peuplée avec 137 412 habitants, suivie par les Communes I et II avec respectivement 126 228 et 109 352 habitants. La plus faiblement peuplée était la Commune VI avec 82 117 habitants. En 2009, dans le District, la Commune VI était la plus peuplée avec 470 269 habitants, suivie par les Communes V et I avec respectivement 414 668 et 335 407 habitants. La plus faiblement peuplée était la Commune III avec 128 872 habitants (Mairie Centrale du District de Bamako, 2012).

La croissance démographique du District peut aussi s'expliquer par la baisse de la mortalité urbaine avec une fécondité assez élevée. Avec un croît naturel de 3%, une fécondité de 6,7 enfants par femme en moyenne à en âge de procréer et l'espérance de vie qui s'élève aujourd'hui à 62 ans contre 36 ans pendant les années d'indépendance (Diarra *et al.*, 2003), il est tout à fait logique que l'accroissement démographique et spatial de Bamako se poursuive à un rythme soutenu.

Le tableau II montre la croissance de la population de la ville de Bamako.

**Tableau II.** Croissance et évolution de la population de Bamako, de la fin du XVI<sup>e</sup> siècle à l'an 2020

Années	Nombre d'habitants	Taux d'accroissement annuel de la population (%)
Fin du XVI <sup>e</sup> siècle	600	-
1884	2 500	-
1908	8 000	-
1945	37 000	4,5
1960	150 000	8,8
1968	170 000	4,08
1970	257 000	-
1976	419 200	12
1987	658 275	4,4
1998	1 016 300	4,03
2009	1 809 106	5,4
2020	2 020 700	-

**Source :** Archives Nationales du Mali ; Journal l'Essor du 1<sup>er</sup> décembre 2005 ; DNSI-RGPH, 1976, 1987, 1998, 2009

Au regard du tableau II, le constat qui se dégage clairement est que la population de Bamako s'accroît d'année en année. De 600 habitants à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, sa population est passée à 150 000 habitants en 1960. De 257 000 en 1970, la population bamakoise atteindra 2 020 700 habitants en l'an 2020.

Entre 1998 et 2009, la population de la ville a été multipliée par près de 1,8, soit un taux d'accroissement moyen de 4,8%. Au sein de sa population, la proportion féminine représentait 49,8% contre 50,2% d'hommes, contrairement à la tendance nationale en 2009 (RGPH, 2009). De par ses fonctions économiques, administratives, politiques et sociales, Bamako ne cesse d'attirer les populations de toutes les régions du Mali. De plus, la ville reçoit annuellement de milliers de populations immigrantes, provenant de divers pays. Ce flux d'immigrants contribue à l'essor démographique de la ville qui se singularise aujourd'hui par son cosmopolitisme.

La croissance démographique de Bamako a un impact considérable sur l'extension spatiale de la ville.

### 3.2. Extension spatiale de la ville

Les besoins de logement se posent à la population bamakoise. La multiplication des activités primaires, secondaires et tertiaires fait que Bamako s'étend spatialement. L'extension spatiale du District a astreint la ville à sortir de ses limites et frontières administratives. Cette extension s'est traduite concrètement vers d'autres périphéries avec le débordement du district dans le cercle de Kati.

Spatialement, Bamako connaît une croissance assez remarquable. À l'indépendance, la ville n'avait qu'une superficie de 1846 ha. Des quartiers comme Djikoroni-Para, Djikoroni Ndontomé I, à l'Ouest, ont vu le jour dès l'indépendance. Le quartier Djikoroni-Para avait été créé pour loger les militaires de la jeune armée malienne (Sébastien, 2009). Pendant cette période, de nouveaux quartiers ont été créés le long de la route de Koulikoro. C'est ainsi que les quartiers Hippodrome, Missira, N'datèkoumana, Korofina, Quinzambougou-Est, la Zone Industrielle ont vu le jour. C'est à cette époque que des espaces vides se sont créés dans le tissu urbain bamakois. Rapidement, ces vides ont été comblés par des constructions non contrôlées et des villages de culture. Certains quartiers comme Banconi, par

exemple en est encore le résultat de nos jours. Il faut noter qu'une certaine anarchie s'installe dans l'occupation de l'espace bamakois. Du côté de la rive droite, l'occupation spatiale de Bamako progressa très timidement, car l'essentiel des activités économiques était concentré sur la rive gauche.

Au point de vue urbanistique, les années 1976 ont été marquées par un véritable essor urbain. Ainsi, la ville s'est étendue rapidement sur la rive droite, à l'Est et à l'Ouest. Le quartier Hippodrome, communément appelé «*Million quin*» qui signifie en français, le quartier des millionnaires fut découpé en trois tranches. La première, en 1974, a été attribuée par le Service des Domaines avec des titres fonciers (TF) attribués aux cadres du pays. Les deux autres tranches ont été découpées en lots, de dimensions 25m/20m et distribuées par les autorités du District. L'occupation anarchique de l'espace, à cette période avait pris une proportion importante. C'est ce qui expliqua d'ailleurs la multiplication des quartiers spontanés. Les campements aussi bien que les quartiers spontanés ont été créés un peu partout. Entre 1975 et 1976, des quartiers de «*Sonzoribougou*», désignant lieu d'installation provisoire, de «*Fitiribougou*», qui veut dire un site crée pendant le crépuscule, de «*Siguiplan*», autre expression désignant l'action d'occupation et d'installation malgré l'opposition des autorités supérieures et administratives ont vu le jour.

Face à la création des quartiers spontanés, le Gouvernement du Mali adopta en 1981, le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de Bamako. Ce schéma fut adopté par les autorités nationales en vue de freiner l'extension spatiale anarchique du District. De 1980 à 1985, les quelques rares lotissements qui ont été opérés, ont permis de voir sur la rive gauche le quartier de Boukassoumbougou. Certains lotissements non prévus dans le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme ont été effectués. C'est le cas par exemple du lotissement des quartiers de Baco-Djikoroni et de l'ACI de Kalaban-Coro sur la rive droite. Tout cela a fondamentalement contribué à l'extension spatiale de la ville de Bamako. La

forte croissance urbaine de la ville s'explique aussi en partie par la non application rigoureuse de la politique d'urbanisation, du Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme du District.

En 1974, c'est-à-dire en deux septennats, cette superficie a accru pour atteindre 2 473 ha. En 1986, Bamako avait une superficie de 4694 ha. En 1996, l'ancien aérodrome et ses abords qui couvraient une superficie de 525 ha a été attribué à l'Agence de Cession Immobilière (ACI) afin d'y élever un quartier de haut standing du nom de ACI-2000. En l'espace d'une dizaine d'années, l'étendue spatiale de Bamako a presque doublé pour atteindre 8 219 ha. En 2011, la superficie bamakoise était de 26 553 ha. Spatialement, la Commune I s'étendait sur 34,26 km<sup>2</sup>. La Commune II avait 16,81 ha, les Communes III, IV, V et VI couvraient respectivement 29 ha, 36 768 ha, 41 ha et 8 882 ha (ESA, 2011; Google, 2015; Marie Centrale du District de Bamako, 2012).

Le tableau III montre les six Communes du District de Bamako avec leurs différents quartiers, l'effectif de leur population, la superficie et la densité spatiale.

De l'analyse du tableau III, il ressort que Bamako a au total 68 quartiers, dont la Commune III a le plus grand nombre, suivie par les Communes II et VI, la Commune I avec 9 et les Communes IV et V avec 8 quartiers. Les Communes I, IV et VI avaient le plus grand nombre de quartiers spontanés avec 4, suivies par les Communes II, III et V avec 3 quartiers spontanés.

Au plan spatial, en 2009, les Communes V et VI venaient en tête de peloton avec 8 682 ha, secondées par la Commune IV avec 3 768 ha et en troisième position arrivait la Commune I avec 3 432 ha. La plus faiblement spacieuse était la Commune II avec 1 621 ha.

Au plan de l'occupation spatiale, la Commune II occupait la tête de peloton avec 99 habitants par ha, suivie par les Communes I et IV, avec respectivement 98 et 80 habitants par ha. Les plus faiblement occupées étaient les Communes V et VI avec 54 habitants à l'hectare.

**Tableau III.** Communes du District de Bamako avec leurs quartiers et superficie

Territoires communaux de Bamako	Nombre de quartiers	Dont quartiers spontanés	Superficie (ha)	Densité (habitants/ha)
Commune I	9	4	3 432	98
Commune II	10	3	1 621	99
Commune III	23	3	2 325	55
Commune IV	8	4	3 768	80
Commune V	8	3	8 682	54
Commune VI	10	4	8 682	54
<b>District de Bamako</b>	<b>68</b>	<b>21</b>	<b>23 781</b>	<b>86</b>

Source : DRUH, 1987 et 2009 ; Mairie Centrale du District de Bamako, 2012

#### **IV. Problèmes émanant de la croissance démographique et de l'extension spatiale de Bamako**

La croissance démographique du District de Bamako a incontestablement engendré des difficultés assez importantes en terme de logement. Les infrastructures d'habitation des quartiers centraux du District ne peuvent plus contenir les flux humains provenant du croît naturel, mais aussi, du flux migratoire interne aussi bien qu'externe. Dans ces conditions, une des difficultés qui surgit avec acuité est sans doute le problème de logement. L'insuffisance des infrastructures d'habitation et le problème d'espace pour le bâti se posant, la population urbaine se trouve contrainte de venir se loger dans les zones périphériques du District où la parcelle de terre est à la portée de sa bourse. Le plus souvent, elle se procure des terrains à usage d'habitation sous les formes coutumières et traditionnelles et créant parfois des quartiers non viabilisés, sans aucune infrastructure urbaine (absence d'eau potable, d'électrification, de transport public, d'infrastructures éducatives et sanitaires, de moyens de communication...).

La création de tels quartiers s'accompagne bien entendu de conséquences sociales assez considérables. Dans de tels quartiers, on

assiste à la délinquance sociale, accompagnée de crimes, à la dépravation des mœurs, l'utilisation d'excitants et d'autres actes sociaux répréhensibles. Dans les années 1990, tel était le cas dans certains quartiers comme Banconi en Commune I, Yirimadio, Niamakoro et Sénou en Commune VI.

Dans ces quartiers non viabilisés, bon nombre des habitants n'avait pas accès à l'eau potable. Aussi, le problème d'eau se posait pendant une bonne partie de l'année. Les populations s'approvisionnent en eau dans les puits familiaux dont la plupart tarit pendant la période des grandes chaleurs. La croissance démographique et l'extension spatiale de Bamako ont occasionné un véritable problème d'hygiène publique et d'assainissement. Si autrefois, Bamako était la coquette, aujourd'hui, la ville emmagasine des tas de déchets solides, évalués à 22 405,6 m<sup>3</sup>. Quotidiennement, Bamako produit 2 300 m<sup>3</sup> de déchets alors que les autorités du District n'arrivent qu'à évacuer 54,7% de déchets produits (Mariko, 2014 ; Coulibaly, 1999). Cela pose un véritable problème d'assainissement pour la ville. La croissance de la population et de l'espace bamakois a posé des problèmes de voirie et d'assainissement qui continuent de nos jours.

L'accroissement démographique de la ville a aussi entraîné un réel problème dans le

transport urbain. Aujourd'hui, la circulation routière est devenue un véritable casse-tête, où l'on assiste quotidiennement à des embouteillages, occasionnant ainsi des accidents fâcheux au cours desquels, le plus souvent, des pertes en vies humaines sont enregistrées. Avec l'abondance des moyens de transport et la présence des unités industrielles, l'atmosphère urbaine bamakoise est aussi en train, de plus en plus d'être polluée.

## **V. Propositions pour circonscrire les difficultés liées à la croissance démographique et à l'extension spatiale de Bamako**

Pour juguler les différents problèmes engendrés par la croissance démographique et l'extension spatiale de Bamako, il faut nécessairement une synergie d'actions entre les autorités administratives, les populations résidentes des six Communes du District, les Groupements d'Intérêt Économique (GIE), les Organisations Non Gouvernementales (ONG) et d'autres partenaires de développement du District.

Les autorités des six Communes doivent se mobiliser fortement pour l'aménagement des caniveaux qui sont insalubres. La mise en place de mini-égouts, comme c'est le cas à Djicoroni-Para dans les zones marécageuses du District est nécessaire.

Il est important de procéder à la recherche de bailleurs de fonds en vue d'élargir le réseau d'électrification urbaine, d'adduction d'eau et d'assurer l'évacuation des déchets hors de Bamako.

Plus que jamais, il est indispensable de sécuriser les routes en matière de circulation et de transport collectif, de procéder au renforcement et à l'équipement des brigades de protection civile, d'agir vigoureusement en matière de promotion de l'emploi en vue de lutter contre le chômage qui gagne de plus en plus de terrain.

Il y a lieu de noter qu'à moyen terme, il est nécessaire de maîtriser la croissance démographique, ce qui permettra de ralentir l'accroissement spatial et ses conséquences. Il paraît capital de prendre des mesures idoines pour que les bamakois puissent vivre dans un cadre environnemental plus assaini et propice. À notre avis, en aménageant et en développant les zones rurales, cela pourrait être une panacée pour le maintien de la population rurale et permettrait aussi le ralentissement des migrations internes vers Bamako (Traoré, 1988 ; Koita, 2013 ; Tohina, 2006).

## **VI. Conclusion**

L'étude intitulée : « Croissance démographique et extension spatiale de la ville de Bamako au Mali » a permis de mettre en évidence que la population bamakoise augmente et cette croissance démographique est accompagnée de l'extension spatiale. Bamako s'accroît en effectif et en espace à telle enseigne que des problèmes de logement, d'assainissement, de transport, d'infrastructures scolaires, sanitaires, etc., se poseront dans un avenir proche ou lointain si les dispositions adéquates ne sont pas prises. Mais, il y a lieu de prendre au préalable des dispositions, car, comme on le dit : « gouverner, c'est prévoir ». L'extension spatiale de Bamako s'est accélérée à telle enseigne que la ville n'a même plus d'espaces libres et disponibles. À l'heure actuelle, Bamako est en train de phagocyter les terres des Communes voisines de Safo, Mandé, Sanankoroba, Baguinéda, Kalaban-Coro et autres. L'impérieuse nécessité de minimiser l'immigration rurale vers Bamako se fait aussi voir, sinon, on risque à la longue d'assister au dépeuplement des zones rurales au profit de Bamako.

De notre point de vue, à long terme, les populations bamakoises doivent faire des constructions en hauteur en vue de pallier le problème d'espace qui se pose. La synergie d'actions des autorités administratives et politiques, des structures techniques de l'État telles que : la Direction Régionale de l'Urbanisme et de l'Habitat, la Direction Régionale du Plan, de la Statistique, de l'Informatique, de l'Aménagement du Territoire et



**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**