



LES CAHIERS DE L'ECONOMIE RURALE

Institut d'Economie Rurale – Revue Semestrielle – n°12 Janvier - Juin 2010 – ISSN 1987 - 0000

n°12

Utilisation d'une formulation fongicide à base d'extraits de plante dans la lutte contre la gommose du manguiers à Tienfala (Région de Koulikoro)

1

Adaptation de trois variétés d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) résistantes à la rosette dans la zone de Kita au Mali

20

Mise au point de matériels de récolte pour la promotion de la culture du pois sucré

28

Étude de l'efficacité agronomique du Phosphate Naturel de Tilemsi sous l'action de la matière organique

38

Étude sur la connaissance, l'utilisation des pesticides et les risques d'intoxication des maraîchers et maraîchères de quatre secteurs agricoles de la région de Ségou (Baroueli, Kouyan Coura, Sébougou et San)

51

Isolation and biological characterization of phosphate solubilizing bacteria strains from the rhizospheric soils of corn in Mali

70



La Recherche Agricole au Service du Développement Rural



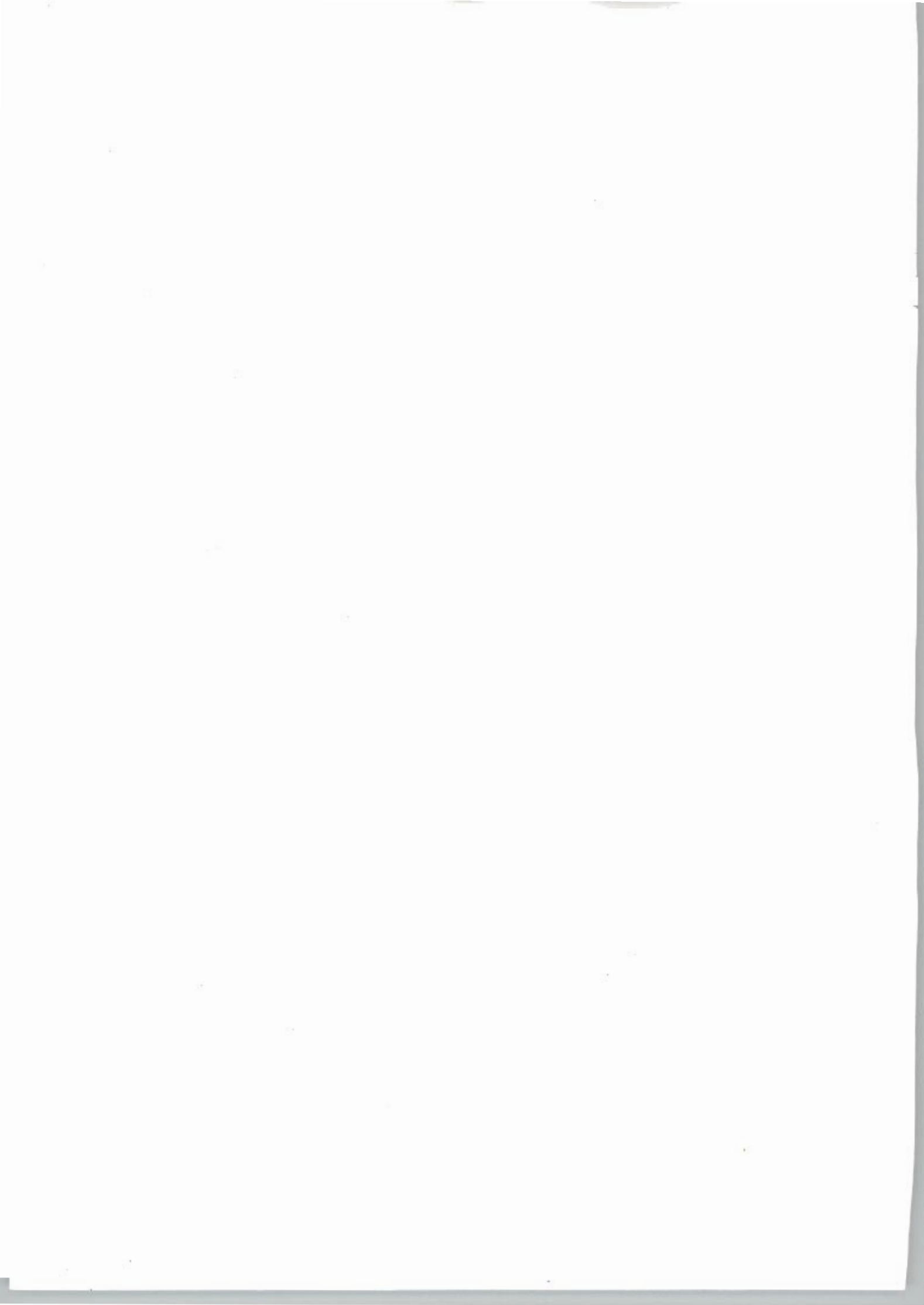
LES CAHIERS DE L'ECONOMIE RURALE

N° 12 – Janvier-Juin 2010

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





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 Aly Kouriba
Éditeur Scientifique : Dr Samba Soumaré
Secrétaire de rédaction : Dr Lassine Diarra

Comité de rédaction

Pr Daniel Dansonko, IPR/IFRA Katibougou
Dr Tiéma Niaré, Université de Marseille
Dr Pierre Hiernaux, CESBIO, Toulouse
Dr Kalifa Sanogo, PNUD, Bamako
Dr Mamadou D. Coulibaly, DNPIA, Bamako
Dr Mike Bertelsen, Virginia Tech
Dr Peter White, Washington State University
Dr Oumar Niangado, Fondation Syngenta
Pr Siaka Sidibé, Hôpital du Point G, Bamako
Pr N'Golo Diarra, INSFRA, Bamako
Pr Alhousseini Bretaudeau, CILSS, Ouagadougou
Pr Aly Yéro Maïga, CNRST, Bamako
Dr Niamoye Yaro, Institut d'Économie Rurale, Bamako
Dr Abdou Yéya Maïga, Institut d'Économie Rurale, Bamako
Dr Abdoul Karim Traoré, Institut d'Économie Rurale, Bamako
Dr Abdoulaye Hamadoun, Institut d'Économie Rurale, Bamako
Dr Amadou Kodio, Institut d'Économie Rurale, Bamako

Comité scientifique

Dr Aly Kouriba, Institut d'Économie Rurale, Bamako
Dr Lassine Diarra, Institut d'Économie Rurale, Bamako
Dr Modibo Sidibé, Institut d'Économie Rurale, Bamako
Dr Bara Ouologuem, Institut d'Économie Rurale, Bamako
Dr Ibrahima N'Diaye, Institut d'Économie Rurale, Bamako
Dr Gaoussou Traoré, Institut d'Économie Rurale, Bamako
Dr Zana Sanogo, Ministère de l'Agriculture, Bamako

INFORMATIONS ET INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

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

I. Généralités

1. Manuscrit

Le manuscrit est saisi sur ordinateurs (en interligne 1.5) et imprimé sur papier de format 21 cm x 29.7 cm avec une marge de 4 cm à droite comme à gauche, sans rature ni surcharge. Sa longueur ne doit pas dépasser 15 pages, y compris les illustrations et les tableaux.

Le manuscrit soumis en trois exemplaires, ainsi que la version électronique, doivent être envoyés à l'adresse suivante : Dr Lassine Diarra, Éditeur scientifique, BDIP IER, B.P. 258, Bamako, Mali. Email : lassine.diarra@ier.ml

2. Style

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

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

3. Notes en bas de page

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

4. Pagination

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

5. Unités de mesure

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

6. Procédure d'évaluation des manuscrits

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

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

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

7. Corrections des mises en page

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

8. Tirés à part

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

II. Organisation du manuscrit

1. Première page

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

Cette page contiendra également un résumé en français et un résumé en anglais plus substantiel dans le cas d'un manuscrit en français et inversement. 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^{ème} cycle. Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 150 pages.

- Communications

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

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

9. Liste des taxons végétaux cités

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

10. Illustrations

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

11. Tableaux

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

Chers Auteurs,

**Envoyez vos articles aux Cahiers de l'Économie Rurale
pour la survie de votre revue**

Utilisation d'une formulation fongicide à base d'extraits de plante dans la lutte contre la gommose du manguier à Tienfala (Région de Koulikoro)

Use of a plant extract-based fungicide formulation in mango tree gummosis control in Tienfala (Koulikoro region)

Moussa N'Diaye¹, Bouréma Dembélé², Oumar Diop³

¹Spécialiste en protection des végétaux, CRRRA/Sotuba/IER

²Chercheur en protection des végétaux, IER

³Technicien supérieur d'Agriculture, CRRRA/Sotuba

Résumé

Actuellement, dans la région de Koulikoro, plusieurs plantations sont en train de perdre des manguiers à cause, d'une part, du vieillissement des arbres et, d'autre part, d'un manque d'entretien notoire dû au découragement, lui-même né du déficit d'eau et de sévères attaques de maladies fongiques. L'un des fléaux, la gommose, est responsable des pertes assez importantes de manguiers dans les plantations de la région. Les gommoses sont des maladies de certains arbres, qui se caractérisent par une exsudation de liquide visqueux aux abords de fissures, de chancres ou de nécroses des écorces. C'est pour arrêter les ravages causés par cette maladie, qu'un test de lutte a été installé dans les plantations de manguiers de Tienfala (région de Koulikoro). Ce test a consisté à nettoyer la plaie, préalablement grattée à l'aide d'un couteau, avec une formulation liquide, suivie d'un badigeonnage avec la formulation poudre mouillable d'un fongicide à base d'extraits de plante. Les pratiques ont porté sur un échantillon de 24 arbres atteints de gommose. Les travaux ont été menés de la façon suivantes : 12 arbres ont été traités avec les deux formulations du fongicide à base d'extrait de plante et 12 témoins n'ayant fait l'objet d'aucune pratique. Les résultats obtenus ont montré que les arbres traités avec la formulation liquide combinée au badigeonnage de la plaie avec la formulation

poudre mouillable ont retrouvé leur santé avec la cicatrisation des plaies causée par cette maladie. Quant aux arbres non traités, on n'a pas noté d'amélioration de leur santé, dans certains cas, la situation sanitaire de ces manguiers s'est même aggravée par une évolution de la maladie. Donc l'herbicide naturel à base d'extrait de plante s'est montré efficace dans la lutte contre la gommose des manguiers à Koulikoro.

Mots clés : Manguier, Extraits de Plante, gommose, *Phytophthora*, *Fusarium*, mycélium, hypno spores.

Abstract

Nowadays, many orchards in the region of Koulikoro are losing mango trees partly because of the ageing of trees and partly because of an obvious lack of maintenance resulting from disappointment, itself caused by water shortages and severe fungal disease attacks. Gummosis – one of these plagues – is responsible for the quite significant loss of mango trees in the region's orchards. Gummosis is a disease that affects some trees and is characterized by the exudation of a viscous liquid around cracks, cankers or bark necrosis. To stop the devastation caused by this disease, a control test has been conducted in mango plantations in Tienfala (Koulikoro

region). This test consisted in the cleaning of the wound, previously scratched with a knife, using a liquid formulation, followed by a paint-on treatment with the plant extract-based slurry formulation. The test focused on a sample of 24 gummosis-affected trees. The work was conducted as follows: 12 trees were treated using both plant extract-based fungicide formulations, while 12 trees were used as control witnesses not having been the object of any practice. The test revealed that the trees subjected to a combination of liquid formulation application and paint-on treatment of the wound with the slurry formulation recovered, with the callusing of the wound caused by the disease. As for the untreated trees, no improvement in their health was seen. In some cases, the condition of these mango trees even worsened as the disease evolved. Therefore, the plant extract-based natural herbicide showed effectiveness in the control of mango tree gummosis in Koulikoro.

Key Words: Mango tree, plant extract, gummosis, *Phytophthora*, *Fusarium*, mycelium, hypno-spores.

I. Introduction

Présentement dans la région de Koulikoro, le vieillissement des manguiers suivi d'un manque d'entretien notoire, expliquent la perte de manguiers dans cette région. Le manque d'eau et de sévères attaques de maladies fongiques sont causes de découragement chez les producteurs. L'une de ces maladies, la gommose est responsable des pertes assez importantes de manguiers dans les plantations de la région. Ces effets sont constatés par les paysans qui assistent impuissants, à la perte des arbres, sans aucune réaction de défense contre cette maladie. C'est pour venir en appui à ces planteurs que l'IER, en rapport avec la Chambre Régionale d'Agriculture de Koulikoro, a élaboré un programme de recherche sur ce thème avec pour objectif d'aider les planteurs de la région à protéger leur manguier contre la gommose avec des technologies simples et efficaces, sans aucun effet sur l'environnement.

II. Matériel et méthode

Vingt quatre (24) pieds de manguiers (variété Amélie Mali) atteints de gommose à des degrés différents ont servi de support pour la réalisation de ce test. Le grattage de la plaie causée par la gommose a été effectué à l'aide d'un couteau en dents de scie. Le nettoyage de la partie blessée a été effectué en utilisant un chiffon imbibé de fongicide naturel liquide servant de désinfectant, suivi du badigeonnage de la plaie avec une formulation poudre mouillable du même produit. Toutes ces opérations ont été effectuées à la main. Chaque manguier malade traité a été identifié par une plaque portant un numéro allant de 1 à 12. Les formulations fongicides naturelles à base d'extraits de plante ont été fabriquées à partir des extraits d'une plante sauvage (*Pterocarpus erinaceus* Poir) appartenant à la famille des Fabaceae. Cet arbre a une taille variant entre 12 à 15 m et peu souvent atteindre 35 m de haut avec une couronne ovale ou ronde projetant peu d'ombre. Écorce brun noirâtre (presque noir), très écaillée à tranche brune (jaune) striée de rouge, exsudant une résine rouge translucide qui durcit vite à l'air. Racines formant des contreforts avec l'âge. Rameaux très pubescents. Feuilles alternes, atteignant 30 cm de long avec beaucoup de nervures latérales parallèles arrondies de chaque côté. Fleurs en panicule jaune clair, calice ventru, pubescent de 5 mm de long, denté ; corolle courte en papillon, de 10 à 12 mm. Fruits mûrs de décembre à janvier, membraneux, ayant 7,5 cm de diamètre, persistant longtemps sur l'arbre ; la graine est entourée d'une aile et hérissée de poils épineux. Environ 3500 graines par kg de semence. L'espèce est distribuée du Sénégal au Gabon.

2.1. Préparation de la formulation

On brûle 200 kg de bois de *Pterocarpus erinaceus* Poir pour récupérer 4 kg de cendre que l'on met dans une passoire perforée de petits trous d'une capacité d'environ 8 litres. Au fond de la passoire, est placée une toile permettant de filtrer le liquide. On ajoute au contenu de la passoire 5 litres d'eau. Après le suintement pendant 6 à 7 heures, le

filtrat de coloration rouge sale est chauffé à plus de 100° jusqu'à ce que l'eau s'évapore totalement. Il reste au fond du collecteur une substance cristalline de couleur ocre qui se solidifie en présence de l'air. Pour obtenir la formulation liquide, 500 g de ce produit broyé sont mélangés avec 100 g de broyat de feuilles de neem à cela s'ajoute 1 litre d'eau pour filtrer la bouillie avec un tamis ou une toile. Pour obtenir la formulation de poudre mouillable, 500g du produit sont mélangés à 100 g de broyat de feuilles de neem et 200 ml d'eau et on mélange. Après la préparation, les deux formulations sont prêtes à l'emploi.

2.2. Caractéristiques des formulations

Ce fongicide naturel, à base d'extraits de plantes, est classé selon son mode d'action parmi les fongicides de contact ; il n'est pas absorbé par la plante. C'est un produit non systémique : c'est pourquoi il est nécessaire de répéter les applications afin de renouveler le dépôt protecteur sur la plante. C'est un produit curatif, utilisé pour détruire les structures fongiques à l'intérieur ou à l'extérieur de la plante ; l'application a lieu après le début de l'infection, c'est-à-dire pendant la période d'incubation. Il est également un fongicide éradicateur utilisé pour détruire des structures déjà visibles et pour éviter une sporulation consécutive au développement de la maladie.

2.3. Dispositif expérimental

Le dispositif adopté a été celui des essais sur grandes parcelles dans quatre vergers représentant quatre (4) zones d'échantillonnage chacune contenant 6 arbres dont 3 manguiers malades traités avec les formulations fongicides et 3 manguiers malades non traités, utilisés comme témoins. Les paramètres à comparer sont les suivants :

A = Échantillons traités avec les formulations fongicides

T = Témoins sans aucun traitement

2.4. Paramètres évalués pour déterminer l'efficacité du produit

Deux paramètres ont été suivis pendant un 3 mois. Il s'agit de :

- la phytotoxicité du produit ;
- l'évolution de l'attaque avant et après l'application des formulations.

Phytotoxicité du produit

Elle a été évaluée en utilisant l'échelle EWRS (*European Weed Research Society*), présentée par le tableau I.

Tableau I. Échelle d'évaluation EWRS

Notes	Symptômes de phytotoxicité
1	Aucun symptôme/plante saine
2	Symptômes très faibles, légère dépression de la croissance
3	Symptômes faibles, mais nettement visibles
4	Symptômes plus prononcés (p. ex. chlorose) apparemment sans influence néfaste sur la production.
5	Éclaircissage de la végétation, forte chlorose chute des feuilles et réduction probable de la production.
6	Augmentation des dommages jusqu'à dépérissement complet.
7	
8	
9	

Évaluation du degré d'attaque

Le degré d'attaque a été évalué par observation visuelle de la surface attaquée du végétal et par une notation de celle-ci. Les notes varient de 90 pour les cas les plus graves à 1 pour les plaies complètement cicatrisées. La notation de l'évolution de la maladie a été faite trois mois après application du fongicide suivant la grille ci-après (tableau II).

Tableau II. Notation du degré d'attaque.

État sanitaire du manguier	Notation de l'infection
Plaie complètement ouverte, exsudation de gomme	90
Début de fermeture de la plaie, diminution des exsudats	70
Fermeture de la plaie à 50%, arrêt de la coulée des exsudats	50
Fermeture de la plaie à 80%, arrêt total de la coulée des exsudats	20
Cicatrisation totale de la plaie, guérison de la maladie	5
Disparition des traces de la maladie	1

2.5. Méthodes d'application des produits

Le fongicide à base d'extrait de plante a été appliqué sur 12 manguiers malades par grattage des nécroses, nettoyage de la plaie avec la

formulation liquide suivi du badigeonnage avec la formulation poudre mouillable. Cette application est répétée 5 fois par intervalle de 4 jours entre les applications. Quant aux manguiers non traités, ils n'ont subi aucun traitement.

Technique d'application de la formulation liquide du fongicide naturel



Photo N°1 : Couteau en dents de scie utilisé pour le grattage



Photo N°2 : Technique de grattage de la plaie au niveau du tronc



Photo N°3 : Chiffon imbibé de produit pour le nettoyage de la plaie

Technique d'application de la formulation poudre mouillable du fongicide naturel



Photo N°4 : Grattage de la plaie avant application du produit



Photo N°5 : Badigeonnage de la plaie avec la formulation poudre mouillable après nettoyage



Photo N°6 : Présentation de la plaie après application de la formulation

III. Résultats obtenus

3.1. Observation des manguiers malades

Les observations faites avant le traitement des manguiers malades ont permis de constater que les gommoses sont des maladies de certains arbres, qui se caractérisent par une exsudation de liquide visqueux aux abords de fissures, de chancres ou de nécroses des écorces. L'exsudation de ces substances vient souvent en réaction à des blessures ou des attaques parasitaires. Des espèces de champignons tels que *Fusarium* et *Phytophthora* sont souvent à l'origine des gommoses. Là où se développe une gommose, les conditions sont souvent propices à l'installation de parasites secondaires qui envahissent les tissus de la tige et y provoquent des pourritures malodorantes et d'importants dégâts (N'Diaye M., 2009). *Fusarium* et *Phytophthora* appartiennent au groupe des champignons. Les champignons sont des organismes exempts de chlorophylle

possédant un ou plusieurs noyaux, mais sans vaisseaux. Les champignons forment un groupe d'organismes riches en espèce. L'infestation d'un tissu végétal par ces organismes peut se faire par sa surface intacte, par des ouvertures naturelles ou par des blessures. Contrairement aux virus et aux bactéries, de nombreux champignons sont à même de pénétrer activement dans la plante par la surface intacte des feuilles ou de la tige. La transmission des champignons d'une plante à l'autre peut se faire principalement par les racines, les graines et au moyen de l'eau (pluie, irrigation) ou par le vent. Le transport par le vent est le principal moyen de propagation des spores de champignon. Leur survie est rendue possible grâce à la formation de mycélium ou de spores à paroi résistante (hypno spores). Les pertes occasionnées par les champignons varient d'une culture à l'autre et dépendent en grande partie des conditions météorologiques. Ils jouent un rôle particulièrement important dans les régions à climat chaud et humide.



Photo N°7 : Coulée de gomme d'un tronc de manguiier par suite de gommose



Photo N°8 : Tronc de manguiier atteint de gommose (blessure couverte de nécroses)

3.1.1. Symptômes de la gommose

Le début se manifeste sur le tronc du manguiier par de petites plaies longitudinales de quelques centimètres de long qui affectent l'écorce ; les blessures débridées à l'aide d'un couteau laissent apparaître une nécrose des tissus sous-jacents de couleur brune, de diamètre souvent supérieur à 10 cm et limitée en profondeur par le bois indemne de brunissement. Ces symptômes visibles seulement après suppression superficielle de l'écorce peuvent atteindre les rameaux les plus jeunes lorsque

le manguiier est très atteint. Des écoulements de gomme se font à partir des nécroses. On note un ou plusieurs chancres sur le tronc par arbre (N'Diaye, 2009).

3.1.2. Agents causals

Des exsudations de gomme se produisent sur le tronc du manguiier. Les cultures faites par les chercheurs permettent de rattacher ce *Phytophthora* à l'espèce *palmivora*. Dans certains cas, on observe des craquelures du tronc.



Photo N°9 : Début d'attaque (présence de petites plaies longitudinales sur l'écorce)



Photo N°10 : Début de coulée de gomme à travers les blessures sur l'écorce

3.1.3. Quelques causes de la transmission du champignon au manguiier

Une blessure provoquée par l'homme (N'Diaye, 2009) peut être une porte d'entrée du parasite. Les organes de conservation (spores, conidies, etc.) qui se trouvent dans le sol sont transportés par le vent, les instruments de travail et déposés sur les blessures volontaires



Photo N°11 : Blessures sur le tronc provoquées par l'homme

provoquées par l'homme sur le manguiier par enlèvement des écorces pour usage sanitaire. Certains instruments de travail sont souvent plantés dans l'écorce du manguiier provoquant des blessures. Le manguiier réagit par coulée de gomme pour cicatriser la plaie, et des nécroses (portion de tissus morts) peuvent se localiser ou se généraliser autour de la plaie.



Photo N°12 : Des enlèvements de l'écorce constituent la principale source d'infestation

3.1.4. Les agents secondaires

D'autres types de champignons macroscopiques, saprophytes souvent parasites, s'attaquant à de nombreuses espèces peuvent également se développer sur les nécroses d'une cicatrisation mal contrôlée par le manguiier

après une blessure (N'Diaye, 2009). Les espèces parasites accomplissent leur développement aux dépens des parties ligneuses en particulier du l'aubier. Les tissus altérés perdant toutes résistances, les branches ou les troncs des manguiers atteints peuvent s'effondrer sous l'action du vent (N'Diaye, 2009).



Photo N°13 : Champignons saprophytes apparaissant sur le tronc après une attaque sévère de gommose



Photo N°14 : Champignons saprophytes apparaissant sur le tronc après une taille de régénération



Photo N°15 : Champignons parasites provoquant des fissures sur l'écorce du manguiier

3.1.5. Perturbation de la nutrition du manguiier suite à une destruction de la tige par la gommose

La tige et les rameaux forment la charpente de la plante et transportent les sèves. Pour ce transport, les tiges et les rameaux sont pourvus de très fines canalisations ou vaisseaux. Dans le bois, la sève brute monte des racines vers les feuilles. Dans l'écorce, les canaux conduisent la sève élaborée des feuilles vers les autres parties de la plante : fleurs, fruits, racines, bourgeons. Lorsque la gommose attaque le tronc du manguiier, elle interrompt la circulation de la sève élaborée qui se dirige des feuilles vers les autres organes. Par contre, lorsque l'attaque se fait au cœur de la tige, ou dans le bois, c'est la montée de la sève brute des racines vers les feuilles qui est gênée ou interrompue. Dans ce cas, l'activité des feuilles est bloquée. Elles flétrissent et dépérissent alors que les racines sont encore intactes.

3.1.6. Réaction du manguiier suite à une attaque de gommose

Lorsque la circulation de la sève est interrompue sur le manguiier par suite de la destruction des vaisseaux conducteurs qui véhiculent la sève élaborée des feuilles vers les organes, les fruits et la tige, ou la sève brute qui remonte des racines vers les feuilles pour être transformée par photosynthèse en sève élaborée, le manguiier après une tentative infructueuse de refermer les plaies par cicatrisation, va émettre des stolons (tiges munies de racelles se dirigeant vers le sol pour se créer une autre voie de transport de la sève). Ces stolons se fixent sur la partie vivante de l'écorce du manguiier et cherchent à atteindre le sol pour se fixer (N'Diaye, 2009).



Photo N°16 : Réaction du manguiier après rupture des vaisseaux par émission de stolons pour assurer son alimentation



Photo N°17 : Réaction du manguiier par émission de stolons pour assurer son alimentation



Photo N°18 : Destruction totale du bois par la gommose et les termites et émission de stolon à l'intérieur de la tige du manguiier

3.1.7. Phase finale d'une attaque de manguier par la gommose

Dans le cas d'une destruction sévère du tronc aggravée par la présence des termites, comme

le cas du manguier ci-dessous, la combinaison de l'effet des facteurs suivants : *Phytophthora*, termites, sous-alimentation provoque la mort de l'arbre (N'Diaye, 2009).



Photo N°19 : Destruction sévère du tronc suite à une gommose avancée



Photo N°20 : Phase finale d'une attaque de gommose (mort du manguier)

3.1.8. Cicatrisation de la plaie après traitement

La cicatrisation est le processus de réparation ou de remplacement des tissus dégradés à la suite d'une blessure ou d'une attaque

parasitaire. La cicatrisation est faite ici par la fermeture de la plaie, située sur l'écorce du manguier. Les traitements aux fongicides naturels ont donné de bons résultats (N'Diaye, 2009).



Photo N°21 : Coulée de gomme sur le tronc du manguier

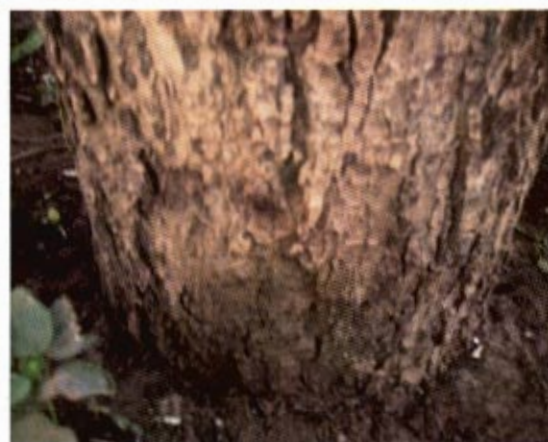


Photo N°22 : Cicatrisation de la plaie après un traitement avec le fongicide naturel

3.2. La phytotoxicité du produit

Les résultats de notation de l'effet des produits sur la santé des manguiers traités 3 mois après application des formulations sont consignés dans le tableau III.

Tableau III. Notation de l'effet des formulations sur la santé des manguiers

N° Manguiers	Échantillons A	Échantillons T
1	1	1
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	1	1
6	1	1
7	1	1
8	1	1
9	1	1
10	1	1
11	1	1
12	1	1

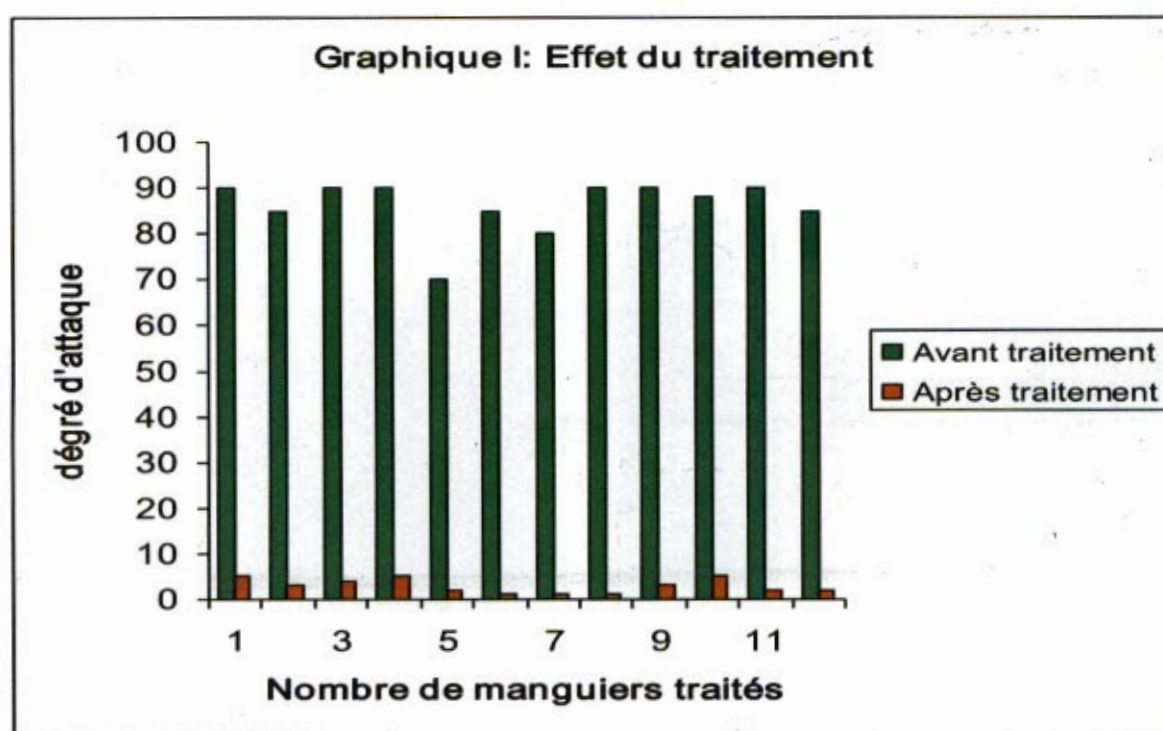
Analyse du tableau III

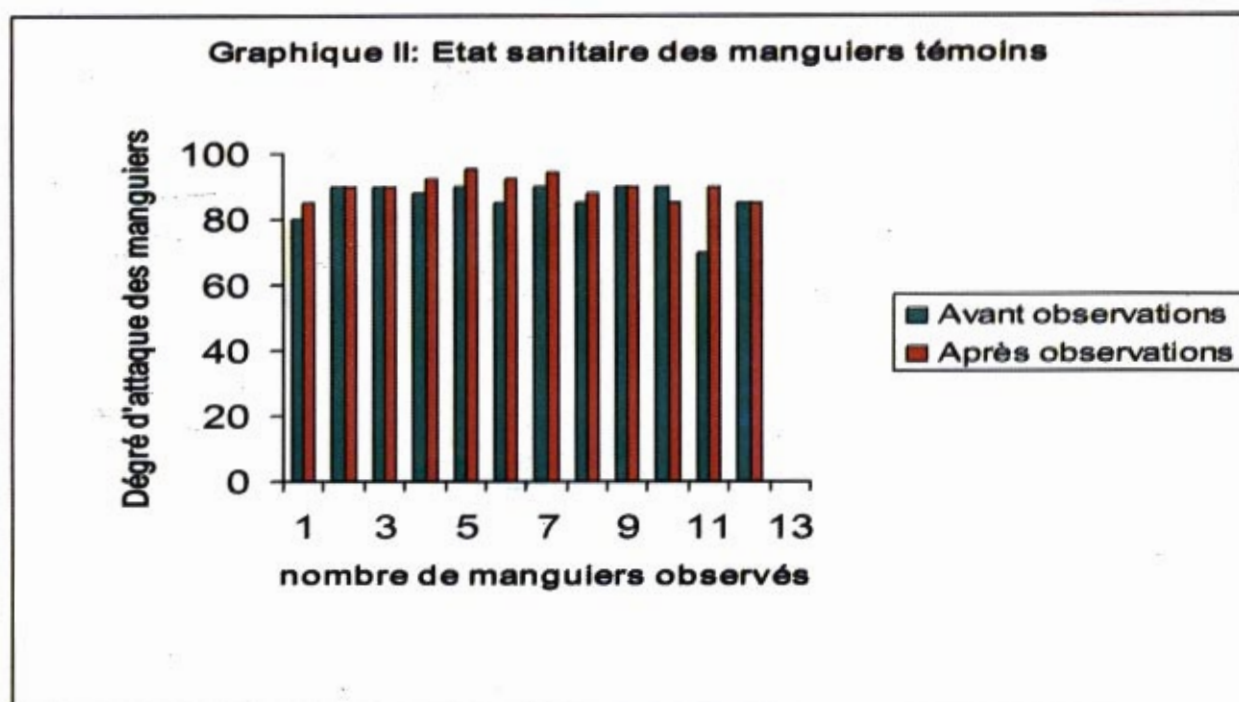
L'observation du tableau 3 montre que les manguiers des traitements A et T ont tous

obtenus la note 1 (Aucun symptôme/plante saine). En effet, les dégâts initiaux (note EWRS = 4) disparaissent généralement en cours de saison. Par contre les dégâts plus importants se manifestent toujours par une diminution de rendement avec des dépressions, jaunissement, brûlures, déformation, retardement de la croissance, de la floraison ou de la maturation, et même la mort de l'arbre. Aucun phénomène cité n'a été observé sur les manguiers traités à la formulation ni les manguiers témoins. Donc ce constat nous permet de déduire que les formulations utilisées ne sont pas toxiques et peuvent être employées pour le traitement de la gommose des manguiers sans aucun risque sur la plantation. Le produit n'est ni absorbé, ni transporté par la plante : c'est pourquoi il est nécessaire de répéter les applications afin de renouveler le dépôt protecteur sur la plante.

Évolution du degré d'attaque avant et après application des formulations du traitement A

Les résultats obtenus au cours de l'évaluation du degré d'attaque avant et après l'application des produits et le suivi des témoins sont illustrés par les graphiques I et II et des images.





Analyse du graphique 1

L'analyse du graphique 1 montre qu'avant l'application des différentes formulations fongicides, le taux d'attaque sur l'ensemble des manguiers retenus pour le traitement variait entre 90 et 70 pour-cent (Échantillons A). Tous les manguiers observés étaient sévèrement attaqués par la gommose (voir images). Après application des différentes formulations à savoir fongicide naturel (formulation liquide et poudre mouillable), le taux d'attaque par la gommose a baissé de 90% à 1% sur les arbres traités avec les formulations.

Analyse du graphique 2

Si de bons résultats de traitement des manguiers malades ont été obtenus avec les manguiers traités, force est de constater que sur les manguiers non traités (témoins) aucune amélioration notable de la santé des arbres n'a été observée le taux d'attaque s'est aggravé sur les arbres N°1, N°4, N°5, N°6, N°7, N°8, N°11 et est resté stable sur les manguiers N°2, N°3, N°9, N°10 et N°12.

VI. Discussion

Les résultats obtenus (graphique 1) montrent que les formulations fongicides à base d'extraits de plantes ont un effet certain sur le champignon responsable de la gommose du manguiers. L'efficacité des formulations à base d'extraits de plante dans la lutte contre les insectes, maladies et mauvaises herbes a été prouvée par plusieurs chercheurs. C'est ainsi que Graigne *et al.*, 1985 ont montré, d'une part, l'effet insecticide, insectifuge, bactéricide, fongicide et nématicide des d'extraits d'ail (*Allium sativa*). Harper *et al.*, 1949, a prouvé, d'autre part, que l'extrait des graines de pomme-cannelle (*Annona squamosa*) agit par contact et ingestion sur certaines espèces d'insectes adultes et de larves dont il inhibe l'appétit. Plusieurs groupes d'insectes ont été maîtrisés dans les parcelles de culture par l'utilisation des extraits aqueux de graines et de feuilles de Margousier (*Azadirachta indica*). Kumar, A.R.V. *et al.*, 1984. Le piment (*Capsicum frutescens*) a été signalé aussi comme insecticide agissant par ingestion. C'est un produit répulsif, qui inhibe la consommation chez l'insecte (Mc Keen, 1956). Toujours dans le cadre de la lutte contre les ennemis des cultures, des chercheurs se sont intéressés aux

Effet du produit sur les plantes malades



Photo N°1 : Sévère attaque du tronc du manguier par la gommose - Manguier N°8 (Échantillon A)



Photo N°2 : Début de fermeture de la plaie 20 jours après application des produits - Manguier N°8 (Échantillon A)



Photo N°3 : Cicatrisation totale de la plaie 3 mois après application des produits - Manguier N°8 (Échantillon A)



Photo N° 4: Fissure du tronc du manguier suite à une attaque de gommose - Manguier N°1 (Échantillon A)



Photo N°5 : Plaie badigeonnée avec le fongicide naturel - Manguier N°1 (Échantillon A)



Photo N°6 : Arrêt de la coulée de gomme et cicatrisation de la plaie - Manguier N°1 (Échantillon A)



Photo N°7 : Tronc de manguier atteint de Gommose (blessure couverte de nécroses) - Manguier N°5 (Échantillon A)



Photo N°8 : Cicatrisation partielle de la blessure un mois après les traitements - Manguier N°5 (Échantillon A)



Photo N°9 : Cicatrisation totale trois mois après les traitements - Manguier N°5 (Échantillon A)



Photo N°10 : Coulée de gomme avant application du fongicide - Manguier N°7 (Échantillon A)



Photo N°11 : Grattage de la plaie et application du fongicide - Manguier N°7 (Échantillon A)



Photo N°12 : Cicatrisation de la plaie après application du produit - Manguier N°7 (Échantillon A)



Photo N°13 : État sanitaire du manguier avant application du produit - Manguier N°9 (Échantillon A)



Photo N°14 : Plaie ouverte-avant application des formulations - Manguier N°9 (Échantillon A)



Photo N°15 : Cicatrisation de la plaie après application du produit - Manguier N°9 (Échantillon A)



Photo N°16 : État sanitaire du manguier avant application du produit - Manguier N°3 (Échantillon A)

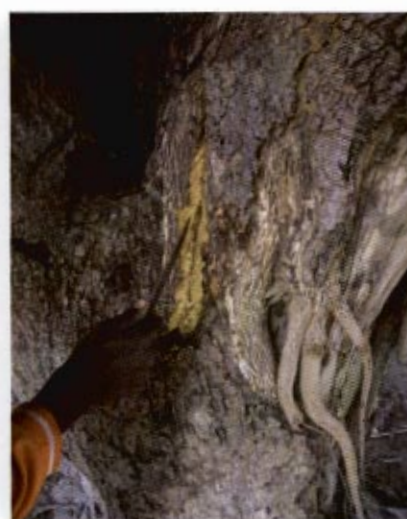


Photo N°17 : Grattage de la plaie avant application du fongicide - Manguier N°3 (Échantillon A)



Photo N°18 : Cicatrisation de la plaie après application du produit - Manguier N°3 (Échantillon A)



Photo N°19 : Coulée de gomme avant application du fongicide - Manguier N°10 (Échantillon A)



Photo N°20 : Grattage de la plaie et application du fongicide - Manguier N°10 (Échantillon A)



Photo N°21 : Cicatrisation de la plaie après application du produit - Manguier N°10 (Échantillon A)



Photo N°22 : Coulée de gomme avant application du fongicide - Manguier N°11 (Échantillon A)



Photo N°23 : Grattage de la plaie et application du fongicide - Manguier N°11 (Échantillon A)

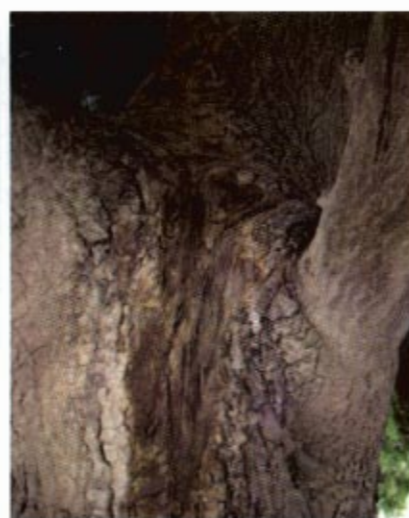


Photo N°24 : Cicatrisation de la plaie après application du produit - Manguier N°11 (Échantillon A)



Photo N°25 : Coulée de gomme avant application du fongicide - Manguier N°2 (Échantillon A)



Photo N°26 : Grattage de la plaie et application du fongicide - Manguier N°2 (Échantillon A)



Photo N°27 : Cicatrisation de la plaie après application du produit - Manguier N°2 (Échantillon A)



Photo N°28 : Coulée de gomme avant application du fongicide - Manguier N°12 (Échantillon A)

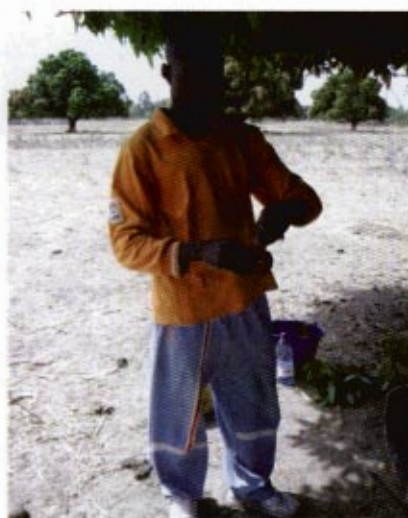


Photo N°29 : Grattage de la plaie et application du fongicide - Manguier N°12 (Échantillon A)



Photo N°30 : Cicatrisation de la plaie après application du produit - Manguier N°12 (Échantillon A)



Photo N°31 : Fissuration d'une branche du manguier par un champignon parasite - Manguier N°4 (Échantillon A)



Photo N°32 : Attaque sérieuse de la branche du manguier par le parasite - Manguier N°4 (Échantillon A)



Photo N°33 : Guérison de la partie attaquée après traitement à la formulation - Manguier N°4 (Échantillon A)



Photo N°34 : Coulée de gomme avant application du fongicide - Manguier N°6 (Échantillon A)



Photo N°35 : Plaie nettoyée avec la formulation liquide avant application de la formulation poudre mouillable



Photo N°36 : Guérison de la partie attaquée après traitement à la formulation - Manguier N°6 (Échantillon A)

extraits végétaux naturels qui seraient moins phytotoxiques, plus facilement biodégradables que beaucoup de pesticides de synthèse (Rizvi *et al.*, 1980). Ces extraits sont employés depuis des décennies dans la lutte phytosanitaire comme insecticides, nématicides et fongicides (Volkonsky, 1994 ; De Loeker, 1982) et sont utilisés depuis quelques temps dans le contrôle des adventices (Rivzi *et al.*, 1980 ; Entzeroth *et al.*, 1985). Des essais menés au Sénégal (Fall, 1998) sur l'influence d'extraits naturels de plantes sur la germination des adventices ont montré que neuf extraits de plante utilisés ont effectivement une action inhibitrice sur la germination de *Cenchrus biflorus* et *Pennisetum typhoides*. Cette action inhibitrice est généralement plus forte sur l'adventice (*Cenchrus biflorus*) que sur le mil (*Pennisetum typhoides*) : tous les extraits sauf celui de *E. balsamifera* ont un effet inhibiteur supérieur à 50% sur la germination de *C. biflorus* alors qu'aucun extrait n'atteint ce taux d'inhibition sur *P. typhoides*. Un constat similaire avait été fait par Rizvi *et al.* (1980), qui a noté un effet de l'extrait de *Coffea arabica* sur une adventice (*Amaranthus spinosus*) et sur une plante cultivée (*Phaseolus mungo*). Une résistance de certaines espèces de plantes cultivées à l'action inhibitrice serait due selon Evenari (1962) à une perte plus ou moins grande de leur sensibilité aux inhibiteurs naturels lors de leur processus de domestication. L'action inhibitrice est variable selon les extraits. Les extraits de *Lawsonia inermis* et de *Vetiveria nigriflora* qui inhibent à plus de 90% de la germination de *C. biflorus* sont les plus puissants. L'extrait de *V. nigriflora*, paraît cependant plus toxique que celui de *L. inermis* envers le mil : il inhibe sa germination de 37% avec une concentration deux fois moindre. Les extraits de *Lawsonia inermis* et *Vetiveria nigriflora*, avec leur potentiel inhibiteur élevé et leur action différente sur la plante cultivée (*P. typhoides*) et l'adventice (*C. biflorus*) semblent mieux indiqués que les autres extraits à une application herbicide (Fall *et al.*, 1998).

Une étude sur l'inhibition de la germination des graines de *Striga hermonthica* (Kambou *et al.*, 1998-1999), par différentes concentrations d'extraits de gousses de *Parkia biglobosa*

a été réalisée au Burkina Faso. Le test de germination des graines a été réalisé selon la méthode de culture *in vitro* (Lane *et al.*, 1991). Les extraits bruts testés entraînent une forte inhibition de la germination des graines de *Striga hermonthica* (97 à 100%). L'analyse phyto-chimique révèle la présence de stérols, triterpènes, caroténoïdes et composés poly phénoliques.

IV. Conclusion

Les résultats obtenus au cours de ce test montrent que l'application des deux formulations d'herbicide à base d'extraits de plante dans la lutte contre la gommose sur les manguiers a donné des résultats satisfaisants et peut même être conseillée pour la vulgarisation. Cependant, il reste à déterminer la composition chimique de la formulation, le mode d'action du produit sur le champignon responsable de cette maladie et le spectre d'activité du fongicide, la toxicité du produit vis-à-vis de l'homme, de l'environnement et la durée de conservation du produit.

V. Bibliographie

- DE LOECKER S., 1982. Protection des graines emmagasinées de niébé *Vigna unguiculata* (L.) Wald. Influence de certains facteurs climatiques et d'extraits de feuilles de *Azadirachta indica* A. de Jussieu, sur la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* Fab. Faculté des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique 153p
- ENTZEROTH M., MEAD D.J., PATTERSON M.L., MOORE, R.E., 1985. An herbicidal fatty acid produced by *Lyngbya aestuarii*. *Phytochemistry*. Vol 24, 12: 2875-2876.
- EVENARI M., 1962. Physiologie végétale et recherches sur la zone aride. *Proc. Symposium*, Paris Unesco.
- FALL I., 1998. Etude des propriétés herbicides d'extraits végétaux sur les adventices du mil (*Pennisetum typhoides* Staf. & Hubb). Thèse de 3^{ème} cycle, Institut des sciences, Université Cheikh Anta DIOP, Dakar 153 p.
- GRAIGNE M., AHMED S., MITCHELL W.C, and HYLIN J.W., 1985. Plant species reportedly possessing post-control properties

- an EWC/UH database. Resource Systems Institute, EWC, Honolulu, College of Tropical Agriculture and Human Resources, Univ. of Hawaii.
- HARPER S.H., POTTER C. and GILLMAN E.M., 1947. *Annona* species as insecticides – Ann. Appl. Biol, 34: 104-112.
- KAMBOU G., OUEDRAOGO O., SOME N. et OUEDRAOGO S., 1998-1999. Effets de la poudre des cosses de *Parkia biglobosa* sur l'émergence du *Striga hermonthica*, l'activité biologique du sol et le rendement du maïs. Science et technique. Vol. 23. 2 : 60 – 70.
- KUMAR A.R.V. and SANGAPPA H.K., 1984. A Note on the performance of Plant Products in control of Gram Caterpillar in Bengalgram. – Current Research 13 (4- 6): 38-40
- LANE J.A., BAILEY J.A. and TERRY P.J., 1991. An *in vitro* growth system for studying the parasitism of cowpea (*Vigna unguiculata*) by *Striga gesnerioides*. Weed Research 72: 73-79.
- Mc KEEN C., 1956. The inhibitory activity of extract of *Capsicum frutescens* on plant virus infections. – Canadian J. Botany 34: 891-903
- N'DIAYE M., 2009. Résultats de l'étude sur la détermination des causes du dépérissement des manguiers dans la région de Koulikoro et proposition de méthodes de lutte (Projet DERK. Koulikoro).
- RIZVI S.H.J, MUKERJI D. and MAT-HUR S.N., 1980. A new report on a possible source of natural herbicide. Indian journal of Exp. Biology, vol. 18 n° 7: 777-778
- VOLKONSKY M., 1994. Protection des cultures contre les acridiens par un extrait de neem. Tract n°60 de l'Institut Pasteur d'Algérie.

Adaptation de trois variétés d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) résistantes à la rosette dans la zone de Kita au Mali

Adaptation of Three Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Varieties Resistant to Rosette in the Area of Kita in Mali

Ondié Kodio¹, Fodé Diallo¹, Bonny Ntare²

¹Institut d'Économie Rurale (IER), Centre Régional de Recherche Agronomique de Kayes, Programme Arachide, BP 281, Tél. (223) 21 53 16 62, Email : ccrakayes@ier.ml

²Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales Semi-arides (ICRISAT/ Mali), Tél. +223 20 22 33 75, Email : icrisat-w-mai@cgiar.org

Résumé

L'arachide (*Arachis hypogaea* L.) est l'une des principales cultures à la fois vivrière et de rente au Mali. Sa production en 2006 était de l'ordre de 279 503 tonnes d'arachide coque sur une superficie de 259 029 ha (DNA, 2006). L'une des contraintes majeures de la production de l'arachide au Mali est la rosette, particulièrement dans le bassin arachidier de Kita. En année d'épidémie, cette maladie peut causer la perte quasi totale de la production d'arachide. De 2005 et de 2006, des travaux de recherche ont été conduits de manière participative avec les producteurs d'arachide dans le cercle de Kita dans le but d'évaluer la performance des variétés d'arachide résistantes à la rosette. Trois variétés améliorées résistantes à la rosette ont été comparées à une variété sensible du paysan. Huit paysans étaient impliqués dans la conduite de l'essai. Le dispositif expérimental utilisé était celui des blocs de Fisher où chaque paysan était considéré comme une répétition. Des paramètres, comme le peuplement de plants à la levée, à la récolte et le rendement en gousses et en fanes ont été observés. En outre, l'infestation par la rosette a été identifiée et la sévérité a été évaluée en utilisant l'échelle de notation de 1 à 9 (1 = pas de maladie et 9 = très fortement attaqué). Les résultats obtenus montrent des différences significatives ($<0,05$) entre les génotypes entre les années et entre

les paysans. La variété M516-791 a été la plus performante. Son niveau d'infestation aux attaques de rosette variait entre 1 et 2 rosettes dénombrées par parcelle. Les meilleures performances ont été obtenues en 2005 et la variété M 516-791 s'était révélée la plus performante et la plus adaptée, avec un rendement de 1672 kg/ha d'arachide en gousses et 1540 kg/ha en fanes. Cette variété a été retenue par les paysans et elle fera l'objet d'une large adoption dans la zone.

Mots clés : arachide, rosette, bassin arachidier, Kita, Mali.

Summary

Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) is one of the main food and cash crops produced in Mali. In 2006 about 279,503 metric tons of unshelled groundnut were produced on a total land area of 259,029 ha (DNA, 2006). One of the major constraints to groundnut production in Mali is the rosette disease, especially in the groundnut basin of Kita. In epidemic years, this disease can cause the loss of almost all the groundnut production. During the 2005 and 2006 cropping seasons, participatory research works were conducted involving groundnut producers in Kita in order to assess the performance of groundnut varieties resistant to rosette disease. Three improved varieties

resistant to rosette were compared with the farmer susceptible variety. Eight farmers were involved in the experiment. The experimental design used was randomized complete block design where each farmer was a repetition. Parameters such as seedlings stand, plants harvested, pods and hay yields were observed. Furthermore, rosette infestation was identified and its severity assessed using the 1 to 9 rating scale (1 = no disease and 9 = highly infested). The results show significant differences (<0.05) among genotypes, years and farmers. Variety M516-791 was the best performing one. Its level of rosette infestation ranged from 1 and 2 plants per plot. The best performances were achieved in 2005 and variety M 516-791 was found to be the best performing and most adapted one, with a yield of 1,672 kg/ha of groundnut pods and 1,540 kg/ha in haulm. This variety has been selected by farmers and will be widely available for adoption.

Key Words: Groundnut, rosette, groundnut basin, Kita, Mali.

I. Introduction

Les maladies foliaires constituent de nos jours, une des principales contraintes de la culture de l'arachide. Parmi ces maladies, les plus connues et les plus rencontrées au Mali sont la **Rosette** et la **Cercosporiose**. La rosette est la maladie virale la plus destructive de l'arachide. Elle est causée par un virus transmis par le puceron (*Aphis cracivora* Koch). Cette maladie est appelée rosette du fait qu'elle cause un rabougrissement du pied (une réduction des entre-nœuds qui lui donne un port en forme de rosace (rosette verte)). Deux principales formes de rosette sont bien connues: la rosette verte qui présente un feuillage rabougri, avec de petites folioles de couleur vert foncé et la rosette chlorotique avec des feuilles qui présentent des symptômes de mosaïque (feuilles marbrées vert et jaune pale). En 1975, cette maladie a été enregistrée sur plus d'un million d'hectares au Nigeria et a été la cause d'une perte estimée à plus d'un million de tonnes d'arachide (Alain H. M. *et al.*, 2003). Au Mali, la maladie est signalée dans plusieurs localités et, particulièrement,

dans le bassin arachidier de la région de Kayes. Les pertes de rendement dues à la rosette varient entre 5-60% suivant le site et les conditions climatiques (Alain H. M. *et al.*, 1998). Quoiqu'il soit possible de lutter contre la rosette par des insecticides/fongicides, il faut noter que, d'une part, ceux-ci ne sont pas toujours disponibles et que, d'autre part, les paysans n'ont pas le moyen de les acquérir. Dans ces conditions, l'utilisation des variétés résistantes est le moyen le plus économique pour la gestion de cette maladie. Au cours de ces dernières années (1998-2002), le Programme Arachide a entrepris plusieurs travaux de sélection dans le domaine de la résistance à la rosette de l'arachide, et cela, dans le cadre de l'exécution du projet « Germplasma arachide en Afrique Occidentale et Centrale » (Alain H. M. *et al.*, 2002). Des lignées tolérantes à la rosette ont été testées en station pendant plusieurs années au Mali (Kodio O. *et al.*, 2004). Il s'agit, dans le cadre de cette expérimentation, de procéder à une évaluation agronomique de ces lignées en milieu réel par l'approche participative et, en même temps, d'identifier, dans les conditions agro-écologiques du cercle de Kita, les variétés les plus performantes en termes de rendement et de stabilité de la production.

II. Matériel et méthodes

Le matériel végétal utilisé était composé de trois (3) nouvelles variétés d'arachide de cycle intermédiaire (90 à 120 jours). Ce sont les variétés : M343-81 A, M516-791 et TX 903656, toutes sélectionnées par l'ICRISAT et l'IER parmi les meilleures lignées productrices et résistantes à la rosette au cours de plusieurs années d'évaluation en station. Ces variétés ont été comparées à la variété ancienne, la 28-206, largement cultivée dans la zone.

Le dispositif expérimental était en blocs de Fisher dispersés où chaque paysan était considéré comme une répétition. Huit (8) paysans étaient impliqués dans la conduite de l'essai. Les parcelles étaient constituées de 20 lignes de 10 mètres chacune. Le semis manuel a été effectué aux écartements de 50 cm entre les lignes et 15 cm entre les poquets

sur la ligne à raison d'une graine par poquet. Les dimensions des parcelles étaient :

- Superficie par parcelle : $10\text{ m} \times 10\text{ m} = 100\text{ m}^2$
- Nombre de parcelles élémentaires par paysan : 4
- Superficie par paysan : $100\text{ m}^2 \times 4 = 400\text{ m}^2$

La randomisation a été effectuée, pour chaque paysan, avant la mise en place de l'essai. Les semis ont été effectués à plat et les semences ont été préalablement traitées à l'insecticide fongicide « Caïman Rouge » (25% Endosulfan + 25% de Thirame) à la dose de 25 g pour 10 kg de semences d'arachide. Deux sarclages ont été effectués. L'engrais apporté était le PNT à la dose de 100 kg/ha au moment de l'implantation.

Les paramètres mesurés au cours de la période de culture ont porté sur : la densité de peuplement de plants à la levée et à la récolte, le niveau d'attaque de la rosette par parcelle, les rendements (gousses et fanes) et la stabilité du rendement.

Les données ont été exploitées en effectuant une analyse de variance et un test de classement des moyennes (Newman Keuls) avec le logiciel Genstat. Les figures ont été réalisées à l'aide du logiciel Excel.

2.1. Choix des paysans collaborateurs

Le choix a été effectué lors d'une assemblée villageoise au cours de laquelle l'objectif de l'essai, les conditions de sa réalisation et les contraintes liées à l'acceptation correcte des consignes du protocole ont été donnés.

Un accent particulier a été mis sur le caractère novateur du test et l'engagement moral du paysan et du village pour la réussite de l'essai.

2.2. Choix de la variété locale

Afin de permettre une meilleure comparaison de ces variétés résistantes à la rosette avec le témoin local, il est bon que la variété témoin

soit largement cultivée dans la zone du site d'expérimentation.

2.3. Choix de la parcelle

Le choix des parcelles d'expérimentation a été effectué de commun accord avec les paysans collaborateurs et le responsable de la conduite de l'essai. Les parcelles retenues ont été toutes homogènes de par leur structure et le précédent cultural. Elles ne contenaient ni termitières, ni fourmilières ni aucun autre élément pouvant influencer négativement la densité des plants.

III. Résultats

3.1. Densité de plants à la levée et à la récolte

Les densités de plants à la levée et à la récolte, observées au cours de ces deux années d'essai variaient en moyenne de 88.33% à 90.5% lors de la levée et 85% à 85.75% à la récolte pour l'ensemble des variétés (tableau I). La variété M516-791 présentait les meilleures densités tant à la levée qu'à la récolte. Elle a été suivie du témoin local la 28-2006. Le meilleur taux de densité (expression inconnue en science agronomique classique) enregistré (95%) à la levée a été obtenu en 2005 avec la variété M 516-791. La même tendance a été observée à la récolte et les meilleurs taux étaient obtenus avec la même M 516-791 avec 91% en 2005 et 89% en 2006.



Tableau 1. Performances des variétés d'arachide résistantes à la rosette testées à Kita, 2005, 2006.

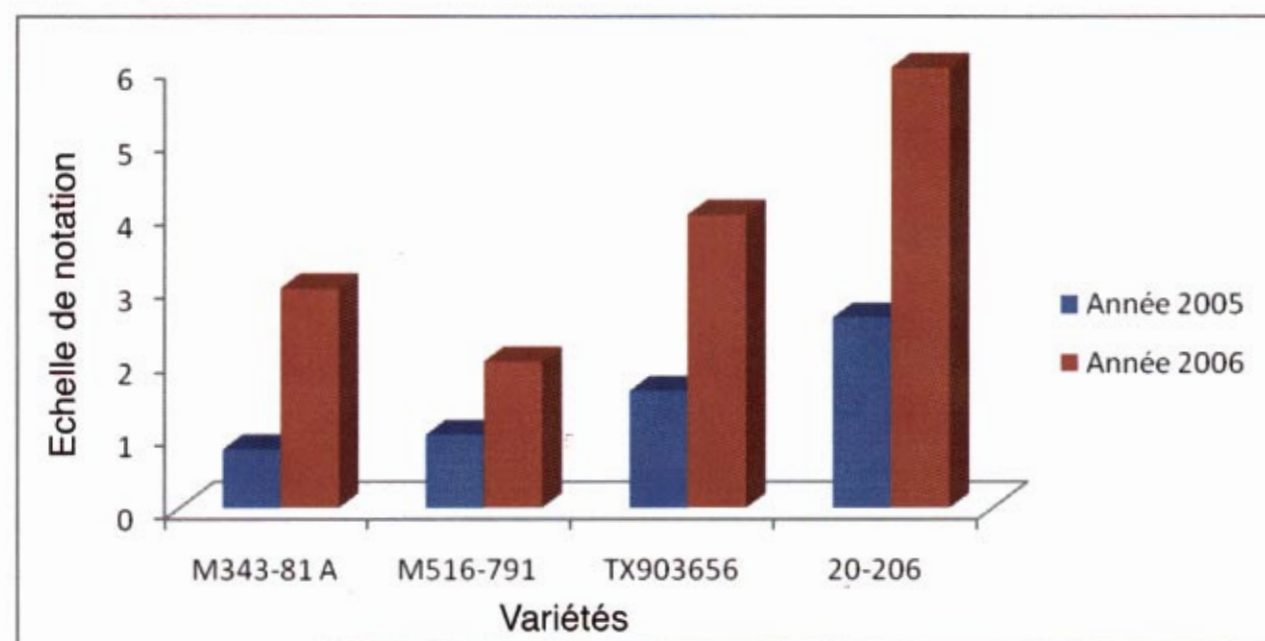
Variétés	Taux de plants à la levée et à la récolte			
	2005		2006	
	Levée à 21 jours	Nombre à la récolte	Levée à 21 jours	Nombre récolte
M 343-81 A	89b	85b	88b	83b
M 516-791	95a	91a	92a	89a
TX 903656	88b	85b	87b	85b
28206 (témoin)	90b	82b	85b	83b
Moyenne générale	90,5	85,75	88	85
CV %	17,01	22,62	15,52	14,64
Probabilité	0,0164	0,0747	0,021	0,018
Signification	S	S	S	S

Légende : S = significatif ($P < 0,05$). Les moyennes suivies par les mêmes lettres appartiennent à un même groupe homogène.

3.2. Aspects phytosanitaires

La figure 1 montre le degré d'infestation des plants par la rosette durant les deux années de test. En 2006, le témoin local, la variété 28-206 a été la plus sensible avec une note de 6 (échelle de notation de la rosette de 1 à 9). Elle a été suivie par la variété TX903656 avec une note de 4, de la M343-81 A avec 3 et

la variété M516-791 plus résistante avec une note de 2. La même tendance a été également observée en 2005 (figure 1). La performance de la variété M516-791 par rapport aux deux autres traitements a été observée. Le témoin, avec une échelle de notation de 6 en 2006 et 3 en 2005, confirme sa plus grande sensibilité à la rosette.

**Figure 1.** Infestation des plants par la rosette. Kita, 2005 et 2006.

3.3. Rendement gousses et fanes d'arachide

Les performances en production gousses et fanes des variétés résistantes à la rosette, testées en 2005 et 2006 à Kita, sont présentées dans le tableau II. Les meilleurs rendements ont été obtenus en 2005 et la variété M 516-791 s'est révélée plus performante en production gousses et fanes. En 2006 par contre, les rendements enregistrés ont été relativement plus bas, dus, en grande partie, à la mauvaise

physionomie de la campagne qui a été marquée par le démarrage difficile des activités à cause, à la fois, du manque et de l'arrêt brusque des pluies. Malgré les conditions difficiles de la campagne, la variété M 516-791 a confirmé sa bonne performance avec un rendement de 938 kg/ha d'arachide gousses et 1267 kg/ha de fanes (tableau II). Il faut également noter le bon comportement de la variété TX 903656 au cours des deux ans de test avec un rendement moyen en gousses de 1193kg/ha et de 1520 kg/ha de fanes.

Tableau II. Performances agronomiques des variétés testées à Kita en 2005 et 2006

Variétés	Rendements Gousses et fanes d'arachide en kg/ha			
	2005		2006	
	Gousses	Fanes	Gousses	Fanes
M 343-81 A	907c	1306ab	845b	984ab
M 516-791	1672a	1540b	938a	1267a
TX 903656	1438b	1756a	848b	1285a
28206 (témoin)	1328b	1552b	775c	1140b
Moyenne générale	1336	1539	852	1169
CV %	26	25	22.8	24.12
Probabilité	0,0025	0,028	0,0019	0,035
Signification	HS	S	HS	S

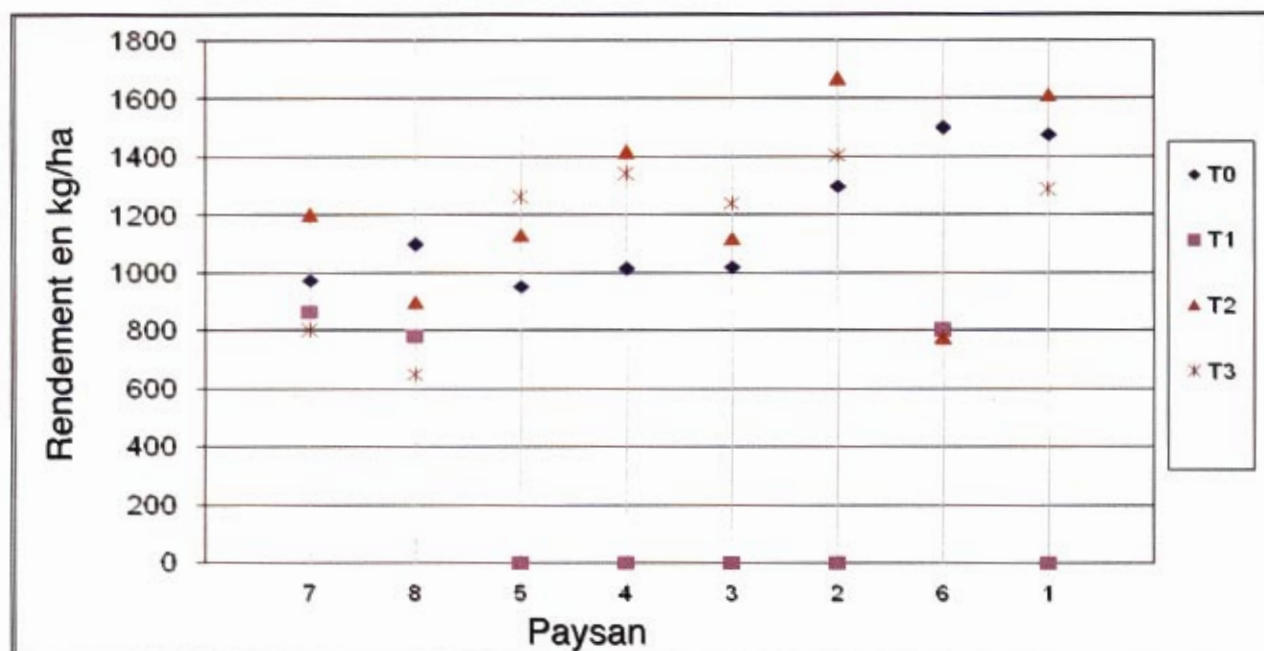
Légende : SH= hautement significative ($P<0,01$) ; S = Significative ($P<0,05$). Les moyennes suivies par les mêmes lettres appartiennent à un même groupe homogène.

3.4. Adaptabilité des variétés testées

Les résultats de l'analyse exploratoire des données (Figure 2) ont montré que la variété M516-791 (T2) présentait un rendement plus élevé que les autres.

A l'exception des paysans 6 et 8 (figure 2), cette variété a été la plus productive au niveau de tous les autres paysans. Son niveau de rendement est élevé et son rendement a varié entre 1000 kg/ha et 1665 kg/ha. Les plus faibles rendements ont été enregistrés chez les paysans N°6 et N°8. La variété TX903656

avait un rendement compris entre 1200 kg/ha et 1400 kg/ha de gousses chez 5 paysans et elle était en dessous de 800 kg/ha chez les trois autres paysans. Quant à la variété témoin, la 28-206, trois paysans seulement possédaient un rendement de plus de 1200 kg/ha et son rendement chez les cinq autres paysans variait entre 900 kg/ha et 1100 kg/ha d'arachide gousses. Chez la variété M343-81 A, seuls les rendements enregistrés chez les paysans n°8, n°7 et n°6 ont été classés, les cinq autres paysans qui possédaient de faibles rendements ont été exclus.



Légende : T0 : témoin (28-206) ; T1 : M 434-81 A ; T2 : M 516-791 ; T3 : TX 903656

Figure 2 : Exploration des données en milieu réel (distribution de rendements des partenaires paysans)

IV. Discussion

La densité de peuplement est un indice très important du rendement de l'arachide comme l'avait si bien souligné (Ndiaye *et al.*, 2002) dans leur étude sur l'évaluation agronomique de variétés d'arachide de bouche au Sénégal. Les densités de plants observées au cours de ces deux années de test au niveau de Kita ont été élevées avec un taux de 90,5% et 85,75% à la levée et 88% et 85% à la récolte pour l'ensemble des variétés. D'une manière générale, on remarque que les densités ont été relativement plus élevées en 2005 qu'en 2006. La variété M516-791 avait les meilleures densités tant à la levée qu'à la récolte. Elle a été suivie de la variété M343-81 A. Le meilleur taux de densité enregistré (95%) à la levée a été obtenu en 2005 avec la variété M 516-791. La comparaison des moyennes du nombre de plants à la levée a permis de les classer en deux groupes distincts. Dans le premier groupe, la variété M516-791 a fourni la meilleure moyenne de densité à la levée. Le deuxième groupe comportait des variétés à faible densité dont la M343-81A, la TX903656 et le témoin

la 28-2006. Une différence significative a été observée entre les différentes variétés en ce qui concerne le taux de plants à la levée (90,5%) et à la récolte (85,75%) en 2005. Cette perte de plants entre la levée et la récolte s'expliquait en grande partie par la pourriture de collet des plants à l'état juvénile. En 2006 par contre, la variation des densités à la levée et à la récolte étaient moindre avec un taux relativement plus bas (88% contre 85%). Des différences significatives ont été également observées entre les variétés, que ça soit au stade de la levée et au stade de la récolte. La variété M516-791 confirme toujours sa meilleure performance devant les autres variétés au point de vue peuplement de plants à l'hectare.

L'état phytosanitaire des plants a été calme, dans l'ensemble, au cours des 2 années d'expérimentation à Kita, bien qu'il ait été observé en 2006 un taux d'attaques légèrement supérieur à celui de 2005. D'une manière générale, le niveau d'infestation de la rosette a été faible sur l'ensemble des variétés, au cours des deux années de tests, à l'exception

du témoin la 28-206. La variété M516-791 s'était mieux comportée par rapport aux autres variétés. Cela confirme bien sa résistance vis-à-vis de la rosette comme l'avaient si bien démontré B.R. Ntare *et al.*, 1998 dans leur étude sur le criblage du matériel génétique arachide au niveau de l'ICRISAT. Une excellente performance de celle-ci, au cours des essais régionaux de recherche (B. R. Ntare *et al.*, 2001) a été démontrée dans plusieurs pays, y compris le Mali, le Burkina Faso, le Ghana et le Nigeria.

Les rendements gousses et fanes ont été à l'image des composants poids de gousses par pied et densité à la récolte. Le rendement moyen de l'essai a été de 1336 kg/ha d'arachide gousses (2005) et 852 kg/ha (2006). Le faible rendement de l'année 2006 a été attribué à la mauvaise répartition pluviométrique de l'année. Malgré un coefficient de variation de l'ordre de 26% pour cette variable, l'essai a fourni des résultats permettant de faire ressortir les variétés les plus performantes en production gousses. La variété M516-791, avec un rendement de 1672 kg/ha en 2005 et 938 kg/ha en 2006, a été la plus performante. Elle est suivie de la variété TX903656 avec 1438 kg/ha de gousses (2005) et 848 kg/ha d'arachide gousses en 2006. Des différences significatives ont été observées entre les variétés au niveau de tous les paramètres mesurés avec des coefficients de variabilité allant de 22,8% à 26%.

Les résultats obtenus, à partir de l'analyse exploratoire des données, ont montré une grande variabilité de production entre les différentes variétés et entre les paysans. D'une manière générale, les rendements gousses enregistrés sont bons, variant de 800 kg/ha à 1665 kg/ha selon le traitement. La variété M516-791 s'était relativement mieux comportée et elle présentait un large spectre d'adaptabilité. Ainsi, sur huit (8) paysans impliqués dans la conduite du test, six (6) avaient un rendement compris entre 1000 et 1665 kg/ha avec cette variété. Elle a été suivie par la variété TX903656 qui avait son maximum de rendement qui se situait entre 1200 kg/ha et 1400 kg/ha, reparti entre cinq

paysans. Le témoin, la 28-206, avait seulement trois partenaires paysans qui possédaient un rendement de plus 1200 kg/ha. La variété M343-81 As'exprimait dans un environnement limité et son rendement moyen (950 kg/ha) était relativement plus bas.

V. Conclusion

Les résultats du test d'évaluation agronomique des variétés d'arachide résistantes à la rosette, conduit dans le cercle de Kita en 2005 et 2006 en conditions naturelles d'infestation, ont permis de mettre en évidence le comportement de chaque variété vis-à-vis de la rosette et son potentiel de production et de stabilité. Durant les deux années d'expérimentation (2005 et 2006), l'état phytosanitaire des plantes a été satisfaisant dans l'ensemble. Quant à la rosette, parmi les variétés testées, la M 516-791 s'était montrée plus résistante avec une moyenne de 0,80 sur l'échelle de notation (1 - 9) par parcelle de 100 m². Sur le plan production, c'est toujours la variété M 516-791 qui s'était montrée plus performante avec un rendement en gousses de 1672 kg/ha en 2005. Elle a été tolérante à la rosette et s'était montrée plus stable en production au cours des deux années de test. Dans la perspective d'une bonne promotion et d'une large diffusion de cette variété dans le cercle de Kita, une multiplication de semences à grande échelle s'avère nécessaire.

VI. Références bibliographiques

- KODIO O., DIALLO F., TRAORÉ F., NTARE B. R., 2004. Criblage de lignées d'arachide pour la résistance aux maladies foliaires. Rapport de recherche de campagne. IER/Programme Arachide.
- KODIO O., DIALLO F., TRAORÉ F., 2005. Evaluation agronomique des variétés d'arachide résistantes à la rosette à Samé et à Kita. Rapport de recherche de campagne. IER/Programme Arachide.
- KODIO O., DIALLO F., TRAORÉ F., 2006. Evaluation agronomique des variétés d'arachide résistantes à la rosette à Samé et à

- Kita. Rapport de recherche de campagne. IER/ Programme arachide.
- MAYEUX ALAIN H., WALIYAR F., and NTARE B. R., 2003. Groundnut varieties recommended by GGP for West and Central Africa.
- MAYEUX ALAIN H., WALIYAR F., and NTARE B. R., 2002. Conservation, Evaluation, and Dissemination of Groundnut Germplasm and Foundation Seed Production and Distribution for the West African Region.
- MAYEUX, ALAIN H., WALIYAR F., NTARE B. R., 1998. Conservation, Evaluation, and Dissemination of Groundnut Germplasm and Foundation Seed Production and Distribution for the West African Region.
- NDIAYE MAMADOU, IBRA, ALMAMY, NDIAYE ET IBRA, FALL, 2002. Evaluation agronomique de variétés d'arachide de bouche au Sénégal.
- NTARE B. R., MAYEUX ALAIN H., et WALIYAR FARID, 2001. In : compte rendu de l'atelier de restitution du Projet Germplasm Arachide. 22-25 Avril 2002. Bamako, Mali.
- NTARE B. R., P E OLORUNJU et WALIYAR, F., 1998. Progrès dans la lutte contre la maladie de la rosette chez l'arachide en Afrique occidentale et Centrale : In : Un aperçu. Comptes rendus de la septième réunion régionale de l'ICRISAT sur l'arachide en Afrique occidentale et centrale. P 43-45.
- WALIYAR F. et ADOMOU MOUSTAPHA, 2000. In : Comptes rendus de la septième réunion régionale de l'ICRISAT sur l'arachide en Afrique occidentale et centrale. 6-8 décembre 2000. Cotonou, Bénin.
- WALIYAR, F. et NTARE B. R., 1998. In : Comptes rendus de la sixième réunion régionale de l'ICRISAT sur l'arachide en Afrique Occidentale et Centrale. 1998. Bamako, Mali.

Mise au point de matériels de récolte pour la promotion de la culture du pois sucré

Developing Harvesting Equipment to Promote *Cyperus esculentus* L. Production

Sissoko, Fagaye¹, Yattara, Amadou Aly², Fomba, Adama³, Dembélé, Urbain⁴

¹ CRRA de Sikasso, Chercheur au Programme Coton ; fagaye_sissoko@yahoo.fr

² CRRA de Sikasso, Chercheur au programme Coton

³ CRRA de Sotuba, Chercheur au Machinisme Agricole

⁴ CRRA de Sikasso, Chercheur à l' « Équipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles »

Résumé

Le pois sucré ou souchet (*Cyperus esculentus* L.), de son nom vernaculaire "tiongon", est cultivé dans certains pays de l'Afrique de l'Ouest comme le Mali, le Burkina Faso, le Nigéria et le Niger. Au Mali, il est cultivé principalement dans la 3^{ème} région administrative (Sikasso) et précisément dans les cercles de Sikasso et de Kadiolo qui regroupent près de 95 % des producteurs. Le pois sucré est cultivé pour ces tubercules qui ont une bonne valeur nutritionnelle. Les Chinois, les Perses et les Arabes ont apprécié ce produit et lui ont attribué des propriétés médicinales. En Afrique de l'Ouest, on prétend qu'il possède des vertus aphrodisiaques. Le pois sucré occupe la troisième place parmi les cultures de rente après le coton et la pomme de terre. Dans les différentes zones de production, la culture du pois sucré permet à 68% des femmes d'avoir des revenus monétaires. Les prévisions de recette étaient fixées à 173,7 millions de FCA en 2009. Le pois sucré est cultivé de façon traditionnelle, depuis longtemps, dans la région de Sikasso et, spécialement, par les femmes. Face à la forte demande des marchés intérieur et extérieur (Espagne, Ghana, Liberia, Burkina Faso, Sénégal) et aux profits qu'on peut tirer de ce produit, les hommes se sont lancés dans cette culture. L'implication des hommes dans la production a eu comme incidence l'accroissement des superficies cultivées, l'utilisation de la culture attelée, l'utilisation des engrais et l'augmentation du rendement à l'hectare. Cependant, la culture

du pois sucré se caractérise, à présent, par l'absence de matériels et de techniques performants de récolte. Toutes les opérations de récolte sont conduites de façon manuelle. La récolte du pois sucré est considérée comme une opération très dégradante pour la structure du sol. L'utilisation de meilleures techniques de semis pourra faciliter les opérations de récolte.

Mots clés : cultivé de façon traditionnelle, techniques et matériels performants, dégradation de la structure, pénibilité, main-d'œuvre.

Summary

Cyperus esculentus L. or "tiongon" in local language is grown in some West African countries such as Mali, Burkina Faso, Nigeria and Niger. In Mali, it is grown especially in the 3rd administrative region (Sikasso), precisely around Sikasso city and Kadiolo, which gather nearly 95% of the producers. The crop is cultivated for its tubers, which have a good nutritional value. The Chinese, Persians and Arabs appreciated this product and allotted medicinal properties to it. In West Africa, it is assumed to have aphrodisiac virtues. This crop is the third cash crop produced in the region, after cotton and potato. Its production is a cash income-generating activity for 68% of women in the different production areas. Income estimates amounted to FCFA 173.7 million in 2009. *Cyperus esculentus* has been cultivated traditionally for a long time in the region of Sikasso and specifically by

women. In response to the high demand of the domestic and external markets (Spain, Ghana, Liberia, Burkina Faso, Senegal) and in view of the profits that can be drawn from this crop, men have also engaged in its production. The involvement of men in the production has resulted in an expansion of croplands, the use of animal draught cultivation techniques, the use of manures and an increase in the yield per hectare. However, the culture is now characterized by a lack of high-performance harvesting equipment and techniques. Harvesting operations are entirely manual. Harvesting is regarded as a very degrading operation for soil structure. The use of better sowing techniques could facilitate harvesting operations.

Key Words: Cultivated in a traditional way, high-performance equipment and techniques, degradation of soil structure, hardness, labour.

I. Introduction

Le pois sucré ou souchet (de son nom scientifique *Cyperus esculentus* L. et de son nom vernaculaire *tiongon*) est une plante herbacée de la famille des cypéracées, originaire de la Méditerranée et de l'Est de l'Asie. Il est cultivé pour ses tubercules qui ont une bonne valeur nutritionnelle (23,56% de matières grasses, 4,15 % d'amidon, 26,54 % de protéines, 24,13 % de fibres diététiques, 21,23 % de sucres et 400 kcal/100 protéines). Les Chinois, les Perses et les Arabes, ont apprécié ce produit et lui ont attribué des propriétés médicinales. En Afrique de l'Ouest, on prétend même qu'il possède des vertus aphrodisiaques (Paré, 1994). Introduit en Espagne par les Arabes, le souchet a commencé à y être transformé en boisson dès le Moyen-âge, dans la plaine de Valence. C'est ainsi qu'est née « l'horchata ». Elle reste aujourd'hui la boisson typique de cette région d'Espagne qui compte deux usines de production.

La culture du pois sucré, pratiquée de façon traditionnelle depuis longtemps dans la région de Sikasso (Odile, 1987), connaît actuellement un regain d'intérêt auprès des producteurs/

productrices à cause des difficultés de la filière cotonnière qui se nomment faibles rendements, prix d'achat faible, démotivation des producteurs, etc.. Le pois sucré est utilisé comme culture de diversification par 8 703 producteurs dont 68 % de femmes en 2007. La production se chiffrait en moyenne à 6 500 tonnes (Alou, 2008). Cependant, cette production a été insuffisante pour couvrir les besoins du pays.

Les prix de ventes sont faibles au moment de la récolte : 150 F CFA le kilogramme (IFDC, 2009). Pendant les mois de septembre et octobre, le prix du kilogramme de pois sucré a atteint 250 FCFA, voire plus, créant ainsi une source de revenu substantielle pour les producteurs/productrices (Diallo, 1987). En dépit du prix élevé sur les marchés locaux, il existe aussi des possibilités d'exportation du pois sucré vers d'autres pays comme l'Espagne, le Ghana, le Burkina Faso et le Sénégal.

Face à une forte demande et aux profits qu'on peut en tirer, les hommes se sont investis davantage dans la culture du pois sucré, ce qui a augmenté les superficies cultivées et occasionné l'utilisation de la culture attelée et de la fumure minérale. En 2007, 2 000 hectares ont été emblavés (Alou, 2008).

Si la culture du pois sucré peut constituer une source de diversification des revenus, il n'en demeure pas moins que l'activité soit confrontée à beaucoup de contraintes, entre autres : l'insuffisance et la non performance des outils de travail. Les opérations, qui sont manuelles et généralement effectuées par les femmes avec des instruments rudimentaires, sont : le nettoyage à 100 %, le semis 95 % et la récolte 95 % (IFDC 2008). A la pénibilité de ces opérations s'ajoutent les difficultés d'autres natures comme le manque d'intrants agricoles spécifiques ; la dégénérescence des variétés utilisées, la difficulté d'accès aux terres arables, l'insuffisance d'encadrement agricole, l'absence de crédits à la production et à la commercialisation, l'absence d'infrastructures de stockage (Ngeleka, 2006 ; Dicko, 2009).

La récolte du pois sucré est très pénible, une femme peut mettre 2 heures de temps pour exploiter seulement une superficie de 40 m². La récolte du pois sucré peut s'étendre sur 4 mois (décembre, janvier, février et mars). La maturité des tubercules se détermine par le dessèchement des feuilles. Les paysans attendent que toutes les graines soient séchées pour commencer la récolte. La première opération de récolte consiste à brûler les parties aériennes (feuilles et tiges) de la plante. Après le ramassage de ces ordures, les paysans prennent des bâtons pour battre le sol jusqu'à ce que les tubercules reviennent à la surface du sol et que la terre devienne poudreuse (photo 1). Ce mélange de terre et de tubercule est regroupé en tas avec la daba et tamisé avec des tamis spécialement conçus à cet effet. Une quantité importante de la production (environ 1/4) est perdue par le fait que les instruments utilisés ne sont pas bien adaptés.

La culture du pois constitue, par ailleurs, une culture très dégradante de la structure

du sol. La culture et la récolte du pois sucré se caractérisent à présent par l'absence de matériels et techniques performants. Certaines opérations culturales n'ont pratiquement pas connu d'évolution depuis l'introduction de la culture et leur exécution demeure encore très pénible. C'est la raison pour laquelle, en dépit de l'engouement pour la culture du pois sucré, les superficies emblavées sont encore assez limitées.

Ainsi, l'utilisation d'outils performants pour le semis, mais surtout l'utilisation de matériels de récolte adéquats pourraient être des solutions pour alléger la pénibilité de la récolte, d'une part et, d'autre part, pour augmenter la production à l'hectare et pour permettre une augmentation sensible des superficies emblavées.

L'objectif de cette étude est la mise au point de matériels permettant d'alléger la pénibilité des opérations de récolte.



Photo 1. Battage du sol pour faire remonter les tubercules en surface

II. Matériel et méthodes

2.1. Site d'expérimentation

L'étude, dont les résultats sont exposés ici, a été menée à Tiérouala, un village situé en zone soudanienne (PIRT, 1986). De 1993 à 2008, la pluviométrie annuelle moyenne a été de 1071 mm en 74 jours. Le cumul de la pluviométrie enregistrée entre le mois d'août (période de semis) et le mois de décembre (période de récolte) était de 590,3 mm en 2007 contre 545 mm en 2008. La répartition de la pluie a été très bonne au cours des deux campagnes. La température moyenne annuelle est de 24°C. Les sols sont de types ferrugineux tropicaux lessivés (Pieri, 1989), pauvres en éléments nutritifs (tableau I). Les pentes sont généralement faibles (1%). La texture du sol est sableuse en surface, ce qui facilite l'infiltration des eaux de pluie (Hoogmoed, Klaij *et al.*, 1991).

Tableau I. Caractéristiques des sols de Tiérouala

pHeau	5,9
Carbone organique (%)	0,54
Azote total (%)	0,06
Pass Bray II (ppm)	5,1
K ₂ O ass (%)	0,056
Mg ass (%)	0,057
CEC (me/100g)	7,09

Source : LaboSEP 1992

2.2. Mise au point du matériel de récolte du pois sucré

Le prototype de la souleveuse de pois sucré a été conçu par les chercheurs du Programme Coton et du Machinisme Agricole. Les concepteurs se sont inspirés de la souleveuse de l'arachide qui avait une lame de 200-300

mm d'envergure avec des dents fouilleurs de fabrication artisanale (Fomba, 2003).

La souleveuse mise au point est, en fait, un multiculteur ordinaire dont le bâti a les caractéristiques suivantes : âge simple en forme de T, section rectangulaire de 4,5 cm x 2,0 cm, longueur totale 81 cm, largeur totale 54 cm, largeur du régulateur vertical 17 cm, système de réglage à 6 possibilités, poids du bâti + mancherons 13,8 kg). Sur ce bâti sont rattachées les pièces travaillantes (photos 2 a et 2 b).

Trois types de lames ont été fabriqués (photos 3 a, 3 b et 3 c) :

- une lame à 6 dents avec une longueur de 33 cm et une largeur de 12 cm (photo 3 a) ;
- une lame sans dent, arquée avec une plus grande envergure, 50 cm (photo 3 b) ;
- une lame racleuse qui pénètre peu dans le sol (photo 3 c).

Evaluation de la fonctionnalité desdits outils

Un essai a été mis en place pour tester la fonctionnalité des différents outils. Dans cet essai, trois techniques de préparation du sol (labour classique, billonnage et grattage du sol) et deux modes de semis (le semis manuel et le semis mécanique) ont été utilisés.

2.3. Matériel de préparation du sol

La charrue à traction bovine a été utilisée pour le labour. Le corps butteur a été utilisé pour le billonnage et les dents canadiennes ont été utilisées pour le grattage. Le semis mécanique a été réalisé à l'aide du semoir ordinaire et le disque utilisé avait 30 trous.

2.4. Matériel végétal

La variété locale de pois sucré a été utilisée comme semence.



Photos 2. Prototype de la souleuse mise au point, vue de profil (2 a) et de face (2 b)

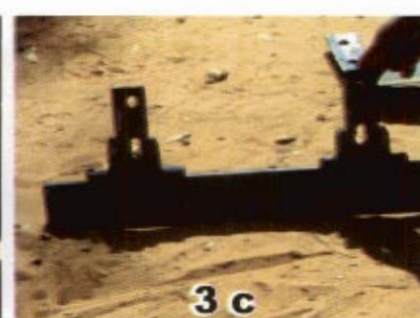
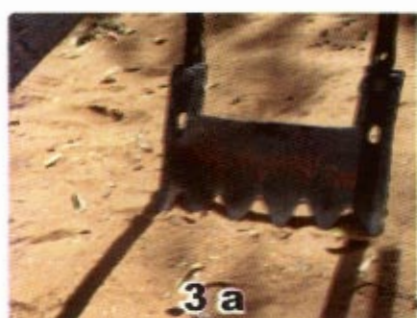


Photo 3. Vue de profil des pièces travaillantes de gauche à droite : a) Lame à 6 dents ; b) Lame sans dent arquée ; c) Lame racleuse.

2.5. Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé est le Split-plot avec 4 répétitions. La dimension des parcelles élémentaires est de 4 m x 20 m (80 m²).

Facteur 1: Travail du sol

T1 : Semis après labour

T2 : Semis après billonnage

T3 : Semis après grattage

Facteur 2 : Mode de semis

S1 : Semis manuel

S2 : Semis mécanique

Fertilisation

Le complexe céréale (17N-17P-17K) a été utilisé comme fumure minérale. La quantité d'engrais utilisée était de 400 kg de complexe céréale par hectare. Un apport unique a été effectué.

Semis

Il a été effectué aux écartements 0,10 m x 0,10 m (0,01 m²), démariage à 1 plant par poquet.

Récolte

La récolte a été faite manuellement et avec les outils mis au point.

2.6. Données collectées

Les données suivantes ont été collectées : comptage du nombre de poquets à la levée, estimation des temps de travaux pour les différentes opérations, estimation des rendements moyens, estimation des temps moyens de récolte, estimation des marges bénéficiaires (l'analyse économique sommaire ne tient pas compte des temps de travaux, et de l'amortissement du matériel agricole qui n'est pas encore tout à fait au point). Le produit brut est obtenu en multipliant le rendement par

un prix moyen au producteur de 175 F CFA/kg de pois sucré. Les charges variables sont calculées en ne tenant compte que des 400 kg de complexe céréale utilisés par hectare. La marge brute est obtenue en soustrayant les charges variables du produit brut.

2.7. Analyse statistique des données

Une analyse de variance (ANOVA) a été faite pour comparer les différents traitements. Le test de Newman Keuls a été utilisé pour comparer les moyennes au seuil de 5%. Les données ont été analysées avec le logiciel Statbox Pro Agri® de la société Grimmer Soft.

III. Résultats et discussion

Pendant les deux années, les activités ont commencé au mois d'août (période recommandée pour le semis du pois sucré). Durant le cycle végétatif de la plante, les pluies ont été abondantes, aucun problème de stress hydrique n'a été observé. Toutes les autres activités se sont déroulées normalement.

3.1. Effet des différents modes de semis et de préparations du sol sur le nombre de plants

Nombre de plants observés dans les parcelles pendant les deux campagnes

Pendant les deux années, aucun des traitements n'a atteint la densité théorique de 1 000 000 de plants à l'hectare soit 0,10 m x 0,10 m (tableau II). Les densités observées en 2008-2009 sont meilleures que celles de 2007-2008. Le mode de préparation du sol n'a pas eu d'effet significatif et aucune interaction n'est apparue entre le mode de préparation du sol et le mode de semis. En milieu paysan, avec des écartements de 0,15 m x 0,15 m, Odile (1987) a obtenu une densité moyenne de 444 444 plants/ha. Pour les mêmes écartements, Koné (1998) a obtenu une densité moyenne de 370 476 plants/ha à Farakala, 433 322 plants/ha à Fanterela et 410 998 plants/ha à Kafana. En fonction de l'écartement adopté au moment du semis, la densité peut être améliorée.

Tableau II. Nombre de plants de pois sucré à l'hectare selon le mode de préparation du sol et la technique de semis en 2007-2008 et en 2008-2009

Travail du sol	Mode de semis			
	T1 semis manuel		T2 semis mécanique	
	2007-2008	2008-2009	2007-2008	2008-2009
Labour	523 125	625 656	413 125	681 031
Billonnage	480 000	671 062	372 500	687 813
Grattage	497 500	704 937	347 500	718 031
Moyenne	500 208 a	667 219	377 708 b	695 625

NB : l'analyse statistique est faite par année.

3.2. Evaluation de la fonctionnalité de la souleveuse mise au point

C'est la lame à 6 dents avec une longueur 33 cm et une largeur 12 cm (photo 4 a) qui s'est avérée être la plus performante. Cependant, la masse de terre soulevée n'est pas déversée du même côté, même si l'essentiel de cette terre soulevée passe par la partie centrale de la lame.

Après une première année d'expérimentation en 2008, il s'est avéré que certaines améliorations étaient nécessaires. C'est ainsi

qu'il a été demandé d'adjoindre un outil émoteur à la souleveuse (photo 5), pour mieux écraser les mottes de terre soulevées par la lame. La souleveuse munie du tambour émoteur a été expérimentée.

Il ressort des observations qu'il doit être relié aux étauçons par un seul jeu de supports au lieu de deux, initialement installés. Par ailleurs, il a été suggéré de mettre aux deux extrémités de l'axe du tambour des goupilles pour éviter que le tambour ne lâche le reste du bâti au cours du travail.

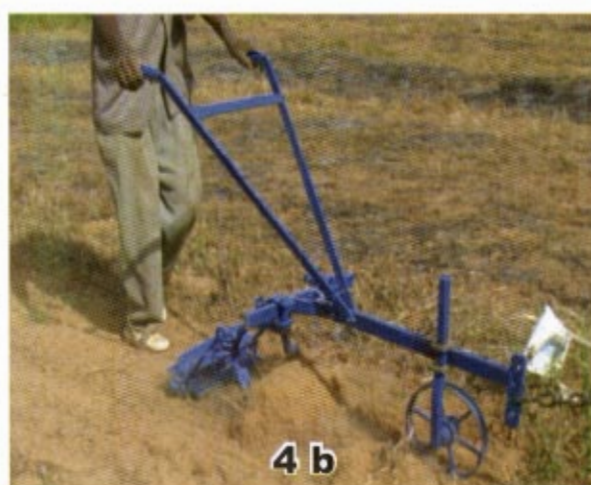
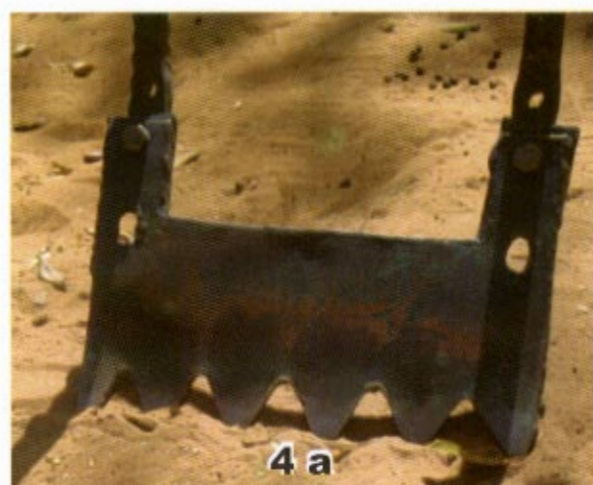


Photo 4. a) Lame à 6 dents ; b) Souleveuse vue de face



Photo 5. Souleveuse améliorée avec un tambour émoteur

3.3. Effet du mode de la récolte sur le rendement du pois sucré

3.3.1. Récolte manuelle

Aussi bien en 2007-2008 qu'en 2008-2009, les rendements obtenus avec la récolte manuelle (tableau III) sont plus élevés en semis manuel qu'en semis mécanique. La moyenne des rendements obtenus avec le semis manuel est significativement différente de la moyenne du semis mécanique. En semis manuel après labour, Koné (1998) a obtenu en moyenne les rendements 2 289 kg de pois sucré par hectare. Les rendements obtenus sont confirmés par les travaux d'Odile (1987) qui a également obtenu 2 000 kg/ha.

3.3.2. Récolte mécanique

Les rendements moyens du pois sucré obtenus, suite à la récolte mécanique (tableau IV), sont plus élevés dans tous les cas (modes de préparation de sol et de semis) à ceux obtenus sur les parcelles «homologues» récoltées manuellement. Cela serait probablement lié à un plus grand volume de terre soulevée grâce à une meilleure pénétration de l'outil aratoire en profondeur.

La différence de rendements obtenus entre les modes de semis est significative. Aucune différence significative n'est observée entre les modes de travail du sol, et il n'y a pas non plus d'interaction entre les modes de semis et le travail du sol.

Tableau III : Rendement de la récolte manuelle du pois sucré avec les différents modes de préparation du sol et différentes techniques de semis en 2007-2008 et 2008-2009.

Travail du sol	Récolte manuelle			
	T1 semis manuel		T2 semis mécanique	
	2007-2008	2008-2009	2007-2008	2008-2009
Labour	1 063	2 519	881	1 563
Billonnage	1 238	1 875	763	1 481
Grattage	844	2 325	713	1 938
Moyenne	1 048 a	2 240 a	785 b	1 660 b

NB : l'analyse statistique est faite par année.

Tableau IV : Rendement de la récolte mécanique de pois sucré selon les différents modes de préparation du sol et de techniques de semis en 2007-2008 et 2008-2009.

Travail du sol	Récolte mécanique			
	T1 semis manuel		T2 semis mécanique	
	2007-2008	2008-2009	2007-2008	2008-2009
Labour	1456	2 875	1169	1 906
Billonnage	1569	2 386	963	1 975
Grattage	1216	2 738	1019	2 106
Moyenne	1414 a	2 667 a	1050 b	1 996 b

NB : l'analyse statistique est faite par année.

3.4. Analyses économiques

Pendant les deux campagnes, les marges financières brutes obtenues avec les semis manuels sont supérieures à celles des semis mécaniques quels que soient le mode de préparation du sol (labour, billonnage et grattage) et le type de récolte (manuelle et mécanique) (tableaux V et VI).

La comparaison des marges brutes des récoltes manuelles et mécaniques indique que ce sont les récoltes mécaniques qui sont relativement plus rentables pour les producteurs de pois sucré. En effet, les marges brutes obtenues avec la récolte mécanique varient entre 70 125 et 343 125 F CFA/ha contre 35 125 et 280 825 F CFA/ha pour la récolte manuelle.

La récolte mécanique après un labour et un semis manuel avec une marge brute de 343 125 F CFA/ha est la technique la plus rentable.

3.5. Analyse des temps de travaux

L'analyse des temps de travaux faite en 2008-2009, montre qu'il y a une différence significative entre le temps de semis manuel et celui du semis mécanique qui offre, lui, la meilleure économie de temps. Le temps de semis est réduit au quart (15 minutes) pour le semis mécanique contre 60 minutes (1 heure) pour le semis manuel pour la même superficie (tableau VII). Également, le soulevage-émottage mécanique offre une économie de temps considérable et une utilisation beaucoup

Tableau V : Marge financière brute du pois sucré récolté manuellement selon différents modes de préparation du sol et différentes techniques de semis

Marge brute (FCFA/ha)	Labour		Billonnage		Grattage	
	Semis manuel	Semis mécanique	Semis manuel	Semis mécanique	Semis manuel	Semis mécanique
Campagne 2007-2008	87 625	55 775	118 250	35 125	49 300	26 375
Campagne 2008-2009	280 825	113 525	168 125	99 175	246 875	179 150

Tableau VI : Marge financière brute du pois sucré récolté mécaniquement selon différents modes de préparation du sol et différentes techniques de semis

Marge brute (FCFA/ha)	Labour		Billonnage		Grattage	
	Semis manuel	Semis mécanique	Semis manuel	Semis mécanique	Semis manuel	Semis mécanique
Campagne 2007-2008	156 400	106 175	176 175	70 125	114 400	79 925
Campagne 2008-2009	343 125	173 550	257 550	185 625	319 150	208 550

Tableau VII : Estimation des temps de travaux lors des différentes opérations culturales

Opérations		Durée des opérations culturales sur 40 m ²						
		Temps en mm						Nombre de personnes
Semis	Manuel	65	60	62	63	60	62	2
	mécanique	13	13	15	14	13	12	2
Émottage manuel		30	25	24	25	30	31	4
Soulevage-émottage (mécanique)		6	5	7	7	6	5	2

plus efficiente de la main d'œuvre par rapport à l'émottage manuel qui emploie le double de la main-d'œuvre.

IV. Conclusion et perspectives

Après deux années d'expérimentation, des avancées très significatives ont été faites sur la mise au point du matériel de récolte du pois sucré. Certes, le travail n'est pas complètement fini, mais une base solide existe pour la poursuite des travaux dans le domaine. Au regard de l'objectif de réduction de la pénibilité (des diverses phases de la culture du pois sucré) du travail, des débuts de solutions sont trouvés.

Comme instrument de récolte, la lame à 6 dents, avec une longueur 33 cm et une largeur de 12 cm, est plus performante que les deux autres types de lames qui ont été expérimentés. L'adjonction du rouleau émoteur à la souleveuse a permis d'améliorer les résultats. Cependant, l'amélioration telle que celle de la liaison entre le rouleau émoteur et la souleveuse est encore possible. Le rouleau émoteur peut être fait avec des dents discontinues en quinconce.

Pendant les deux campagnes, aucun des traitements n'a atteint la densité théorique de plants à l'hectare (1 000 000 plants). Des attaques de termites ont été observées pendant les petites périodes de sécheresse, ce qui a contribué à réduire la densité à la récolte. Dans la conduite des futures expérimentations, l'utilisation efficace de produits contre les termites peut être conseillée.

Le calcul des marges brutes montre bien que la récolte mécanique est plus rentable pour les producteurs de pois sucré. L'analyse des temps de travaux a également montré qu'il y a une différence significative entre le temps de semis manuel et celui du semis mécanique qui offre la meilleure économie de temps, c'est-à-dire : moins de temps pour la mise en place des parcelles.

V. Références

- ALOU A. K., 2008. Plan d'affaires de la fédération SA'A de Maradi pour la commercialisation du souchet à l'export 2009-2013. Extrait étude de marché. p 14.
- DIALLO D., 1987. Etude agro-économique de la production du pois sucré par les femmes, cas du village de Kassanso. Mémoire de fin d'étude IPR.
- DICKO A., KÉITA M.A. 2009. Mise en relation des acteurs de la filière pois sucré à Sikasso, Mali. Atelier International - Cotonou, Bénin - 11 au 15 mai 2009. http://www.icra-edu.org/objects/ard_fr_sharing/Mali2.pdf.
- FOMBA A., 2003. Etude pour la mise au point d'un matériel de récolte du pois sucré. Agence pour la Promotion des Filières Agricoles. Rapport final, 19 p.
- HOOGLMOED W. B., KLAIJ M. C. et BROUWER J., 1991. Infiltration, runoff and drainage in the Soudano-Sahelian zone. In: Sivakumar M.V.K., Wallace, J.S., Renard, C. (Eds). Soil water balance in the soudano-sahelian zone (Proceedings of the Niamey workshop, February 1991). IASH Publ. n°199, 85-98.
- IFDC, 2008. Appui au développement de la chaîne de valeur du pois sucré à Farakala, Sikasso-Mali. Série de documents de travail N°135.
- IFDC, 2009. Les pois sucrés et l'union fait la force. <http://www.icra-edu.org/objects/partenaire/ACF4C.pdf>.
- KONÉ M., 1998. Expérimentation agronomique sur le pois sucré dans la région de Sikasso: Tests paysans de fertilisation minérale du pois sucré. Rapport de campagne 1998.
- NGELEKA A. K., 2006. Profil du sous secteur des légumineuses à graines en République Démocratique du Congo. Projet GCP/DRC/031/BEL.FAO.
- ODILE N., 1987. La culture du pois sucré dans la région de Sikasso. La cas de Kassanso. Rapport de campagne DRSPR.
- PARÉ C., 1994. Le jus de pois sucré, une spécialité espagnole au Burkina. SYFIA info, article 2093.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris, Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT.
- PIRT, 1986. Zonage agro-écologique du Mali. Tome 1. INRZFH/DRFH-Sotuba, Bamako, 80 pages.

Étude de l'efficacité agronomique du Phosphate Naturel de Tilemsi sous l'action de la matière organique

Survey on the Agricultural Effectiveness of PNT under the Influence of the Organic Material

Ondié Kodio¹, Fafré Samaké², Mamadou Kabirou Ndiaye¹, Fodé Diallo¹

¹Institut d'Economie Rurale (IER) Mali, Centre Régional de Recherche Agronomique de Kayes, Programme Arachide. BP 281. Tél. (223) 76 48 54 35 / 66 82 87 40

Email : ondiekodio@yahoo.fr

²Institut Polytechnique Rural/de Katibougou/Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/ISFRA), Université de Bamako, Mali.

Résumé

La dégradation des sols en Afrique de l'Ouest, en général, et au Mali, en particulier, se traduit par une carence en éléments minéraux majeurs parmi lesquels le phosphore occupe la place la plus importante. Plusieurs expérimentations ont été effectuées au Mali sur l'emploi du PNT (Phosphate Naturel de Tilemsi) en agriculture. Il a été établi qu'en améliorant sa solubilité, ce produit peut jouer un rôle capital dans l'agriculture malienne. L'étude proposée avait pour but de mettre au point des alternatives d'amélioration de cette ressource locale d'amendement fertilisant en vue de son utilisation à grande échelle en agriculture. Une expérience en pots de végétation a été conduite de 2005 à 2006 à la Station de Recherche Agronomique de Samé/Kayes sur l'arachide afin d'évaluer l'efficacité agronomique des formulations à base de PNT incluant des matières organiques (résidus de récolte, fumier et compost) à 5 niveaux d'incorporation. L'objectif consistait à améliorer la disponibilité du P contenu dans le PNT. Les effets de ces différentes formulations sur les composantes du rendement (formation des gousses, poids gousses, formation de nodules, etc.) ont été mesurés. Il a été établi que l'ajout au PNT de la matière organique, quel qu'en soit le type (fumier, compost-et résidus de récolte), favorise et contribue considérablement à l'augmentation du rendement global de l'arachide. Ces matières organiques jouent

un rôle important sur le PNT par l'action des composés humiques qui solubilisent la roche pour libérer plus de P assimilable directement par la culture. Deux formulations (2,5 tonnes de fumier + 200 kg/ha PNT et 25 tonnes de compost + 100 kg/ha) étaient les plus efficaces et possédaient, chacune, 228% comme indice d'efficacité agronomique par rapport au PNT seul. Elles ont été retenues pour leur évaluation à grande échelle en milieu réel.

Mots clés : Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT), solubilité, disponibilité, matière organique, efficacité agronomique, formulation.

Abstract

The deterioration of soils in West Africa in general and in Mali in particular, is explained by the defaulting in major mineral elements among which the phosphorus occupies a major position. Several experimentations have been done in Mali on the use of the PNT (*Phosphate Naturel de Tilemsi* - Tilemsi phosphate rock) in agriculture. It has been established that, while improving the solubility of this product, it can play a fundamental role in Malian agriculture. The goal of the proposed survey was to develop alternatives for the improvement of this local resource in view of its utilization on a larger scale in agriculture. An experiment in pots of vegetation has been conducted in 2005 and in 2006 at the *Station de Recherche Agronomique de Samé/Kayes*

(agronomic research station) on groundnut in order to assess the agronomic efficiency of PNT-based formulations containing organic matters (residues of harvest, manure and compost) multilevel. The strategy consisted in improving the availability of the restrained P in the PNT. Effects of these different formulations on components of the output (formation of pods, pods weight, formation of nodules, etc.) have been measured. It has been established that the addition to the PNT of whatever type of organic matter (manure, compost and residues of harvest) encourages and positively contributes to the increase of the global output of groundnut. These organic matters play an important role on the PNT by the action of humic compounds that solubilize the rock to free more P to be directly assimilated by the culture. Two formulations (2.5 tons of manure + 200 PNTS kg/ha and 2.5 tons of compost + 100 kg/ha) were the most efficient and possessed each 228% as indication of efficiency in relation to PNT alone. They have been retained for assessment on a larger scale in real environment.

Key words: Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT), solubility, availability, organic matter, agronomic efficiency, formulation.

I. Introduction

L'histoire de l'agriculture montre que l'accroissement des rendements est fortement lié à un certain nombre de facteurs qui sont bien connus, parmi lesquels les engrais chimiques et organiques. De nombreux travaux de recherche ont été effectués sur le Phosphate Naturel de Tilemsi pour son éventuelle utilisation directe en agriculture. Il ressort de ces travaux que l'emploi direct du PNT se traduit par un faible coefficient d'utilisation réelle du phosphore (P) en raison de sa faible disponibilité pour les plantes (Bollan *et al.*, 1988 et 1990).

Plusieurs expérimentations ont montré que l'utilisation du PNT dans les parcs et dans les fosses fumières augmente la disponibilité du phosphore (P) du PNT (Jenny F., 1973 ; Samaké F., 1987 ; Thibout, F. ; C.C. et Pichot, J., 1978). Des travaux réalisés par Bationo *et*

al. (1987) sur l'évaluation des phosphates naturels du Parc de W et de Tahoua (NPW et PNT) produits localement ont permis de constater que celui de Parc de W était seulement efficace à 48% en comparaison du superphosphate simple (SSP) alors que l'efficacité d'un phosphate aussi réactif que celui de Tahoua pouvait atteindre 76% en comparaison du Superphosphate Simple. Les travaux de recherche sur la valorisation du phosphate naturel de Tilemsi (PNT) par le processus du « biosuper » et l'action des composés organiques d'origine végétale et animale (Kodio, O. 2009) ont démontré les effets des matières organiques sur la solubilité du PNT.

L'efficacité du NP à faible réactivité par comparaison avec le SSP est le résultat de la faible solubilité du minéral dans l'eau. Plusieurs études ont montré que l'acidulation partielle du PN est un moyen d'accroître la solubilité et l'efficacité agronomique des Phosphates Naturels à un coût moindre par rapport à la fabrication des engrais conventionnels complètement acidulés tels que le Superphosphate Simple (SSP) ou le superphosphate triple (TSP) (Hammond *et al.* 1986, Schultz, 1986).

La présente étude a été conduite à la Station de Recherche Agronomique de Samé/Kayes afin de contribuer à approfondir les connaissances sur les techniques de dégradation du PNT par l'action des acides organiques. Plusieurs formulations de fertilisants à base de PNT et de matière organique (fumier, résidus de récolte, compost) à cinq (5) niveaux de combinaison ont été utilisées pour déterminer la solubilité du PNT. Il s'agit de mettre au point des technologies endogènes simples et efficaces à la portée du paysan individuel et facilement transférables en milieu paysan. Une fois la technologie éprouvée, elle permettra de résoudre l'une des difficultés combien importantes de la non adoption du PNT et, du coup de contribuer à réduire le problème de devise. L'utilisation de ces formulations permettront également d'améliorer durablement l'exploitation des terres par le maintien de leur fertilité et de contribuer ainsi à l'augmentation du revenu des agriculteurs.

II. Matériel et méthodes

2.1. Matériel

2.1.1. Sol

Le sol de la Station de Recherche Agronomique de Samé a été utilisé dans l'étude. Les échantillons ont été prélevés au mois de juin 2005 avant l'installation des pluies dans la couche culturale de 0-20 cm puis séchés, broyés et passés au tamis de 2 mm avant les analyses physico-chimiques. Ce sol est du type ferrugineux tropical lessivé par les alluvions. Il est plus ou moins hydromorphe et est caractérisé par une texture sableuse en surface (horizon 0-20 cm) avec dominance de la fraction sable fin. Le pH est acide. C'est un sol battant pauvre en matière organique. L'horizon de surface est lessivé en argile. Les échantillons ont été séchés au soleil et des sous échantillons de 10 g ont été prélevés et passés à l'étuve pour déterminer l'humidité. Dans chaque pot de végétation, il a été mis 8 kg de terre. Les différentes analyses ont été effectuées au laboratoire Sol-Eau-Plantes de Sotuba.

2.1.2. Les matières organiques utilisées et leurs caractéristiques chimiques

Le tableau I donne les caractéristiques des matières organiques.

- **Les résidus de récolte**

Le type de résidus de récolte utilisé est celui de la paille de sorgho enfouie (2,5 tonnes/ha)

- **Le fumier de ferme**

Le fumier de ferme (bovins) est une source très importante d'humus pour les exploitations qui ont du bétail pour faire du fumier. La valeur de cet humus dépend, d'une part, du stade auquel la fermentation a été poussée et, d'autre part, des conditions climatiques. On sait que 1000 kg de fumier de ferme (bovin) donnent 100 kg d'humus s'il s'agit de fumier bien décomposé et 40 à 80 kg seulement si le fumier est encore plus ou moins pailleux (André Gros, 1974). Le fumier de ferme (2,5 tonnes) plus du PNT

à 5 doses : 25, 50, 100, 200 et 300 kg/ha en apport annuel constituaient les principales rentrées de l'essai.

- **Le compost**

Le compost utilisé est le produit de la transformation des ordures ménagères en un engrais organique ou fertilisant organique. Le tas de compost est obtenu en construisant des couches successives de matériel végétal et animal si possible et de mince couche de terre de culture. Cette opération est répétée jusqu'à ce que le tas ait une hauteur de 1,5 à 2 m. Au cours du processus de décomposition, le tas doit être retourné régulièrement au bout de 2 à 3 semaines pour lui assurer une bonne aération et une bonne transformation du matériel végétal. Dans les circonstances favorables, le processus de décomposition de cette méthode de compostage se déroule en trois mois. Dans des conditions défavorables elle peut durer six mois. Les matières organiques incluses dans cette étude comprennent plusieurs types : le fumier, les résidus de récolte et le compost. Ces divers types de matières organiques ont été évalués sur la base de leurs caractéristiques chimiques et de leurs effets sur la dynamique du phosphore assimilable, sur l'évolution du pH eau et sur la production de matière sèche de la plante test. Quelques caractéristiques chimiques de ces matières organiques sont indiquées au tableau I.

2.1.3. Source de PNT

Le Phosphate Naturel utilisé est celui du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT), finement broyé. L'analyse minéralogique du phosphate naturel de Tilemsi résultant des données pétrographiques, chimiques et de rayons x, montre que ce minerai est de teneur relativement élevée, environ 81% d'apatite (d'après Guerry H., Mc Clellan et Ray B. Diamond, 1969). La solubilité du PNT a été déterminée dans différents réactifs, le citrate d'ammonium neutre, l'acide citrique 2% et l'acide formique 2%. Les phosphates naturels doivent avoir au moins 55% de P_2O_5 , soluble dans l'acide formique à 2% pour être utilisés en application directe.

Tableau I. Caractéristiques chimiques des matières organiques utilisées

Matières organiques	pH eau	C % total	N total %	C/N	P total %	P soluble eau %	Mg %	K %	Ca %
Résidu paille de sorgho	7.2	20,45	0.98	21	1.12	0.018	0.24	0.25	0.36
Fumier utilisé	7.4	22.15	1.12	19	1.45	0.020	0.58	0.28	0.42
Compost	8.2	27.12	1.38	20	1.03	0.014	0.22	0.45	0.28

2.1.4. Matériel végétal

La plante test utilisée est l'arachide (*Arachis hypogaea*) en raison de sa grande réponse au phosphore du PNT comparativement aux céréales. C'est une plante qui a la faculté d'absorber du phosphore dans des sols pauvres en cet élément. Une seule variété a été utilisée dans l'étude, la variété Samèké (JL24). Elle est originaire des Indes et elle a été introduite au Mali dans les années 1995. Elle est classée parmi le type d'arachide du groupe Spanish. La JL24 est une variété d'arachide qui est largement cultivée au Mali dans les zones à faible pluviométrie (350-700 mm de pluie par an). Son cycle est de 90 jours. Elle présente un port érigé et a de larges folioles de couleur vert-clair. La gousse contient en général 2-1 graines. Le tégument séminale est de couleur rose-clair. Les graines sont grosses et très lisses. Le bec est apparent. La variété Samèké présente un très bon regroupement des gousses facilitant ainsi les opérations de récolte. Elle convient mieux sur des sols sablo-limoneux. Elle a un rendement moyen gousses (en milieu paysan) de 1800 kg/ha et ne présente pas de dormance. Elle est actuellement bien appréciée par les paysans dans les régions de Kayes, de Ségou et de Koulikoro pour sa grande productivité et sa qualité grainière.

2.1.5. Pots de végétation

Les pots de végétation utilisés sont des pots en plastique de type « Sada Diallo », trapézoïdal, dont les dimensions sont :

- Hauteur : 26 cm
- Grande base : 27 cm
- Petite base : 20 cm
- Volume du pot : 7150 cm³
- Aire du pot : somme des bases x hauteur = $\frac{(27 + 20) \times 26}{2} = 611 \text{ cm}^2$

Chaque pot porte :

- un numéro d'ordre, un numéro de traitement et de répétition ;
- le fond de chaque seau est percé de trous et recouvert d'un tapis de gravier (1 kg) pour éviter une stagnation d'eau et, ainsi, permettre un bon drainage et une bonne aération. Les graviers sont utilisés pour empêcher l'obstruction des trous des vases ;
- concernant la mise en place du dispositif (traitements en pots), un mélange minutieux au préalable (sol, traitements et complément minéraux) a été effectué. Les semis ont été effectués à une graine par poquet avec des semences préalablement traitées au thioral rouge. L'arrosage est effectué suivant une fréquence de deux fois par semaine et selon le besoin.

2.2. Méthodes

2.2.1. Dispositif expérimental

Pour l'étude de la cinétique de l'absorption des différentes sources de P, la technique utilisée est celle de la culture en pots de végétation proposée par Chaminade, 1960. L'expérience a été conduite en contre saison-sèche 2004-2005 à la Station de Recherche Agronomique de Samé/Kayes de février à mai 2005. Le dispositif expérimental est un split-plot, avec comme facteurs principaux les matières organiques (résidus de récolte, fumier, compost) et comme facteurs secon-

naires les doses d'application des différentes formulations (tableau II, soit un dispositif du type : 3 x 5 doses de formulations x 3 répétitions = 45 unités expérimentales et 5 traitements additionnels.

2.2.2. Observations

- Nombre de jours semis-levée
- Nombre de jours semis-50% floraison
- Prélèvement foliaire au stade floraison
- Comptage des nodules
- Rendement gousses et fanes

Tableau II. Quantité (g) de formulation appliquée par pot

Traitements	Quantité par pot (g)
T1 = 2,5 t/ha RR + 25 kg/ha PNT	178,75 RR + 0,178 PNT
T2 = 2,5 t/ha RR + 50 kg/ha PNT	178,75 RR + 0,35 PNT
T3 = 2,5 t/ha RR + 100 kg/ha PNT	178,75 RR + 0,715 PNT
T4 = 2,5 t/ha RR + 200 kg/ha PNT	178,75 RR + 1,430 PNT
T5 = 2,5 t/ha RR + 300 kg/ha PNT	178,75 RR + 2,86 178 PNT
T6 = 2,5 t/ha Fumier + 25 kg/ha PNT	178,75 Fumier + 0,178 PNT
T7 = 2,5 t/ha Fumier + 50 kg/ha PNT	178,75 Fumier + 0,35 PNT
T8 = 2,5 t/ha Fumier + 100 kg/ha PNT	178,75 Fumier + 0,715 PNT
T9 = 2,5 t/ha Fumier + 200 kg/ha PNT	178,75 Fumier + 1,430 PNT
T10 = 2,5 t/ha Fumier + 300 kg/ha PNT	178,75 Fumier + 2,86 PNT
T11 = 2,5 t/ha Compost + 25 kg/ha PNT	178,75 COMP + 0,178 PNT
T12 = 2,5 t/ha Compost + 50 kg/ha PNT	178,75 COMP + 0,357 PNT
T13 = 2,5 t/ha Compost + 100 kg/ha PNT	178,75 COMP + 0,715 PNT
T14 = 2,5 t/ha Compost + 200 kg/ha PNT	178,75 COMP + 1,430 PNT
T15 = 2,5 t/ha Compost + 300 kg/ha PNT	178,75 COMP + 2,86 PNT
T16 PNT pur	0,715 PNT
T17 = Résidus de récolte simple	0,357 RR
T18 = Fumier simple	178,75 Fumier
T19 = Compost simple	178,75 COMP
T20 = Témoin absolu	Témoin sans engrais

NB : RR : Résidus de récolte ; FO : Fumure organique ; PNT : Phosphate naturel de Tilemsi ; COMP: Compost

2.2.3. Détermination de l'efficacité agronomique relative (EAR)

L'efficacité agronomique relative des différentes formulations fertilisantes d'engrais (traitements) par rapport au complexe coton a été calculée suivant la formule d'Englestad *et al.*, 1974 et Chien et Hammond, 1978.

2.2.4. Analyse des sources de matière organique

Après les opérations de compostage, des analyses physico-chimiques ont été effectuées

sur les différents échantillons et elles portaient sur : la granulométrie et la teneur en éléments chimiques : C, N, C/N, M.O, pH eau, Ca, Mg, P assimilable.

2.2.5. Analyses statistiques

Toutes les analyses de variance ont porté sur le rendement gousses, le nombre de gousses et de nodules formés.

$$RAE\% = \frac{Rdt^{**} \text{ (culture avec fertilisant)} - Rdt \text{ (témoin sans engrais)}}{Rdt \text{ (culture avec Complexe coton)} - Rdt \text{ (témoin sans engrais)}} \times 100$$

* EAR % = Efficacité Agronomique relative

**Rdt = Rendement

III. Résultats

3.1. Caractéristiques du sol de l'étude

Le sol du site de l'expérimentation fait partie de la série des sols sablonneux. Les analyses de sol, tableau III ont montré qu'on est en présence d'un sol favorable physiquement à la culture de l'arachide avec un taux élevé en sable. Il est établi que la texture du sol influe de plusieurs manières sur le pouvoir alimentaire. Dans un sol poreux, le coefficient de diffusion de P en solution augmente en même temps que la teneur en argile. Il arrive aussi que l'aptitude du phosphore de la phase solide à réapprovisionner la solution augmente en même temps la teneur en argile. Ceci voudrait dire qu'il faut davantage de phosphore dans

les sols riches en argile que dans les sols pauvres. La variation moyenne des pH eau au niveau des parcelles d'expérimentation est de 6,2. On est donc en présence de sol acide, qui correspond à ceux où les diastases lipolytiques manifestent la meilleure activité, favorisant ainsi la germination et l'arachide paraît tolérante à ce facteur. Elle est, en effet, cultivée sur des sols à pH compris entre 4 à 8. Les pH très faibles caractérisent souvent des sols déficients en CaO et sont très peu favorables sans amendement calcique aux variétés à grosses gousses. En ce qui concerne le P assimilable (7,85 ppm), il est relativement faible (tableau III) malgré la teneur en P total du sol qui paraît acceptable (101 ppm). Le sol est pauvre en matière organique et en azote.

Tableau III. Quelques propriétés physico-chimiques du sol de Samé.

SOLS	Sable %>0,05 mm	Limon fin 0,05-0,002	Argile %<0,002 mm	pH eau	% MO	P Total (ppm)	P assi+ (ppm)	Azote %
Samé	89,5	5,5	4,6	6,2	0,54	101	7,85	0,03

+P assi: phosphore assimilable

3.2. Sources de PNT

3.2.1. Caractéristiques physico-chimiques du PNT

Les analyses granulométriques réalisées révèlent des variations de la teneur en P de l'échantillon suivant les dimensions des fractions comme l'avait si bien trouvé Jenny en 1973 (tableau IV) dans une expérimentation agronomique sur les phosphates naturels du Tilemsi en conditions de cultures sèches.

Les principaux constituants du phosphate naturel de Tilemsi (PNT) sont : le phosphore 28,5% et le calcium, avec une teneur de 42,2% (tableau V).

La solubilité du PNT dans différents réactifs, le citrate d'ammonium neutre, l'acide citrique à 2% et l'acide formique à 2% est présentée dans le tableau VI. Les phosphates naturels

doivent avoir au moins 55% de P_2O_5 , soluble dans l'acide formique 2% pour être utilisés en application directe.

3.3. Étude de l'efficacité agronomique des formulations fertilisantes sur l'arachide

3.3.1. Effet des formulations sur les composantes du rendement

L'étude de l'efficacité agronomique a été basée sur l'effet des différentes formulations sur les paramètres de rendement gousses, nombre de gousses, nombre de nodules formées par plant. Les résultats d'analyse de variance, (tableau VII), montrent une valeur de F calculée hautement significative au seuil de probabilité ($P < 0.0001$). Il existe également une différence hautement significative entre les différentes formulations.

Tableau IV. Composition du phosphate (PNT) par taille de granule

Dimensions des particules (mm)	< 0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	1-3,	> 3
Teneur en P_2O_5 %	11,7	25,5	30,6	33,1	31,1

Tableau V. Composition chimique du PNT en pourcent

Éléments	P_2O_5	CaO	MgO	CO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	F ₂ O ₃	Total
Teneurs %	28,5	42,2	0,35	2,2	6,3	2,39	5,68	0,42

Tableau VI. Solubilité du PNT dans différents réactifs en % du P_2O_5 total

Réactifs	Solubilité
- Dilution isotopique en mm	3.87
- Citrate neutre AOAC	13.5
- Acide citrique 2%	38.5
- Acide formique 2%	61.2

Tableau VII. Performances agronomiques des différentes formulations sur le rendement de l'arachide, Samé, 2005.

N° ordre	Traitements	Densités plants (%)		Rendements (kg/ha)		Nombre nodules par plant
		Levée	Récolte	Gousses	Fanes	
1	2,5 t/ha RR + 25 kg/ha PNT	86	85	2420	3650	132
2	2,5 t/ha RR + 50 kg/ha PNT	80	78	2185	2950	152
3	2,5 t/ha RR + 100 kg/ha PNT	85	84	3220	4235	190
4	2,5 t/ha RR + 200 kg/ha PNT	82	66	2235	3850	205
5	2,5 t/ha RR + 300 kg/ha PNT	85	82	1875	3450	130
6	2,5 t/ha Fumier + 25 kg/ha PNT	84	82	2885	4775	134
7	2,5 t/ha Fumier + 50 kg/ha PNT	84	82	2210	3500	160
8	2,5 t/ha Fumier + 100 kg/ha	92	90	3122	4965	129
9	2,5 t/ha Fumier + 200 kg/ha	84	82	2154	3456	121
10	2,5 t/ha Fumier + 300 kg/ha PNT	84	82	2060	2850	145
11	2,5 t/ha Compost + 25 kg/ha PNT	86	82	2300	3545	120
12	2,5 t/ha Compost + 50 kg/ha PNT	94	89	2540	4875	135
13	2,5 t/ha Compost + 100 kg/ha PNT	96	90	2357	4852	129
14	2,5 t/ha Compost + 200 kg/ha PNT	86	64	1950	4120	104
15	2,5 t/ha Compost + 300 kg/ha PNT	84	82	2118	3820	128
16	PNT pur	82	80	1450	2850	119
17	Résidus de récolte simple	82	78	1520	3267	144
18	Fumier simple	84	80	1230	3275	127
19	Compost simple	80	78	1604	2140	125
20	Témoin sans engrais	86	82	1458	2145	242
S.E.M	<i>Parcelles principales</i>					
	<i>Blocs</i>	8.35	14.24	10.50	7.26	9.22
	<i>Matières organiques</i>	10.13	17.22	12.45	10.22	10.30
	<i>Sous parcelles</i>					
	<i>Doses de PNT</i>	17.45	20.02	8.55	8.57	9.91
	<i>Doses x Matières organiques</i>	14.24	16.12	9.62	9.78	1028
C.V (%)	<i>Blocs</i>	8.85	11.35	17.42	9.46	8.10
	<i>Traitement</i>	11.24	13.52	14.25	10.21	9.30
Signif	<i>Matière organique</i>	NS	NS	S	NS	NS
	<i>Doses* PNT</i>	S	HS	S	S	S
	<i>Interaction</i>	NS	NS	S	S	NS

• Effet sur la formation des gousses

Les résultats des données du tableau VII (nombre de gousses par pot) montrent l'influence de l'apport des fertilisants dans la formation des gousses. La comparaison du nombre de gousses formées montre qu'il existe une différence significative entre les formulations. Ainsi, ce nombre varie-t-il de 17 gousses pour le témoin sans engrais à 33 gousses pour le traitement ayant reçu 2,5 t/ha Fumier + 200 kg/ha PNT (tableau VII). Quatre traitements se détachent des autres. Il s'agit des formulations : 2,5 t/ha FO + 200 kg/ha de PNT, 2,5 t/ha de FO + 100 kg/ha de PNT, 2,5 T de RR+ 200 kg/ha PNT et 2,5 t/ha compost + 200 kg/ha PNT. Ces quatre formulations se montrent nettement supérieures aux autres formulations avec respectivement de 33, 31, 30 et 30 gousses par pot de végétation. L'analyse de variance montre un effet significatif net de la combinaison fumure organique + PNT au niveau des trois facteurs. Ainsi, il apparaît clairement que toutes les combinaisons à base de fumier présentaient un nombre de gousses plus important par rapport aux autres combinaisons contenant des résidus de récolte ou du compost. Concernant les apports simples (résidus de récolte, fumier et compost), la bonne performance du fumier a été également confirmée. Les résidus de récolte et le compost avaient un résultat presque similaire. Il a été noté que la dose de 200 kg/ha de PNT donnait un nombre le plus élevé de gousses d'arachide par rapport aux autres niveaux d'incorporation de PNT utilisés (25, 50, 100 et 300 kg/ha (tableau VII).

• Effet des formulations fertilisantes sur la variation du poids gousses et fanes de l'arachide

L'influence des formulations sur le poids des gousses et le poids en fanes (matière sèche) de l'arachide a été très remarquée. Une production plus importante en matière sèche (fanés) et en poids gousses sur les différents traitements ayant reçu les formulations fertilisantes a été observée. Les poids variaient de 11 g à 27 g pour les gousses et de 21 à 47 g pour les fanes. La formulation fertilisante : 2,5 t/ha FO + 200 kg/ha de PNT avec 27 g de gousses et 47 g en

fanés a été la plus performante. Elle a été suivie de la formulation d'engrais 2,5t/ha de FO + 100 kg/ha de PNT avec respectivement 26 g et 45 g de gousses et fanes. Parmi les différentes combinaisons utilisées, celle à base de fumier a été la plus performante. Elle a été suivie de la combinaison à base de résidus de récolte et celle à base de compost. Les combinaisons avec 200 kg/ha de PNT et 100 kg/ha de PNT produisent plus que celles avec 25 et 50 kg/ha de PNT. Ici encore les combinaisons à base de fumier offrent le meilleur résultat (tableau VII). Les deux facteurs (fumier organique et résidus de récolte) présentaient les meilleures performances.

• Impact sur la formation des nodules

Dans la culture de l'arachide, il est important de savoir que la quantité de fleurs donnant naissance à des gynophores et à des fruits est variable dans le temps. Ce sont en général les fleurs formées durant les deux ou trois premières semaines de floraison qui ont le meilleur coefficient d'utilisation (fleurs utiles). Le coefficient d'utilisation des fleurs est relativement faible. Il faut en moyenne cinq à six fleurs pour donner une gousse. Il est très important dans une culture d'arachide de bien choisir la période d'application des fertilisants et avoir des conditions environnementales (humidité, sol, etc.) favorables, toutes choses qui conditionnent et contribuent au développement et à la pénétration des gynophores pour une formation des gousses. Le tableau VII, montre très nettement que le pic le plus élevé en nombre de nodules est obtenu avec les traitements 9 et 8, c'est-à-dire les formulations (2,5 t/ha de Fumier + 200 kg/ha PNT et 2,5 t/ha FO + 100 kg/ha PNT), confirmant ainsi la bonne performance de cette formulation (traitement 9) par rapport aux autres.

3.3.2. Indice d'efficacité agronomique des formulations fertilisantes

L'efficacité agronomique relative (EAR) des différentes formulations par rapport au PNT a été calculée et les résultats sont présentés dans le tableau VIII.

Tableau VIII. Indices d'efficacité agronomique relative des formulations par rapport au PNT

Traitements	Indices d'efficacité agronomiques %, sol de Samé	
	Gousses	Fanes
T1 = 2,5 t/ha RR + 25 kg/ha PNT	57	46
T2 = 2,5 t/ha RR + 50 kg/ha PNT	100	100
T3 = 2,5 t/ha RR + 100 kg/ha PNT	157	113
T4 = 2,5 t/ha RR + 200 kg/ha PNT	200	140
T5 = 2,5 t/ha RR + 300 kg/ha PNT	171	40
T6 = 2,5 t/ha Fumier + 25 kg/ha PNT	86	86
T7 = 2,5 t/ha Fumier + 50 kg/ha PNT	128	106
T8 = 2,5 t/ha Fumier + 100 kg/ha PNT	214	160
T9 = 2,5 t/ha Fumier + 200 kg/ha PNT	228	173
T10 = 2,5 t/ha Fumier + 300 kg/ha PNT	100	93
T11 = 2,5 t/ha Compost + 25 kg/ha PNT	43	57
T12 = 2,5 t/ha Compost + 50 kg/ha PNT	43	57
T13 = 2,5 t/ha Compost + 100 kg/ha PNT	228	33
T14 = 2,5 t/ha Compost + 200 kg/ha PNT	186	106
T15 = 2,5 t/ha Compost + 300 kg/ha PNT	57	100
T16 PNT pur	100	100
T17 = Résidus de récolte simple	28	26
T18 = Fumure simple	43	47
T19 = Compost simple	14	27
T20 = Témoin absolu	-	-

L'efficacité agronomique des différentes formulations fertilisantes d'engrais comparée à la roche naturelle (PNT) a été calculée (tableau VIII) pour le rendement gousses et fanes. En production gousses, cette efficacité varie de 14% pour le compost simple à 228% respectivement pour les formulations 2,5 t/ha de fumier + 200 kg/ha de PNT et 2,5 t/ha de compost + 100 kg/ha de PNT. Au niveau de la production fanes, c'est toujours le traitement 9, la formulation d'engrais comportant la combinaison de 200 kg/ha de PNT + 2,5 t/ha de fumier, qui présente un indice d'efficacité relative nettement plus élevé que les autres

formulations. Elle est suivie du traitement 3, la formulation comportant la combinaison de 2,5 t/ha de résidus de récolte + 100 kg/ha de PNT à l'hectare. Parmi les groupes de formulations fertilisantes appliquées (tableau VIII), il a été observé que les groupes contenant le fumier et les résidus de récolte présentaient un indice d'efficacité plus élevé que les combinaisons avec du compost. Il a été remarqué aussi que les rendements gousses et fanes d'arachides obtenues avec les apports simples de fumier, de résidus et de compost sont moins efficaces que leurs combinaisons avec le PNT.

VI. Discussion

Dans le domaine du sol de l'étude (sol de Samé), les analyses ont montré qu'on est en présence d'un sol favorable physiquement à la culture de l'arachide avec un pH eau de 6.2. Ces résultats confirment bien les différentes conclusions relatives des travaux réalisés par Thibout F., Traoré M.F. et al. (1978) sur l'utilisation des phosphates naturels de Tilemsi du Mali. La teneur en matière organique du sol de l'étude a été aussi faible avec 0,49% en moyenne sur l'ensemble des parcelles d'expérimentation, démontrant ainsi la pauvreté du sol en cet élément qui joue un rôle important dans la fixation du P. Deux mécanismes pourraient bien être responsables de cette pauvreté de sol, comme l'avaient si bien trouvé dans leur étude sur la synthèse des acides organiques, Guckert A., et al. (1975) et Tisdall *et al.* (1991) :

1- Certains ions organiques peuvent occuper la place des ions phosphates sur les sites de fixation de ceux-ci sur les particules de sol ; 2- les anions organiques complexes constituent avec l' Al^{3+} , F^{3+} et Ca^{2+} des chélates qui réduisent la précipitation des phosphates. Il faut dire aussi que la matière organique elle-même contient du phosphore. Près de 50% du phosphore total, teneur variant de 20 à 80%, sont liés sous forme de composés organiques. Le phosphore organique est essentiellement libéré sous forme d'ions orthophosphates lorsque la matière organique est décomposée par des microorganismes. Il est bien établi que l'activité biologique est déterminée par les facteurs écologiques comme la température, l'humidité, le pH, etc. Cette libéralisation d'origine microbiologique du phosphore n'est pas toujours synchronisée avec le besoin maximum des plantes. Les effets des différentes formulations agro-minérales à base de PNT, (combinées ou simples) utilisées ont influencé la formation des gousses, le nombre de gousses et le nombre de nodules obtenues par pot de végétation. Les analyses de variance ont montré un effet significatif

net de la combinaison fumure organique + PNT au niveau des trois modalités. Ainsi, il apparaît clairement que toutes les combinaisons à base de fumier présentaient un poids en gousses et un nombre de gousses par pot plus important comparativement aux autres combinaisons contenant des résidus de récolte ou du compost. Concernant les apports simples (résidus de récolte, fumier et compost), la bonne performance du fumier a été également confirmée. Les résidus de récolte et le compost ont donné un résultat presque similaire. La formulation contenant la dose de 200 kg/ha de PNT + 2,5 tonnes de fumier a donné le meilleur rendement confirmant ainsi les résultats de nombreux travaux réalisés au Mali et en Afrique de l'Ouest sur la fertilisation minérale de l'arachide permettent de fixer le niveau optimum de P_2O_5 à 30 kg/ha dont les trois quarts nécessairement sous forme solide. Ces deux formulations organo-minérales présentent un effet comparable à celui du super simple soluble commercial qui était initialement recommandé dans la culture de l'arachide aux autres niveaux d'incorporation de PNT utilisés (25, 50, 100 et 300 kg/ha).

Quant à l'efficacité agronomique relative des différentes formulations par rapport à la roche mère (PNT), elle a été calculée sur la base du rendement gousses et fanes. En production gousses, cette efficacité variait de 14% pour le compost simple à 228% respectivement pour les formulations de 2,5 t/ha de fumier + 200 kg/ha de PNT et 2,5 t/ha de compost + 100 kg/ha de PNT. L'analyse des données a montré que les formulations à base de matières organiques (fumier et compost) étaient plus efficaces. Que ce soit au niveau de la production gousses ou fanes, il a été observé clairement que les apports simples de fumier, de résidus et de compost étaient moins efficaces que leurs combinaisons avec le PNT. La combinaison des matières organiques (fumier, résidu de récolte, compost) et le PNT ont amélioré la disponibilité de P et augmenté ainsi le rendement gousses et fanes d'arachide.

V. Conclusion

L'essai en pots de végétation de l'action des matières organiques sur la solubilisation du PNT a été conduit à la Station de Recherche Agronomique de Samé/Kayes. Les résultats d'analyses de sol ont permis de montrer qu'on est en présence d'un sol favorable physiquement à la culture de l'arachide avec un taux moyen de 89% de sable, 7% de limon et 4% d'argile. Le pH du sol varie entre 5 et 7. La teneur du sol en Phosphore et matière organique est relativement faible avec 7 ppm et 0,33% respectivement. Dans le domaine de l'étude sur l'efficacité agronomique du PNT par l'action des matières organiques, les résultats obtenus montrent que le suivi de la dynamique du P assimilable présente des pics variables selon les combinaisons utilisées. L'effet mesuré de ces différents fertilisants sur les composantes du rendement de l'arachide ont permis de mettre en évidence la bonne performance de certaines formulations fertilisantes d'engrais. Du point de vue de la production gousses, deux formulations fertilisantes d'engrais se sont révélées très intéressantes. Il s'agit des combinaisons de: 2,5 tonnes de fumier + 200 kg de PNT avec un rendement moyen de 2345 kg/ha d'arachide gousses et de 2,5 tonnes de résidus de récolte + 100 kg de PNT en plein champ (2240 kg/ha d'arachide gousses). Le calcul de l'efficacité agronomique relative de ces formulations d'engrais en production de gousses comparativement au PNT simple varie de 14% pour le compost simple à 228% pour la formulation 2,5t/ha de fumier + 200 kg de PNT. Il a été aussi prouvé que l'efficacité agronomique relative était plus élevée chez les fertilisants combinés que chez des apports simples de matières organiques. On pourrait alors conclure que l'ajout des matières organiques favorise ou du moins contribue à la libération du P disponible ou assimilable par la culture.

VI. Références bibliographiques

- ANDRE GROS, 1974. Engrais. Guide pratique de la fertilisation. Maison Rustique. Paris. 6^e édition. P 111-123.
- BATIONO A., CHIEN S.H., MOKWUNYE A.U., 1987. Chemical characteristics and agronomic values of some phosphate rocks in West Africa. In: Food grain production in semi-arid Africa.
- BATIONO A., CHRISTIANSON B., MOKWUNYE A.U., 1987. Soil fertility management of the millet-producing sandy soils of sahelian West Africa: The Niger experience. Exposé présenté à l'atelier sur les systèmes de gestion des sols et des cultures pour l'agriculture pluviale dans la zone soudano-sahélienne. Institut International de recherche sur les cultures des zones Tropicales Semi-arides (ICRISAT), Niamey. Niger.
- BOLLAN N.S., WHITE R.E., and HEDLEY M.J., 1988. A review of phosphate. Rocks as fertilizer of direct application in Australia and New Zeland. Austr. J. Exp. Agric. 14: 98-121.
- BOLLAN N.S., WHITE R.E., and HEDLEY M.J., 1990. A review of phosphate. Rocks as fertilizer of direct application in Australia and New Zeland. Austr. J. Exp. Agric. 30: 297-313.
- CHAMINADE R., 1960. Expérimentation en petits vases de végétation. Types d'essais pour tester l'efficacité des engrais chimiques. Ann. Agron. 2; 121-131.
- CHIEN S. H., HAMMOND L.L., 1978. A simple chemical method for evaluating the agronomic potential of granulated phosphate rock. Soil Sci. Am. J. 42: 615-617.
- ENGLESTAD O.P., JUGSUJINDA, A. DE DATTA, SK., 1974. Response by flooded rice to phosphate rocks varying in citrate solubility. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38:524-529.
- GUICKERT A.; CHONE T. et JACQUIN F. (1975). Microflore et stabilité structurale des sols. Rev. Ecol. Biol. Sol 12. Page: 211-211.
- GUERRY H., McCLELLAN and RAY B (1969). Cristal Chimerical investigation of Natural Apatites. Am. Mineral. 54: 1374-1391.
- HAMMOND L.L., CHIEN S. H., MOKWUNYE A.U. (1986) Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks

indigenous to the tropics. *ADV. Agron.* 48:89-140.

JENNY F., 1973. Expérimentation agronomique sur les phosphates naturels du Tilemsi (Mali) en conditions de cultures sèche. *Agron. Trop.* pp. 1070-78.

KODIO O., 2009. Valorisation du phosphate naturel de Tilemsi (PNT) par le processus du biosuper et l'action des composés organiques d'origine végétale et animale. Thèse présentée à l'Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/ISFRA), Université de Bamako, Mali en vue de l'obtention du grade de docteur en science du sol.

SAMAKE F., 1987. Contribution à la valorisation du phosphate Naturel du Tilemsi (Mali) par l'action des acides minéraux et de composés

humiliés. Thèse présentée à l'Institut National Polytechnique de Lorraine en vue de l'obtention du grade de docteur ingénieur. France.

SCHULTZ J.J., 1986. Sulfuric acid-based partially acidulated phosphate rock. Its production cost and use. *Techn. Bul. T-31*. International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, AL, U.S.A.

THIBOUT F.; C.C. et PICHOT. J., 1978. L'utilisation des PNT au Mali. Synthèse des résultats de la recherche agronomique sur les cultures vivrières et oléagineuses. IER/DRA. P 2-15. Bamako, Mali. IRAT Montpellier (France).

TISDALL J. M., 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. *Aust., J. Soil Res.* 29. 729-743.

Étude sur la connaissance, l'utilisation des pesticides et les risques d'intoxication des maraîchers et maraîchères de quatre secteurs agricoles de la région de Ségou (Baroueli, Kouyan Coura, Sébougou et San)

Survey on the knowledge and use of pesticides and poisoning risks for vegetable producers in four agricultural sectors in the region of Ségou (Baroueli, Kouyan Coura, Sébougou and San)

Moussa N'Diaye¹, Racine Ly² et Daouda Dembélé³

¹Spécialiste en protection des végétaux, CRRA/Sotuba/IER

²Agronome, CRRA/Sotuba/IER

³Agronome, CRRA/Sotuba/IER

Résumé

Pour protéger les récoltes contre les ennemis et diminuer ainsi les pertes, l'usage des produits chimiques est devenu pratiquement obligatoire dans les secteurs de Baroueli, Kouyan Coura, Sébougou et San. Les pesticides les plus utilisés à cet effet sont surtout les insecticides, les herbicides et les fongicides. Cependant, si ces produits chimiques permettent d'obtenir des rendements intéressants, force est de constater que leur utilisation anarchique peut provoquer des intoxications qui peuvent avoir pour conséquence la détérioration de la santé des utilisateurs. Dans le souci d'évaluer le degré d'exposition des maraîchers de ces localités à l'effet des pesticides, une étude a été menée en 1993.

Les enquêtes au niveau des exploitations ont été menées avec la collaboration des agents de la Direction Régionale de l'Agriculture (DRA) à travers les secteurs de Baroueli, Sébougou, Kouyan Coura et San. Des fiches d'enquête contenant des questions ont permis de collecter des informations au niveau des exploitations. Il ressort de cette étude, que dans ces quatre localités les pesticides sont utilisés de manière anarchique, que les usagers s'en servent sans être bien informés des dangers encourus et sont confrontés à des conséquences très fâcheuses, ils s'intoxiquent, les résidus restent collés

aux végétaux et atteignent le consommateur, les poissons, les abeilles et autres périssent. L'eau potable est polluée et la végétation est endommagée. Tous les pesticides utilisés dans les quatre secteurs sont dangereux. Cette étude a également permis de constater que les pertes de production causées par les ravageurs, les mauvaises herbes et les maladies sur la production sont négligeables par plus de 50% des maraîchers à Baroueli et à Kouyan Coura. Cependant, dans ces mêmes zones, les pertes de moins de la moitié de la récolte sont reconnues par 38,5% à Baroueli et de 14,3% à Kouyan Coura. Il faut signaler aussi que dans ces mêmes localités, 7,7% à Baroueli et 3% des producteurs à Kouyan Coura mentionnent la perte de la moitié de la production suite aux attaques des ennemis des cultures. La perte de plus de la moitié de la production a été élucidée par 3% des producteurs à Baroueli et 14,3% des Producteurs à Kouyan Coura. Quant à l'origine des dégâts, les maraîchers des différents villages reconnaissent à 6,3% à Sébougou, 27,3% à Baroueli que certains dégâts sont occasionnés par les oiseaux. Les adventices sont reconnus par 7,1% des paysans à Kouyan Coura, 4,8% à San comme responsables de certaines pertes observées dans les parcelles. Les dégâts les plus importants dans les quatre zones sont provoqués par les insectes. Concernant les techniques de lutte adoptées, Il ressort que

dans les sites de Sébougou, Kouyan Coura et San, 100% des femmes utilisent les pesticides pour protéger leurs cultures. Cependant, à Baroueli, les pesticides ne sont utilisés que par 50% des femmes. Quant aux hommes, ces produits chimiques sont utilisés par 57,1% à Sébougou, 25,0% à Baroueli, 87,5% à Kouyan Coura et 77,8% à San. Dans l'ensemble, les pesticides sont utilisés en moyenne dans les quatre sites par 61,8% des hommes et 87,5% des femmes. Quant au ramassage manuel, il est beaucoup pratiqué par les hommes et les femmes à Baroueli avec respectivement 75,0% et 50%. Les insecticides utilisés dans la zone sont d'une manière générale des produits très toxiques. Les doses létales par ingestion pour 50% de rats (DL50) sont les suivantes : 50 mg/kg pour l'endosulfan, 250 à 500 mg/kg pour le Fenitrothion, 130 mg/kg pour la Deltaméthrine, substance interdite d'emploi pour l'Endrine, 320 à 380 mg/kg pour le Diméthoate. La faiblesse des DL50 pour tous les insecticides utilisés dénote la forte toxicité de ces produits. Deux types d'herbicides sont couramment utilisés dans les quatre secteurs. Il s'agit du glyphosate et de l'oxadiazon dans des proportions limitées. Quant aux fongicides, cinq types sont constatés dans les secteurs. Il s'agit notamment du Bénomyl, du manèbe, de l'Iprodione et du Phosétyl d'Al. Ces produits ont une toxicité limitée et ne constituent pas un danger pour les utilisateurs.

Quant au niveau d'instruction, il faut signaler que le nombre de maraîchers et de maraîchères ayant reçu les divers types de formation varie d'une localité à l'autre. C'est ainsi que dans l'ensemble, 25,15% des hommes et 45,55% des femmes n'ont reçu aucune formation. Le taux le plus élevé d'analphabètes est enregistré chez les hommes à Baroueli avec 36,4% et chez les femmes à Sébougou avec 77,8%. Ces taux sont suivis par ceux de Kouyan Coura avec 27,3% pour les hommes et 60% pour les femmes. Par ailleurs, les taux les plus bas pour les maraîchers qui n'ont reçu aucune formation sont notés à San avec 14,7% pour les hommes et à Baroueli avec 11,1% pour les femmes.

Au non respect des précautions d'emploi des pesticides dans les quatre sites avec un taux de

non adoption de 0% pour le port des gants, des vêtements, des bottes et des masques, s'ajoute l'utilisation anarchique de ces produits pendant plusieurs années. On peut donc constater que ces producteurs sont exposés à une intoxication chronique par les pesticides.

Mots clés : Intoxication aigue; intoxication chronique ; Cholinestérase ; Carbamate ; Organochloré; Organophosphoré; Pyréthroïdes synthétiques.

Abstract

The use of chemicals has become almost compulsory for protecting farmers' crops against pest and thus reducing losses in the sectors of Baroueli, Kouyan Coura, Sébougou and San. The most frequently used pesticides in this regard are insecticides, herbicides and fungicides. However, while these chemicals ensure good yields, we must recognize that their uncontrolled use can cause poisoning, negatively affecting the user's health. A survey was conducted in 1993 in order to assess the degree of exposure to pesticides of vegetable producers in the aforementioned localities.

Farm level surveys were conducted across the sectors of Baroueli, Sébougou, Kouyan Coura and San, in collaboration with officials from the Regional Directorate for Agriculture (DRA – *Direction Régionale de l'Agriculture*). A questionnaire was used to collect information on-farm. The survey showed that in these four localities, pesticides were used in an uncontrolled way, that farmers who used them were not aware of the hazards related to them and that they faced very serious drawbacks such as poisoning themselves directly or through pesticide residues fixed on plants that eventually reached consumers. It also revealed losses among populations of fish, bees, etc. Drinking water was polluted and the vegetation damaged. All the pesticides used in the four sectors are harmful. Another finding of the survey was that crop losses due to pest, weed and diseases were insignificant for 50% of vegetable producers in Baroueli and Kouyan Coura. On the other hand, in the same areas, losses amounting to less than half

of the production were reported by 38.5% of producers in Baroueli and 14.3% of them in Kouyan Coura. It is worth noting that, in these same localities, 7.7% of producers in Baroueli and 3% in Kouyan Coura reported the loss of half of their production due to pests. The loss of more than half of the production was elucidated by 3% of producers in Baroueli and 14.3% of them in Kouyan Coura. As far as the cause of the losses is concerned, vegetable producers from different villages – 6.3% in Sébougou and 27.3% in Baroueli – attributed the damage partly to birds. Weeds were identified by 7.1% of farmers in Kouyan Coura and 4.8% of them in San as the cause of some of the losses noted on the plots. In the four areas, damages were mostly caused by insects. As regards the control methods used, the survey showed that on the sites in Sébougou, Kouyan Coura and San, 100% of women used pesticides to protect their crops. However, in Baroueli, only 50% of women used such chemicals. As for men, 57.1% of them used these chemicals in Sébougou, 25.0% in Baroueli, 87.5% in Kouyan Coura and 77.8% in San. On average, in the four sites, pesticides were used by 61.8% of men and 87.5% of women. Manual pick-up was much used by men and women in Baroueli, i.e. 75.0% and 50% respectively. Overall, the insecticides used in the area are very poisonous. Lethal doses per intake for 50% of rats (LD50) amounted to: 50 mg/kg for Endosulfan, 250-500 mg/kg for Fenitrothion, 130 mg/kg for Deltamethrin – a banned Endrin class substance, and 320-380 mg/kg for Dimethoate. The weakness of LD50s for all the insecticides used reflects the high toxicity of these products. The following two types of herbicides were usually used in the four sectors: Glyphosate and Oxadiazon, in limited proportions. As far as fungicides are concerned, five types were found in the sectors. These include Benomyl, Maneb, Iprodione and *Phosetyl d'Al* (Phosetyl of aluminium). These products are of low toxicity and they are not harmful for the user.

As for the level of instruction, it should be noted that the number of vegetable producers (men and women) having participated in various types of training varies across localities. Overall, 25.15% of men and 45.55%

of women had not participated in any training. The highest illiteracy rate was found among men in Baroueli (36.4%) and among women in Sébougou (77.8%). These rates were followed by those of Kouyan Coura, with 27.3% for men and 60% for women, respectively. On the other hand, the lowest rates among the producers with no training record were found in San, with 14.7% for men and in Baroueli, with 11.1% for women.

Disrespect for caution measures before the use of pesticides in the four sites, with a compliance rate of 0% for protective gloves, clothing, boots and mask wearing, is compounded by the uncontrolled use of these products for many years. In conclusion, these producers are at risk of chronic pesticide poisoning.

Keywords: Acute poisoning, chronic poisoning, Cholinesterase, Carbamate, Organochlorine, Organophosphorous, Synthetic Pyrethroids.

I. Introduction

La baisse de la pluviométrie dans la région de Ségou et particulièrement dans les zones agricoles de Sébougou, Baroueli, Kouyan Coura et San a provoqué une chute de la production des cultures céréalières sèches (mil, sorgho, riz pluvial et maïs). La nécessité de diversifier la production dans ces zones est devenue incontournable. Seules les productions maraîchères permettent de diminuer la pression sur les céréales, d'où la nécessité de suivre les techniques de production de ces cultures dans ces zones. Pour protéger les récoltes contre les ennemies et diminuer ainsi les pertes, l'usage des produits chimiques est devenu pratiquement obligatoire dans ces secteurs. Les pesticides les plus utilisés à cet effet sont surtout les insecticides, les herbicides et les fongicides. Cependant, si ces produits chimiques permettent d'obtenir des rendements intéressants, force est de constater que l'intensification de la production maraîchère dans les quatre secteurs de l'étude a entraîné une aggravation des problèmes de nuisibles. On constate actuellement dans ces localités, qu'en dehors de quelques alternatives de lutte utilisées pour la maîtrise

des ravageurs, des maladies, et des mauvaises herbes des plantes cultivées, le seul moyen de lutte disponible contre les ennemis des ces cultures est l'utilisation des pesticides. Or non seulement les exploitants connaissent mal les produits qu'il convient d'utiliser, mais ils ignorent, quand et comment le faire. Par ailleurs, ils ne disposent pas de matériel adéquat d'application, ils n'effectuent pas les dosages corrects et ne respectent pas les périodes d'attente avant récoltes (N'Diaye M., Diallo F., 1999). Parmi les conséquences graves de l'utilisation incontrôlée des pesticides et plus particulièrement des insecticides, on peut citer les accidents d'empoisonnement de la main d'œuvre dus à la mauvaise manipulation des produits. Les intoxications aiguës qui se manifestent par un empoisonnement à partir d'une seule exposition à une forte dose de pesticide et avec ses conséquences directes. Toutes ces intoxications peuvent provoquer la mort de la victime. Concernant les risques pour l'environnement, il faut signaler que dans ces secteurs, pendant l'arrosage, une grande quantité de pesticide n'atteint pas les végétaux, mais tombe dans les eaux de ruissellement. Les abeilles, par exemple courent le grand danger d'extermination. Il faut également noter la pollution des eaux. Les pesticides peuvent se retrouver dans l'eau, surtout dans les eaux de surface comme les ruisseaux, les mares et les puits. Cela arrive quand on arrose régulièrement un même végétal et que la pluie survient aussitôt. L'eau de pluie entraîne alors une partie du produit vers les ruisseaux ou les mares. Toutefois, cela ne représente pas forcément un danger direct pour les gens car le produit est alors fortement dilué. Mais, si l'eau s'écoule doucement ou stagne comme dans les mares et les puits, elle se pollue rapidement. En buvant de cette eau, les gens absorbent le pesticide ((Wilma Arendse *et al.*, 1989). Les poissons, qui sont d'importantes ressources alimentaires, sont beaucoup plus sensibles que l'homme aux pesticides. Une très légère pollution de l'eau suffit pour les tuer. L'utilisation abusive des pesticides de synthèse provoque aussi des résistances aux produits chez les insectes nuisibles (Wilma Arendse *et al.*, 1989). C'est compte tenu de tous ces facteurs nuisibles pour l'homme, les

animaux et l'environnement, qu'une étude a été menée dans la région de Ségou en vue de collecter des informations sur le niveau de connaissance, le taux d'adoption des pesticides par les producteurs, les risques liés à l'utilisation de ces produits chimiques par les maraîchers, dans les secteurs de Baroueli, Sébougou, Kouyan Coura et San. Cette étude permettra de donner aux décideurs des informations utiles les rendant capables de prendre les dispositions afin de préserver la santé des maraîchers et la protection de l'environnement.

II. Matériel et méthode

Les enquêtes, au niveau des exploitations, ont été menées en 2003 avec la collaboration des agents de la Direction Régionale de l'Agriculture (DRA) à travers les secteurs de Baroueli, Sébougou, Kouyan Coura et San.

Des fiches d'enquête contenant des questions ont permis de collecter des informations au niveau des exploitations. Ainsi, un échantillon de 56 exploitants à Baroueli, 63 à Sébougou, 54 à Kouyan Coura et 72 à San a été enquêté. Des questions ont été posées à chaque exploitant et les réponses enregistrées sur une fiche individuelle dans laquelle sont mentionnés le nom et le prénom de l'exploitant. Ces questions portaient sur les points suivants : les espèces cultivées, le taux des pertes de récolte, l'origine des dégâts, les méthodes de lutte utilisées, le degré de connaissance des pesticides, le niveau de la formation, les différentes techniques de lutte utilisées contre les ravageurs, les maladies et les mauvaises herbes, le matériel de traitement utilisé, la connaissance des herbicides et le taux d'utilisation de chaque produit, l'application de certaines techniques culturales pour la protection préventive des cultures, la connaissance des ennemis que l'on rencontre dans les parcelles. Après les entretiens, les visites de champs ont été effectuées pour identifier les contraintes sur le terrain. Après les enquêtes, le dépouillement et l'analyse des résultats, il nous été possible de connaître les pesticides utilisés dans les quatre secteurs et de déterminer le pourcentage d'adoption des différentes pratiques.

III. Résultats obtenus

Les résultats obtenus au cours des différentes enquêtes menées dans les secteurs de Baroueli, Sébougou, Kouyan Coura et San ont porté sur les points suivants :

3.1. Inventaire des espèces cultivées

Les espèces cultivées dans ces quatre zones de maraîchage sont : la carotte, la laitue, les choux, l'échalote, l'oignon, la tomate, la betterave, le piment, l'aubergine, le persil, le haricot vert et le poivron. Ces espèces sont produites soit en culture pure soit en association. C'est ainsi qu'on peut voir dans les champs, des associations de cultures telles que : le chou et la laitue, la carotte et la betterave. En bordure des planches, on trouve souvent des plants d'aubergine, de haricot vert, ou de poivron. Certaines espèces sont cultivées plusieurs fois dans l'année en procédant à un échelonnement des semis ou à un repiquage.

3.2. Évaluation des pertes de récolte

Les enquêtes effectuées dans les 4 zones concernant les pertes de récoltes ont données des résultats qui sont consignés dans le tableau I.

Analyse du tableau I

Les pertes de production causées par les ravageurs, les mauvaises herbes et les maladies sur la production sont négligeables par plus de 50% des maraîchers à Baroueli et à Kouyan Coura. Cependant, dans ces mêmes zones, les pertes de moins de la moitié de la récolte sont reconnues par 38,5% à Baroueli et de 14,3% à Kouyan Coura. Il faut signaler aussi que dans ces mêmes localités, 7,7% à Baroueli et 3% des producteurs à Kouyan Coura mentionnent la perte de la moitié de la production suite aux attaques des ennemies des cultures. La perte de plus de la moitié de la production a été élucidée par 3% des producteurs à Baroueli et 14,3% des producteurs à Kouyan Coura. On ne note aucune perte de la totalité de la production dans ces deux zones. Quant aux deux autres localités, les pertes de production sont considérées comme négligeables par 33,3% des producteurs à Sébougou et de 38,1% à San. Ces mêmes producteurs ne reconnaissent aucune perte totale de la production suite aux attaques des ravageurs, maladies et mauvaises herbes. Cependant, la perte de moins de la moitié de la production est signalée par 26,7% des producteurs à Sébougou et de 38,1% des producteurs à San. Il faut également noter que dans ces deux localités, 26,1% des paysans

Tableau I. Pourcentage de producteurs ayant évalué les pertes de récoltes (en%)

Villages	Négligeable	Moins de la moitié de la production	La moitié de la production	Plus de la moitié de la production	La totalité de la production	% Total
Sébougou	33,3%	26,7%	26,1%	13,3%	0%	100%
Baroueli	53,8%	38,5%	7,7%	3%	0%	100%
Kouyan Coura	57,1%	14,3%	14,3%	14,3%	0%	100%
San	38,1%	38,1%	19,0%	4,8%	0%	100%
% moyen	45,5%	29,4%	16,7%	8,8%	0%	100%

reconnaissent la perte de la moitié de la production et 13,3% de plus de la moitié de la production à Sébougou. A San c'est 19% des exploitants qui reconnaissent la perte de la moitié de la production contre 4,8% pour plus de la moitié de la production. Sur l'ensemble des exploitations, en moyenne 45,5% des exploitations pensent que les pertes causées par les maladies et ravageurs sont négligeables, 29,4% de producteurs trouvent que moins de la moitié de la production est détruite par les ennemis des cultures, contre 16,7% pour plus de la moitié de la production. Dans l'ensemble aucune perte totale de la production n'est enregistrée dans les quatre sites de maraîchage.

Discussion du tableau I

En moyenne, 45,5% des producteurs pensent que les pertes occasionnées par les ravageurs les maladies et les mauvaises herbes sont négligeables. Il est à noter également que les pertes de plus de la moitié de la production enregistrent un taux très faible (8,8%). D'une manière générale, les espèces cultivées dans les parcelles proviennent des semences importées. Ces plants, le plus souvent issus d'une hybridation évoluent dans une écologie différente de leur écologie d'origine. Ils sont également cultivés plusieurs années de suite sur les mêmes parcelles, ce qui les rend plus sensibles à la pression parasitaire. Si une

proportion assez importante de producteurs pense que les dégâts sont négligeables, cela provient du fait que ces cultures sont protégées. Cette protection est liée à l'utilisation des pesticides que les paysans utilisent beaucoup pour éviter à la plante cultivée les dégâts causés par les ennemis. Dans ces conditions, l'utilisation des pesticides conditionne l'octroi d'une bonne production dans ces localités.

3.3. Origine des dégâts

Les enquêtes menées sur l'origine des dégâts montrent que les pertes de production sont généralement provoquées par les oiseaux, les adventices, les insectes, les maladies et d'autres facteurs peu importants comme les mauvaises pratiques culturales. Le pourcentage de producteurs ayant connu ces dégâts figure dans le tableau II.

Analyse du tableau II

Les maraîchers des différents villages reconnaissent à 6,3% à Sébougou, 27,3% à Baroueli que certains dégâts sont occasionnés par les oiseaux. Les adventices sont reconnus par 7,1% des paysans à Kouyan Coura, 4,8% à San comme responsables de certaines pertes observées dans les parcelles. Les dégâts les plus importants dans les quatre zones sont provoqués par les insectes. C'est ainsi qu'un nombre assez important de producteurs,

Tableau II. Pourcentage de producteurs ayant signalé les causes des pertes occasionnées sur les cultures. (%).

Villages	Oiseaux	Adventices	Insectes	Maladies	Autres	% Total
Sébougou	6,3%	0,0%	81,3%	0,0%	12,5%	100%
Baroueli	27,3%	0,0%	54,5%	9,1%	9,1%	100%
Kouyan Coura	0,0%	7,1%	78,6%	7,1%	7,1%	100%
San	0,0%	4,8%	90,5%	4,8%	0,0%	100%
% moyen	8,4%	2,9%	76,2%	5,2%	7,1%	100%

81,3% à Sébougou, 54,5% à Baroueli, 78,6% à Kouyan Coura et 90,0% à San signalent que les insectes sont responsables de la plus grande partie des pertes dans les parcelles. Quant aux maladies, elles sont signalées par 9,1% des producteurs à Baroueli, 7,1% à Kouyan Coura, 4,8% à San comme responsables de certaines pertes. Aucun cas de pertes provoquées par les maladies n'a été signalé à Sébougou. D'autres facteurs de baisse de rendements moins importants ont été également signalés par 12,5% des producteurs à Sébougou, 9,1% à Baroueli, 7,1% à Kouyan Coura. Cependant aucun dégât causé par des facteurs différents de ceux qui ont été signalés précédemment n'a été signalé à San.

Discussion du tableau II

Dans toutes les localités, les dégâts les plus importants sur les cultures sont occasionnés par les insectes. Cette observation est reconnue en moyenne par 76,2% des producteurs. Les insectes, d'une manière générale sont affiliés aux cultures, C'est à partir de ces cultures qu'ils trouvent leur nourriture donc il n'est pas étonnant qu'une production subisse la pression parasitaire dont la maîtrise dépend des techniques de protection que le producteur utilise pour sauver sa récolte. Dans l'ensemble, toutes les parcelles de maraîchage

subissent à des degrés divers les attaques des insectes quelque soit le lieu de la production. (N'Diaye. M., Diallo. F. 1999). Les dégâts des insectes sont suivis par ceux des oiseaux signalés par 6,3% des producteurs à Sébougou et 27,3% à Baroueli. Les dégâts provoqués par les oiseaux ne se rencontrent que dans ces deux localités. Ce phénomène est lié au fait que ces parcelles renferment des papayers et d'autres arbres fruitiers dont les fruits sont attaqués par les oiseaux. Cependant leur dégât n'affecte pas du tout les cultures maraîchères. Aussi, faut-il signaler que la présence de ces arbres crée un microclimat favorable à la prolifération de ces oiseaux surtout en période sèche. Quant au facteur mauvaises herbes, Il est reconnu comme problème de production en moyenne par 2,9% des producteurs dans les quatre localités. Il faut signaler que ce fléau ne constitue par un problème majeur puisque les maraîchers de ces zones utilisent comme parcelles de petites surfaces dont la maîtrise des mauvaises herbes se fait facilement par le désherbage manuel. Quant aux autres facteurs, maladies et mauvaises pratiques culturales ils ne constituent pas un problème majeur pour les maraîchers de l'ensemble des quatre localités. Cependant à San, les producteurs ne connaissent pas d'autres facteurs responsables des dégâts que les insectes, les maladies et les mauvaises herbes.



Quelques membres de l'association des maraîchers et maraîchères de Baroueli

3.4. Méthodes de lutte pratiquées contre les ennemis des cultures

Les enquêtes sur les différentes méthodes de lutte ont révélé que différentes pratiques sont appliquées sur les parcelles pour maîtriser les dégâts dans les quatre sites. Le tableau III donne les proportions par sexe suivant les pratiques.

Analyse du tableau III

L'analyse du tableau N°3 montre que dans les sites de Sébougou, Kouyan Coura et San, 100% des femmes utilisent les pesticides pour protéger leurs cultures. Cependant, à Baroueli, les pesticides ne sont utilisés que par 50% des femmes. Quant aux hommes, ces produits chimiques sont utilisés par 57,1% à Sébougou, 25,0% à Baroueli, 87,5% à Kouyan Coura et 77,8% à San. Dans l'ensemble, les pesticides sont utilisés en moyenne dans les quatre sites par 61,8% des hommes et 87,5% des femmes. Quant au ramassage manuel, il est beaucoup pratiqué par les hommes et les femmes à Baroueli avec respectivement 75,0% et 50%. Dans les autres sites, cette pratique est très peu utilisée c'est ainsi que 14,3% des personnes interrogées appliquent cette technique : le taux est de 5,6 pour les hommes à San. La technique n'est pas du tout utilisée par les hommes à Kouyan Coura, non plus par les

femmes à Sébougou, Kouyan Coura et San. La lutte avec les produits biologiques issus des plantes est pratiquée à 28,6% par les hommes à Sébougou, 12,5% à Kouyan Coura et 16,2% à San. Cette technique n'est pas du tout utilisée par les hommes à Baroueli. Par ailleurs, dans aucun site, il n'a été noté l'application de cette technique par les femmes.

Discussion du tableau III

La lutte chimique est pratiquée à 61,8% par les hommes et 87,5% par les femmes dans les quatre sites de l'étude. Cette observation montre que la plupart des cultures sont protégées par l'utilisation des produits chimiques. A côté de cette pratique, on note le ramassage des insectes, effectué par 23,7% des hommes et 12,5% par les femmes. Cette technique est généralement appliquée lorsque les insectes ravageurs ne sont pas nombreux. Au lieu de chercher à utiliser les produits chimiques, les maraîchers ramassent les insectes et les éliminent. Le cas le plus fréquent est enregistré avec les chenilles défoliatrices. Cette pratique a été signalée comme peu efficace dans la maîtrise des ravageurs et maladies. Elle est cependant appliquée faute de moyens financiers pour acquérir les produits chimiques. Quant à la lutte avec des extraits de plantes insecticides, elle est appliquée en moyenne

Tableau III. Méthodes de lutte utilisées par les maraîchers et maraîchères dans les quatre sites de l'étude (%).

Sexe	Villages	Ramassage	Chimique	Biologique	% Total
Masculin	Sébougou	14,3%	57,1%	28,6%	100%
	Baroueli	75,0%	25,0%	0,0%	100%
	Kouyan Coura	0,0%	87,5%	12,5%	100%
	San	5,6%	77,8%	16,2%	100%
	% moyen	23,7%	61,8%	14,3%	100%
Féminin	Sébougou	0,0%	100%	0,0%	100%
	Baroueli	50%	50%	0,0%	100%
	Kouyan Coura	0,0%	100%	0,0%	100%
	San	0,0%	100%	0,0%	100%
	% moyen	12,5%	87,5%	0,0%	100%

par 14,3% des producteurs. Les utilisateurs de cette technique connaissent peu ces produits et ne les utilisent que parce qu'ils n'ont pas d'autres solutions pour sauver les cultures. En général, ces paysans sont confrontés à des problèmes financiers.

3.5. Les Insecticides utilisés

Les tableaux IV et V font ressortir la liste des pesticides utilisés, suivant leur toxicité et le taux d'adoption par type de ces produits dans les localités de San, Kouyan Coura, Baroueli et Sébougou.

Analyse du tableau IV

Il ressort du tableau IV que les insecticides utilisés dans la zone sont d'une manière générale, des produits toxiques. Les doses létales par ingestion pour 50% de rats (DL50) sont les suivantes : 50 mg/kg pour l'endosulfan, 250 à 500 mg/kg pour le Fenitrothion, 130 mg/kg pour la Deltaméthrine, substance interdite d'emploi pour l'endrine, 320 à 380 mg/kg pour le Diméthoate. La faiblesse des DL50 pour tous les insecticides utilisés dénote la forte toxicité de ces produits. D'une manière générale tous ces produits sont

toxiques pour les abeilles, les poissons et les gibiers. Ces insecticides doivent être utilisés en respectant les précautions d'emploi, et les recommandations de la notice d'utilisation.

Analyse du tableau V

L'utilisation d'un insecticide de formulation poudreuse et de couleur blanche (tableau V) est reconnue par 10% des maraîchers à Sébougou, et 25% à Baroueli. Les producteurs des deux autres localités ignorent ce produit. Quant à l'endrine, il est l'insecticide le plus utilisé avec 80% à Sébougou et 68,4% à San des producteurs qui reconnaissent son utilisation dans les parcelles. Les paysans des deux autres localités (Baroueli et Kouyan Coura) ne l'utilisent pas. Le Fenitrothion est utilisé seulement à Sébougou par 10% des maraîchers. Le Diméthoate qui est retrouvé à Kouyan Coura et à San. Il est utilisé respectivement par 11,1% et 31,6% des personnes enquêtées dans les deux sites. Le Décis est l'insecticide le plus utilisé à Baroueli avec 50% de personnes interrogées qui l'utilisent dans les champs et de 88,9% à Kouyan Coura. L'endosulfan est utilisé seulement à Baroueli par 25% des maraîchers. Ce produit est absent des autres marchés des sites de l'enquête.

Tableau IV. Toxicité des insecticides utilisés dans la zone de l'étude (DL50)

Insecticides utilisés	Nom commercial	Toxicité
Endosulfan	Thio dan 35 CE	Très Dangereux, deux fois plus toxique en solution huileuse qu'en solution aqueuse. DL50 pour le rat par ingestion 50 mg/kg. La DJA est de 0,008 mg/kg. Non dangereux pour les abeilles et très dangereux pour les poissons et les gibiers.
Fenitrothion	Palithion CE	Modérément dangereux DL50 pour le rat par ingestion 250 à 500 mg/kg, DJA : 0,001 mg/kg. Dangereux pour certains arthropodes auxiliaires, les poissons et les abeilles.
Deltaméthrine	Décis	Modérément dangereux DL50 pour le rat par ingestion : 130 mg/kg DJA : 0,001 mg/kg. Dangereux pour les poissons.
Endrine	Endrine	Substance interdite d'emploi en Agriculture (Arrêté du 2 octobre 1972).
Diméthoate	Rogor 50	Modérément dangereux DL50 pour le rat par ingestion : 320 à 380 mg/kg. DJA : 0,02 mg/kg. Dangereux pour les poissons, le gibier, les poissons et les abeilles.

Tableau V. Pourcentage de maraîchers utilisant les différents types d'insecticides dans les quatre sites de l'étude.

Sites	Poudre blanche	Endrine	Fenitrothion	Diméthoate	Decis	Endosulfan
Sébougou	10,0%	80%	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Baroueli	25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	25,0%
Kouyan Coura	0,0%	0,0%	0,0%	11,1%	88,9%	0,0%
San	0,0%	68,4%	0,0%	31,6%	0,0%	0,0%
% moyen	8,7%	37,1%	2,5%	10,5%	34,7%	6,2%

Discussion du tableau V

L'utilisation d'un insecticide de formulation poudreuse et de couleur blanche reconnue par 10% des maraîchers à Sébougou, et 25% à Baroueli (tableau V) montre que des substances toxiques sans notice sont vendues librement. On n'a pas toujours le choix entre différents produits : on se sert toujours du produit disponible parce qu'il est moins cher et qu'il est fourni par des trafiquants qui on peu d'informations sur ces produits et qui contournent les postes de contrôle douanier. Malgré la loi et les règlements, ces produits sont souvent vendus sans étiquette ou avec une étiquette disant peu de chose sur les substances actives, rien sur les premiers soins en cas d'intoxication et rien sur la durée d'activité du produit. Quand l'étiquette donne des informations, elles sont souvent incompréhensibles ou écrites en langue étrangère. L'Endrine est un produit chimique appartenant au groupe des organochlorés. Cet insecticide est prohibé depuis longtemps à cause de sa persistance (Arrêté du 2 octobre 1972). Les pesticides persistants ne se transforment que très lentement en substances moins dangereuses. Ainsi les substances qui se dégradent difficilement, s'accumulent dans le sol pour se retrouver dans la viande, le poisson ou le lait et en fin de compte toucher l'homme. Ces insecticides obsolètes échappent à tous contrôles phytosanitaires et se retrouvent sur les marchés par des voies détournées. Ils se vendent moins chère ce qui explique leur utilisation à grande échelle avec 80% à Sébougou et 68,4% à

San. Il est toujours préférable d'utiliser des pesticides mieux dégradables. Les deux autres localités ne connaissent pas ce produit. Le Fenitrothion est un insecticide du groupe des organophosphorés. Il est vendu avec une notice donnant toutes les informations utiles. Seulement 10% des producteurs reconnaissent son utilisation à Sébougou. Le faible taux d'utilisation de ce produit est lié au fait qu'il coûte chère et qu'il n'est toujours pas à la portée des producteurs. L'endosulfan appartient au groupe des organochlorés. Cet insecticide est facilement accessible dans les zones cotonnières puisqu'il est fourni par la CMDT aux producteurs de coton. Son utilisation est reconnue à Baroueli par 25% des producteurs, Son usage n'est pas recommandé en maraîchage. Quant au Décis, insecticide appartenant au groupe chimique des Pyréthroides synthétiques, il a été le produit chimique le plus recommandé par l'encadrement technique pour combattre les ravageurs des cultures maraîchères. Il présente peu de dangers d'intoxication aiguë. L'absorption d'une dose très forte peut provoquer certains effets sur le système nerveux, par exemple les convulsions. Sa rémanence est faible et le produit se dégrade facilement après son utilisation. Il était l'un des produits chimiques le plus disponible sur les marchés au Mali, c'est pourquoi son utilisation est reconnue par 50% des personnes interrogées à Baroueli et 88,9% à Kouyan Coura. Le Diméthoate est un insecticide très peu utilisé en maraîchage. Il est reconnu par 11,1% à Kouyan Coura et 31,6% à San.

3.6. Les herbicides utilisés

Deux types d'herbicides ont été rencontrés au cours de l'enquête. Les résultats obtenus concernant la toxicité des ces produits figurent dans le tableau VI.

Le glyphosate (Roundup)

C'est un herbicide total de post-levée à large champ d'activité, non sélectif pour les plantes, non rémanent dans le sol et agissant uniquement par contact et action systémique (transport du produit par la sève jusqu'aux racines). Il détruit la plupart des mauvaises herbes vivaces (*Imperata*, *Cyperus*, *Cynodon*, *Kyllinga*, *Paspalum*, *Setaires*, etc.) et toutes les graminées et dicotylédones annuelles présentes sur les parcelles au moment du traitement, mais elle est sans effet sur les levées ultérieures (Amphoux M. *et al.*, 1969).

L'oxadiazon (Ronstar 25)

L'oxadiazon est un herbicide qui exerce son activité en pré et en post-levée des mauvaises herbes. Cette action est d'autant plus brutale et complète que les plantes sont jeunes et en voie de croissance.

En prélevée, l'intoxication des plantes s'opère au moment de la germination, par contact avec les particules du sol (Delahousse B. *et al.*, 1973).

En post-levée, lorsque les adventices sont jeunes et en état de croissance très active, le produit se diffuse rapidement dans leur pousse terminale, assurant ainsi leur totale destruction. En revanche, lorsque les plantes sont âgées et en période de végétation ralentie, la diffusion

de l'herbicide est plus localisée et la destruction peut n'être que partielle (Chauvet Y. et Fourrel M., 1973). Le tableau VII fait ressortir le pourcentage des maraîchers qui connaissent et qui utilisent ces herbicides dans les quatre localités de l'enquête.

Analyse du tableau VII

Ces produits de désherbage des cultures bien que connus par la plupart des producteurs ne sont pas utilisés dans les localités de Sébougou, de Baroueli, de Kouyan Coura et de San. Cependant 3,1% des hommes et 2,8% des femmes à Kouyan Coura, ainsi que 3,3% des femmes à San les utilisent de manière isolée.

Discussion du tableau VII

Dans une agriculture traditionnelle, le désherbage manuel absorbe couramment de 20 à 50% du travail total, de la préparation du terrain à la récolte. L'introduction des herbicides dans la pratique agricole a donc permis des gains de temps considérables : en ce qui concerne le travail de désherbage, l'abandon de l'intervention manuelle au profit du pulvérisateur a réduit le travail de 20 à 25%. Mais l'utilisation des herbicides exige un certain niveau de connaissance parce qu'il faut pouvoir faire la différence entre les herbicides de pré-levées, et ceux de post-levées des adventices, mesurer correctement les doses, connaître les moments, d'application, savoir si le pesticide est systémique ou total et connaître son spectre d'action. C'est compte tenu de toutes ces contraintes que les herbicides sont connus par la plupart de maraîchers mais ne sont utilisés en moyenne que par 1,4% des hommes et 2,3% des femmes.

Tableau VI. Types d'herbicides utilisés dans les secteurs de l'étude.

Herbicides utilisés	Nom commercial	Toxicité
Le glyphosate	Round up	Peu dangereux. DL50 pour le rat par ingestion : 4900 mg/kg. Ce produit est moyennement irritant pour la peau.
L'oxadiazon	Ronstar 25	Peu dangereux. DL50 pour le rat par ingestion : > 8000 mg/kg

Tableau VII. Pourcentage de maraîchers qui connaissent et qui utilisent ces herbicides dans les 4 localités. (%)

Sexe	Localités	Non connu	Connu non utilisé	Connu et utilisé
Masculin	Sébougou	30,0%	70,0%	0,0%
	Baroueli	36,4%	63,6%	0,0%
	Kouyan Coura	8,0%	88,9%	3,1%
	San	12,2%	85,0%	2,8%
	% Total	21,6%	76,8%	1,4%
Féminin	Sébougou	11,1%	88,9%	0,0%
	Baroueli	12,5%	87,5%	0,0%
	Kouyan Coura	23,7%	73,4%	3,3%
	San	10,6%	83,4%	6,0%
	% Total	14,4%	83,2%	2,3%

3.7. Les fongicides utilisés

Cinq molécules de fongicide servant à lutter contre les maladies (tableau VIII) ont été identifiées dans les quatre localités de l'étude. Il s'agit : du manèbe (Prodanate), du Mancozèbe (Dithane M45), de l'Iprodione (Rovral), du bénomyl (Benlate) et du Phosétyl d'Al (Aliette). Ces pesticides sont peu dangereux pour les hommes, les animaux. Cependant ils sont souvent toxiques pour les poissons. Le tableau VIII fait ressortir la toxicité des

différents types de fongicides utilisés dans les quatre secteurs.

Analyse du tableau VIII

L'observation du tableau VIII montre que les fongicides utilisés dans la zone ne sont pas des produits hautement toxiques. Les doses létales par ingestion pour 50% des rats sont assez élevées : 8500 mg/kg pour le Mancozèbe, 6500 mg/kg pour Manèbe, 3500 mg/kg pour l'Iprodione, 10.000 mg/kg pour le Bénomyl

Tableau VIII. Toxicité des fongicides utilisés dans la zone de l'étude (DL50)

Fongicides utilisés	Nom commercial	Toxicité du fongicide
Mancozèbe	Dithane M45	Peu dangereux, DL50 pour le rat par ingestion : 8500 mg/kg Dose journalière admissible (DJA) : 0,005 mg/kg. Dangereux pour les poissons.
Manèbe	Prodanate 80	Peu dangereux, DL50 pour le rat par ingestion : 6750 mg/kg. Dose journalière admissible (DJA) : 0,05 mg/kg. Dangereux pour les poissons.
Iprodione	Rovral	Peu dangereux. DL50 pour le rat par ingestion : 3500 mg/kg. Dose journalière admissible (DJA) : 3 mg/kg
Bénomyl	Benlate	Peu dangereux. DL50 pour le rat par ingestion : > 10.000 mg/kg.
Phosétyl d'Al	Aliette	Peu dangereux. DL50 pour le rat par ingestion : 8500 mg/kg. Dose journalière admissible (DJA) : 0,005 mg/kg. Dangereux pour les poissons.

et 8500 mg/kg pour le Phosétyl d'Al. Pour l'application de ces fongicides foliaires, il n'est pas nécessaire d'avoir recours à un équipement particulier pour traiter les plantes, on peut utiliser le même matériel que pour les herbicides ou les insecticides. Afin d'obtenir la meilleure répartition possible des gouttelettes, il y a lieu de choisir les buses adéquates et particulièrement les buses à cône creux pour les cultures maraîchères. Avec les doses recommandées et l'utilisation d'appareils de traitement adéquats, les risques d'intoxication des maraîchers par ces produits sont très faibles. Les taux de connaissance et d'utilisation des fongicides par les maraîchers et maraîchères sont consignés dans le tableau IX.

Analyse du tableau IX

Le tableau IX montre que les fongicides ne sont pas connus par 46,8% des hommes et de 67,7% des femmes dans l'ensemble des quatre sites. Cependant, ils sont connus et non utilisés en moyenne par 24,1% des hommes et 5,5% des femmes dans l'ensemble des localités. D'une manière générale si les fongicides ne sont pas connus par la plupart des maraîchers ou s'ils sont connus mais non utilisés par une proportion importante de producteurs, force est de constater que ce produit est utilisé par une moyenne de 35,5% d'hommes et 26,7%

de femmes dans l'ensemble des sites. Le taux le plus élevé d'utilisation de ce produit est enregistré à Kouyan Coura avec 62,5% chez les femmes et 55,6% chez les hommes.

3.8. Matériels de traitement utilisés

La qualité du matériel de traitement est déterminante dans la répartition uniforme du pesticide sur les feuilles des plantes cultivées. Les résultats des études menées sur ces moyens de traitement des cultures maraîchères dans les quatre localités figurent dans le tableau X.

Analyse du tableau X

L'observation du tableau X montre que d'une manière générale, les pulvérisateurs sont utilisés en moyenne par 42,7% des hommes et par 16,2% des femmes dans l'ensemble des localités. Le taux d'utilisation le plus élevé de cet appareil de traitement est enregistré à San avec 52% pour les hommes et 20% pour les femmes. Ce taux de San est suivi par celui des utilisateurs de Sébougou avec 45% pour les hommes. Cependant dans cette localité, l'usage des pulvérisateurs par les femmes est faible avec 15%. Dans l'ensemble, le taux d'utilisation de ces appareils le plus faible est enregistré chez les femmes à Kouyan Coura avec 12%.

Tableau IX. Taux de connaissance et d'utilisation des fongicides dans les quatre sites.

Sexe	Localités	Non connus	Connus non utilisés	Connus et utilisés	Total
Masculin	Sébougou	70,0%	10,0%	20,0%	100%
	Baroueli	36,4%	36,4%	27,3%	100%
	Kouyan Coura	11,1%	33,3%	55,6%	100%
	San	70,0%	16,7%	38,9%	100%
	% Total	46,8%	24,1%	35,4%	100%
Féminin	Sébougou	77,8%	11,1%	11,1%	100%
	Baroueli	88,9%	11,1%	0,0%	100%
	Kouyan Coura	37,5%	0,0%	62,5%	100%
	San	66,7%	0,0%	33,3%	100%
	% Total	67,7%	5,5%	26,7%	100%

Tableau X. Pourcentage de maraîchers utilisant les différents équipements de traitement.

Sexe	Villages	Pulvérisateurs	Arrosoirs	Balais	Pompes	% Total
Masculin	Sébougou	45%	30%	15%	10%	100%
	Baroueli	32%	25%	31%	12%	100%
	Kouyan Coura	42%	33%	20%	5%	100%
	San	52%	26%	19%	3%	100%
	% moyen	42,7%	28,8%	21,2%	7,5%	100%
Féminin	Sébougou	15%	35%	38%	12%	100%
	Baroueli	18%	29%	42%	11%	100%
	Kouyan Coura	12%	32%	43%	13%	100%
	San	20%	43%	55%	8%	100%
	% moyen	16,2%	28,5%	44,5%	11%	100%

Après le pulvérisateur, l'arrosoir est le matériel de traitement le plus utilisé dans les quatre localités. La proportion d'usage de cet instrument est en moyenne de 28,8% pour les hommes et de 28,5% pour les femmes. Les balais sont également utilisés à 21,2% par les hommes et de 44,5% par les femmes. Le taux d'utilisation le plus élevé de cet instrument est enregistré chez les femmes à San avec 55%. Par contre ce matériel est moins utilisé par les hommes à Sébougou. Cette localité enregistre le taux d'utilisation le plus bas avec 15%. Quant aux pompes, leur usage est plutôt limité. C'est ainsi qu'en moyenne, 7,5% des hommes les utilisent, contre 11% pour les femmes dans l'ensemble des localités.

Discussion du tableau X

Les pulvérisateurs sont des matériels indispensables à l'utilisation sans risque des pesticides. Cependant son usage est très faible dans les quatre localités avec une moyenne de 42,7% pour les hommes et 16,2% pour les femmes. L'écart du taux d'utilisation de ces appareils entre les hommes et les femmes (26,5%) est lié à la faiblesse de revenus des femmes par rapport à ceux des hommes. D'une manière générale les femmes souhaitent obtenir des pulvérisateurs, mais elles n'exploitent que de petites parcelles qui leur rapportent peu (Ly Racine *et al.*, 2003). Un nombre assez important de femmes n'ont

pas la capacité de se payer un pulvérisateur. D'autres empruntent ou louent ces appareils pour effectuer périodiquement les différents traitements de couverture de leur production (Ly Racine *et al.*, 2003). A part les maraîchers qui détiennent les appareils de traitement, les autres utilisent les techniques les plus diverses pour protéger les cultures, ce qui les expose aux différents types d'intoxication provoquée par les pesticides. Il faut signaler également que certains maraîchers sont aussi des producteurs de coton ce qui leur facilite l'octroi de ces appareils à la faveur de la campagne cotonnière.

3.9. Pourcentage de maraîchers et maraîchères formés

La formation est un aspect très important pour l'usage sans risque des pesticides. Le tableau XI fait ressortir le pourcentage de maraîchers ayant reçu les différents types de formation.

Analyse du tableau XI

Le nombre de maraîchers et de maraîchères ayant reçu les divers types de formation, varie d'une localité à l'autre. C'est ainsi que dans l'ensemble, 25,15% des hommes et 45,55% des femmes n'ont reçu aucune formation. Le taux le plus élevé d'analphabètes est enregistré chez les hommes à Baroueli avec 36,4% et chez les femmes à Sébougou avec 77,8%. Ces

Tableau XI. Taux de maraîchers par type de formation dans les différents sites (%)

Sexe	Localités	Aucune formation	Alphabétisés	Enseignement général	École Coranique	Total
Masculin	Sébougou	22,2%	0,0%	11,1%	66,7%	100%
	Baroueli	36,4%	0,0%	9,1%	54,5%	100%
	Kouyan Coura	27,3%	27,3%	36,4%	9,1%	100%
	San	14,7%	5,0%	30,3%	50,0%	100%
	% Total	25,15%	8,0%	21,7%	45,0%	
Féminin	Sébougou	77,8%	0,0%	0,0%	22,2%	100%
	Baroueli	11,1%	0,0%	0,0%	88,9%	100%
	Kouyan Coura	60,0%	40,0%	0,0%	0,0%	100%
	San	33,3%	0,0%	0,0%	66,7%	100%
	% Total	45,55%	10,0%	0,0%	44,4	

taux sont suivis par ceux de Kouyan Coura avec 27,3% pour les hommes et 60% pour les femmes. Par ailleurs, les taux les plus bas pour les maraîchers qui n'ont reçu aucune formation sont notés à San avec 14,7% pour les hommes et à Baroueli avec 11,1% pour les femmes. Le Mali, dans le souci de relever le niveau des producteurs, a engagé sur l'ensemble du territoire une politique de formation des adultes. C'est ainsi qu'en moyenne dans les quatre sites, 8% des maraîchers et 40% des maraîchères ont bénéficié de cette formation. Il faut signaler que le taux le plus élevé des producteurs alphabétisés est enregistré à Kouyan Coura avec 27,3% pour les hommes et 40% pour les femmes. On note un taux faible de 5% à San. Quant à l'enseignement général, qu'aucune maraîchère n'a bénéficié de ce type de formation. Cependant, on note dans l'ensemble que 21,7% des hommes ont été inscrits à l'école. Il faut signaler que le pourcentage le plus élevé est noté à Kouyan Coura avec 36,4% suivi de San avec 30,3%. Les autres localités Sébougou et Baroueli enregistrent respectivement 11,1% et 9,1%. L'enseignement coranique est le plus populaire dans les différentes localités avec une moyenne de 45,0% pour les hommes contre 44,4% pour les femmes. Les taux d'adoption les plus élevés sont de 66,7% pour les hommes à Sébougou et 66,7% à San pour les femmes.

Discussion du tableau XI

Le taux de producteurs n'ayant reçu aucune formation : 25,15% pour les hommes et 45,55% pour les femmes est lié à la mentalité des populations de ces localités qui pendant une longue période, avaient repoussé l'enseignement d'origine occidentale et n'acceptaient pas que leurs enfants partent à l'école d'état. Les parents d'une manière générale préparaient les garçons à servir de main-d'œuvre familiale destinée aux travaux champêtres et les filles à se destiner à leur conjoint au sein du foyer. Dans ces conditions, il était exclu que les femmes soient scolarisées, car il fallait éviter de créer chez elles une mentalité différente de celle de leur mari.

Cette situation est à la base de l'existence d'un nombre assez important d'analphabètes, particulièrement dans le milieu féminin. Par ailleurs, on note également que le taux de producteurs alphabétisés est faible dans l'ensemble avec une moyenne de 8% pour les hommes et 10% pour les femmes. On observe cependant que Kouyan Coura est le seul secteur où, le taux d'alphabétisation des producteurs est assez perceptible avec 27,3% pour les hommes et 40% pour les femmes. Cette situation est liée au fait que les producteurs de cette localité ont été beaucoup sensibilisés et encouragés à suivre la formation de l'alphabétisation fonctionnelle.

Souvent les femmes bénéficiaient de certains avantages en nature, ce qui les encourageait à suivre des cours de nuit après les travaux ménagers. Dans les quatre localités, on observe qu'aucune maraîchère n'a fréquenté l'école fondamentale (0,0%). Seuls les hommes ont bénéficié de ce type de formation avec un taux moyen de 21,7%. Le taux nul de fréquentation des écoles fondamentales par les femmes dans ces secteurs, est lié à un problème culturel et de mentalité. La raison était que dans ces sociétés, les femmes étaient destinées à servir dans des foyers, et les écoles coraniques enseignaient également aux parents que la fréquentation des écoles d'enseignement générale par les filles était condamnée par l'Islam, ce qui a amené les parents à s'abstenir d'envoyer leurs filles à l'école. Par ailleurs, s'il existe un taux de fréquentation moyen de 21,7% des hommes, force est de constater que ces maraîchers sont en majorité constitués de recalés des écoles primaires, qui après abandon des études, se sont convertis dans l'agriculture n'ayant pas un niveau suffisant pour exercer des métiers qualifiés. D'une manière générale le niveau de formation de ces maraîchers est très bas, Ils ne peuvent pas lire et comprendre une notice d'utilisation des produits agro pharmaceutiques. La formation la plus suivie dans l'ensemble des quatre localités est celle de l'école coranique avec un taux de fréquentation de 45% pour les hommes et de 44,4% pour les femmes. D'une manière générale, l'Islam est la religion majoritaire du pays. Sa pratique est basée sur la répétition de prières à partir des textes du Coran ce qui fait que la formation de l'école coranique est une priorité pour la pratique de cette religion. Il

faut noter également que dans ces localités, les maîtres coraniques et les Imams ont aussi une très grande influence sur la société et ils participent à toutes les prises de décisions dans la société.

Après analyse des résultats du tableau XI il ressort que le niveau de formation en enseignement général et en alphabétisation fonctionnelle est très bas. La formation de l'école coranique ne permet pas de lire et de comprendre une notice d'utilisation des pesticides. Donc aucun type de formation ci-dessus mentionné ne permet à ces maraîchers d'obtenir un niveau leur permettant une utilisation sans risque des pesticides.

3.10. Respect des précautions d'emploi

Le traitement des cultures avec un pesticide doit se faire en prenant le maximum de précautions pour éviter les intoxications. Les résultats de l'étude dans ce domaine au niveau des quatre localités sont consignés dans le tableau XII.

Analyse du tableau XII

L'observation du tableau XII montre que les tenues de protection, les gants, les bottes, les masques et les lunettes de protection ne sont pas utilisés par le maraîchers de ces localités pour se protéger contre les effets néfastes des produits de traitement. Seuls les couvre chefs sont portés à des degrés divers. C'est ainsi que 35% des utilisateurs adoptent le port du chapeau à Sébougou, 52% à Baroueli, 25% à Kouyan Coura et 42% à San.

Tableau XII. Pourcentage de maraîchers adoptant les précautions d'emploi des pesticides dans les quatre localités (en%).

Sites	Vêtements	Gants	Bottes	Chapeau	Masque	Lunettes
Sébougou	0%	0%	0%	35%	0%	0%
Baroueli	0%	0%	0%	52%	0%	0%
Kouyan Coura	0%	0%	0%	25%	0%	0%
San	0%	0%	0%	42%	0%	0%
% moyen	0%	0%	0%	38,5%	0%	0%

Discussion sur le tableau XII

L'analyse du tableau XII montre que très peu de précautions d'emploi sont prises pour l'usage des pesticides. Dans aucune localité on ne porte les vêtements de protection, les gants, les bottes, les masques et les lunettes. C'est seulement les chapeaux pour les hommes et les mouchoirs de tête pour les femmes que certains maraîchers portent au cours du traitement (Ly Racine *et al.*, 2003). Ces chapeaux et ces mouchoirs de tête en tissu ne sont pas adaptés au traitement. L'application des pesticides exige des chapeaux de préférence imperméables et à larges bords, protégeant assez bien le cou, les yeux, la bouche et tout le visage. Le chapeau ne doit pas avoir de bandeau en cuir ou en tissu, ces matières absorbent les pesticides et sont difficiles à nettoyer. Par ailleurs, on doit toujours porter des bottes pour se protéger contre la dérive lors du traitement, en cas de renversement du pesticide, elles empêchent le produit d'atteindre les pieds. Les masques, qui doivent également être portés pour protéger aussi bien les yeux, la bouche que tout le visage autant contre les éclaboussures lors du mélange que contre les gouttelettes lors de l'arrosage, s'avèrent inefficaces contre les vapeurs toxiques. Par ailleurs Les lunettes de sécurité ne sont pas du tout connues dans ces localités. Cependant ces lunettes en plastique collent bien à la peau autour des yeux, les protégeant de tout contact avec les pesticides. Elles ne protègent pas les yeux contre les vapeurs toxiques. Quant aux gants, ils sont essentiels lors du délayage et pendant toute l'utilisation des pesticides. Il faut toujours en porter. Ne jamais utiliser de gants abîmés, ni en cuir ni en matière perméable. Il ne faut pas également utiliser les gants en caoutchouc car cette matière se dissout facilement dans certaines substances.

3.11. Risques d'intoxication des maraîchers dans les quatre zones de l'étude

L'analyse des résultats des différents tableaux montre que dans ces secteurs, les risques d'intoxication liés aux herbicides sont moindres parce que ces produits sont très peu utilisés et

que le désherbage ne concerne que de petites surfaces destinées au maraîchage. L'usage de ces produits n'est pas justifié puisque les mauvaises herbes sont facilement maîtrisées par le désherbage manuel. Cette opération est effectuée par eux même et ne nécessite pas d'investissement supplémentaires (pas d'achat d'herbicides, ni d'appareil de traitement). Quant aux fongicides, ils sont moins toxiques et très peu utilisés pour la protection des cultures. Par contre, les insecticides sont beaucoup utilisés et les risques d'intoxication sont plus élevés suite au non respect des précautions d'emploi.

Au non respect des précautions d'emploi des pesticides dans les quatre sites avec un taux de non adoption de 0% pour le port des gants, des vêtements, des bottes et des masques, s'ajoute l'utilisation anarchique de ces produits pendant plusieurs années on peut donc constater que ces producteurs sont exposés à une intoxication chronique par les pesticides. Ce type d'intoxication est beaucoup plus difficile à dépister que l'intoxication aiguë (Wilma Arendse *et al.*, 1989). Elle résulte d'un contact prolongé ou répété avec des pesticides dans des doses moins fortes que pour l'intoxication aiguë. C'est pourquoi les symptômes des intoxications chroniques apparaissent surtout chez les producteurs sans protection suffisante travaillant régulièrement avec des pesticides.

Une forme importante d'intoxication chronique est le blocage de la Cholinestérase (AChE), un enzyme très important du système nerveux. Cela est le cas pour les organophosphates (OP) et les carbamates (CA). Les symptômes d'intoxication chronique ne se manifestent que dans un stade tardif. Chez les gens en contact régulier avec les OP et les CA, l'intoxication se fait lentement, jusqu'au déclenchement brusque d'une forme grave. Un autre danger de la baisse d'activité de la AChE est une sensibilité accrue à de nouvelles intoxications. Des symptômes graves se manifestent alors à la plus légère dose. Il est conseillé aux gens travaillant souvent avec les OP et les CA, de faire contrôler régulièrement leur niveau de AChE dans le sang. Cela est possible dans des postes médicaux les mieux aménagés.

Il existe aussi des malles portatives pour tester sur le terrain les ouvriers qui manipulent régulièrement les pesticides. Pour une diminution du niveau d'AChE de 30 à 50%, Il est interdit de continuer à travailler avec les OP et les CA jusqu'à ce que le niveau soit redevenu normal. Pour les OP, le niveau redevient souvent normal après quelques semaines ; quand à ceux qui utilisent les C.A, la normalisation du niveau d'AChE se fait plus vite que pour les OP. Une réduction de 70% ou plus, indique une intoxication grave. Cela peut durer 3 mois avant que le niveau ne redevienne normal.

L'organisation mondiale de la santé (OMS) donne des informations sur le sujet et sur la façon de se procurer ces tests. Les allergies sont aussi une forme d'intoxication chronique. Elles n'apparaissent souvent qu'après quelque temps et peuvent s'aggraver lentement. Souvent ce sont des réactions d'hypersensibilité de la peau et des muqueuses. Ajoutons que certains produits sont soupçonnés de causer des troubles oculaires chroniques (cataracte), des cancers, des anomalies congénitales, la stérilité. Des substances provoquant d'autres effets chroniques graves nécessitent des mesures de sécurité maximales. Pour toutes ces raisons, les postes médicaux, les médecins et les hôpitaux des contrées où les pesticides sont souvent utilisés devraient être au courant du traitement spécial de chaque intoxication et être prêt à l'appliquer. Les fournisseurs de pesticides du pays devraient pouvoir donner des informations aux médecins. Mais on peut aussi obtenir des indications de traitement détaillées dans les centres nationaux d'intoxication existant dans le pays.

IV. Conclusion

Il ressort de cette étude dans ces quatre localités à savoir : Sébougou, Baroueli, Kouyan Coura et San que l'on utilise les pesticides sans être bien informé des dangers courus et on est confronté à des conséquences très fâcheuses : l'usager s'intoxique, les résidus restent collés aux végétaux et atteignent le consommateur, les poissons, les abeilles et autres périssent. L'eau potable est polluée

et la végétation est endommagée. Tous les pesticides sans exception sont dangereux. Ces produits sont fabriqués pour détruire des organismes nuisibles tels que les insectes et les champignons, mais cela ne veut pas dire qu'un produit fait pour détruire les dits nuisibles ne soit pas dangereux pour d'autres organismes vivants, et pour l'homme en particulier. Il est vrai pourtant que certains sont moins dangereux que d'autres. Beaucoup d'entre eux peuvent être utilisés sans trop de dangers si l'on suit bien les instructions et si l'on prend les mesures de sécurité adéquates, ce qui n'est pas le cas dans ces secteurs de production. Ainsi l'utilisation des pesticides dans la zone de l'étude pose toutes sortes de problèmes, dont voici les plus importants :

- des substances toxiques sans notice sont vendues librement. On n'a pas toujours le choix entre différents produits : on se sert toujours du produit disponible ;
- malgré la loi et les règlements, les produits sont souvent vendus sans étiquette, ou avec une étiquette disant peu de chose sinon rien sur les substances actives, rien sur les premiers soins en cas d'intoxication et rien sur la durée d'activité du produit. Quant l'étiquette donne des informations désirées, elles sont souvent incompréhensibles ou écrites en langue étrangère ;
- à défaut d'insecticide, des herbicides ou des mélanges de pesticides fabriqués localement sont utilisés pour combattre les insectes et d'autres ravageurs avec des appareils non adaptés ;
- les traitements sont effectués soit avec des balaies, soit avec des appareils défectueux. Les vêtements de protection, les gants, les masques, les bottes ne sont toujours pas disponibles, ou encore ne sont pas portés car ils gênent l'opérateur dans ses mouvements ;
- pour mieux protéger les cultures, les usagers dépassent les doses prescrites par le fabricant ou par le technicien ;
- les restes et les emballages ne pas éliminés comme il le faudrait, et ils sont souvent recyclés pour d'autres usages.

A travers ce qui précède, Il est opportun de procéder périodiquement, à des analyses de sang des utilisateurs de ces produits chimiques pour contrôler le taux de la Cholinestérase (AChE), un enzyme très important du système nerveux, afin d'éviter les intoxications qui peuvent à la longue être responsables de beaucoup de maladies.

A titre de prévention, il est nécessaire soit de former ces maraîchers sur la connaissance, l'application raisonnée et sans risque des pesticides sur les cultures, soit de développer dans ces zones les techniques alternatives à la lutte chimique. La nature nous offre des moyens hautement intéressants pour protéger nos cultures et nos stocks, comme les ravageurs eux-mêmes, ces moyens ont pour origine la riche diversité de la nature ; ils sont issus de la lutte des espèces pour la survie.

La protection naturelle des végétaux met ces moyens à profit. Même s'ils semblent appartenir à un autre âge, ils peuvent aider concrètement, dans le présent et dans l'avenir, à assurer une production alimentaire sans risque ni pour le cultivateur ni pour le consommateur. Une étude plus poussée de leur mode d'action et de leurs propriétés permettrait de moderniser leur emploi.

V. Bibliographie

- AMPHOUX M., AGULHON R. et VERGNES A., 1969. 5^e Conférence du COLUNA. 3, 924. *Lutte contre quelques plantes vivaces dans le vignoble méridional.*
- CHAUVET Y. et FOUREL M., 1973. 7^e Conférence du COLUNA. *Sélectivité de l'oxadiazon vis-à-vis des œillets.*
- DELAHOUSSE B., DOLORAINE J. et GUILLOT M. (1973). 7^e Conférence du COLUNA. *Expérimentation de l'oxadiazon et du mélange oxadiazon-carbétamide sur ail, échalote, oignon de Mulhouse, poireau.*
- INDEX PHYTOSANITAIRE : 1982. Produits insecticides, fongicides, herbicides. Vingt et unième édition française réalisation ACTA lutte antiparasitaire G. Dubois.
- INRA : 1990. Les herbicides : mode d'action et principes d'utilisation sous la direction de RENE SCALLA.
- LY R., DEMBÉLÉ D., N'DIAYE M., 2003. Rapport de mission sur l'utilisation des pesticides et l'impact sur la santé humaine dans la région de Ségou.
- N'DIAYE M., DIALLO F., 1999. Rapport de mission du Ministère du Développement Rural et de l'Eau : Inventaire des insectes, maladies et mauvaises herbes des cultures maraîchères dans les jardins des Associations féminines de cinq villages de la zone Haute Vallée du Niger (Torodo, Toniba, Dara, Kalifabougou et Dialakoroba). (Ordre de mission N°091/MDRE-SG du 7 avril 1999).
- N'DIAYE M., DIALLO F. 1999. Rapport de mission du Ministère du Développement Rural et de l'Eau : Etude sur la Problématique de l'utilisation des pesticides dans les jardins des Associations féminines de cinq villages de la zone Haute Vallée du Niger (Torodo, Toniba, Dara, Kalifabougou, et Dialakoroba). (Ordre de mission N°091/MDRE-SG du 10 MAI 1999).
- WILMAARENDSE, KOENDEN BRABER, INGE HOOGERBRUGG'E, INGE VAN HALDER, MARLEEN KRAMER, et HAROLD VAN DER VALK. 1989. Pesticides : composition, utilisation et risques.

Isolation and biological characterization of phosphate solubilizing bacteria strains from the rhizospheric soils of corn in Mali

L'isolement et la caractérisation biologique des souches de bactéries du sol rhizosphérique de maïs solubilisant le phosphate au Mali

Lamine Traoré^{1,2}, Hamadoun Babana², Fassé Samake², Inamoud I. Yattara²,
Hani Antoun⁴, Messaoud Lahbib^{2,3}

¹Institut d'Économie Rurale, IER/CRRA-Sotuba, BP. 262, Bamako, Mali –
Tél : (+223) 66 72 43 26 ; Courriel : ltraore68@gmail.com

²Université de Bamako, Mali

³Chaire UNESCO pour l'environnement, Bamako, Mali

⁴Centre Sève et Centre de recherche en Horticulture, Université Laval, Québec Canada

Abstract

Forty-eight bacteria isolates from the rhizosphere of three cultivars of corn and three different soils were examined for their phosphate solubilizing ability. The tests were realized on NBRIP (National Botanical Research Institute of Phosphate Growth medium) containing the Tilemsi phosphate rock (TPR) as the only source of insoluble phosphorus. All the isolates solubilized the TPR in solid and liquid media. Twenty isolates were selected for their high solubilizing capacity in liquid medium (105 to 311 mg P/ml/g of TPR). These isolates were submitted to different stress conditions (acid medium with pH 7 to 5, five successive growths and the temperature range of 30°C to 45°C). Only six isolates (I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 and I_6) were able to maintain their ability of solubilizing the TPR and also they were not antagonistic. These selected isolates were also tested for their solubilization efficiency (SE) of TPR and phytate on NBRIP solid medium containing the TPR and phytate as the only insoluble source of phosphorus and phytate respectively. The maximum solubilization (300%) for TPR was obtained with the isolate I_5 and 167% for phytate with the isolate I_1 . It has been observed that the bacteria isolates have an average solubilization capacity of 18.54 kg P_2O_5 out of 30 kg contained in 100 kg of PNT. The same bacteria strains

were tested for their plant growth promotion (PGPR) characteristics which indicated that all produced low molecular weight Organic Acids, Siderophores, Indole Acetic Acid (IAA or auxine), but none of them produced the Hydrocyanic Acid (HCN).

Keywords: Phosphate solubilization, Bacteria strains, rhizosphere, PGPR, corn.

Résumé

Quarante huit (48) souches de bactéries isolées de la rhizosphère de trois (3) variétés différentes de maïs et de sol ont été testées pour leur habilité à dissoudre les phosphates naturels. Les tests ont été réalisés sur le milieu de culture NBRIP (*National Botanical Research Institute of Phosphate Growth medium*) contenant du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) comme seule source de phosphore insoluble. Tous les isolats ont solubilisé le PNT en milieux solide et liquide. Vingt (20) isolats ont été sélectionnés pour leur grande capacité de solubilisation en milieu liquide qui varie de 105 à 311 mg de P/ml/g de PNT. Ces isolats ont été soumis à différentes conditions de stress (milieux acides de pH 7, 6, et 5) ; 5 repiquages successifs et à des températures de 30°, 35°, 40° et 45°C). Seulement 6 souches bactériennes (I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 , I_6) étaient capables de maintenir leur capacité de solubilisation du PNT et elles n'étaient pas

antagonistes. Ces isolats sélectionnés ont été testés aussi pour leur efficacité de solubilisation (ES) du PNT et du phytate en milieu solide contenant du PNT et du phytate comme seules sources insolubles de phosphore. L'efficacité maximale de solubilisation du PNT (300 %) a été obtenue avec l'isolat I₅ et 167 % du phytate avec l'isolat I₁. Il a été observé également que les isolats des souches bactériennes ont une capacité moyenne de dissolution de 18 kg de P₂O₅ sur les 30 kg contenus dans 100 kg de PNT. Les mêmes souches bactériennes ont été testées pour leurs caractéristiques de production de substances favorisant la croissance de la plante. Ces tests ont révélé que toutes les souches produisent des acides organiques de faible poids moléculaire comme les siderophores et de l'acide indole acétique (AIA ou l'auxine naturel) et qu'aucune ne produit de l'acide cyanhydrique.

Mots clés : solubilisation du phosphate, souches de bactéries, rhizosphère, PGPR, maïs.

1. Introduction

Phosphorus, widely distributed in nature in both organic and inorganic forms, are not readily available to plants in a bound state. Many soil bacteria are reported to solubilize these insoluble phosphates through various processes (Seshadri *et al.*, 2000). Microorganisms capable of producing a halo/clear zone due to solubilization by organic acids in the surrounding medium (Das, 1989; Singal *et al.*, 1991) are selected as potential phosphate solubilizers and are routinely screened in the laboratory by a plate assay method (Gerretson, 1948) using either Pikovskaya agar (Pikovskaya, 1948) or Sperber agar (Sperber, 1958). Several reports on bacteria and fungi isolated from soil have evaluated their mineral phosphate solubilizing activity with various P sources such as calcium phosphate tribasic [Ca₃(PO₄)₂] (Illmer and Schimer, 1995), iron phosphate (Fe PO₄) (Jones *et al.*, 1991) and aluminium phosphate (AlPO₄) (Illmer *et al.*, 1995). An increase in P availability to plants through the inoculation of phosphate solubilizing bacteria has also been reported previously in pots

experiments and under field conditions by the following researchers: Banik and Dey, 1981; Chabot *et al.*, 1996; deFreitas *et al.*, 1997 and Zaidi *et al.*, 2003. Availability of phosphate in soil is greatly enhanced through microbial production of metabolites leading to lowering of pH and release of phosphate from organic and inorganic complex (Haque and Dave, 2005). Research results indicated that some heterotrophic microorganisms groups have shown their ability of solubilizing the inorganic forms of P by organic acids production which solubilize the phosphate minerals in soil solution (Halder *et al.*, 1990a, Gaur, 1990, Bojinova *et al.*, 1997 and He *et al.*, 2002). Among these important microorganisms and responsible for that dissolution, there are bacteria like: *Bacillus megaterium*, *B. subtilis*, *B. polymyxa*, *Pseudomonas striata* and certain fungi among which can be quoted: *Aspergillus awamori*, *Penicillium bilaii*, *P. digitatum* and *Trichoderma sp.*

Phosphate (P) deficiency in soil can severely limit plant growth productivity, particularly in legums where both the plants and their symbiotic bacteria are affected, and this may have a deleterious effect on nodule formation, development and function (Alikhani *et al.*, 2006).

According to Antoun and Kloepper (2001), intensive interactions take place among the plant, soil, and soil microorganisms at the root zone. Plants up take most of their requirement in nutrients and water from the roots. They also release from the roots a large number of low molecular weight water soluble exudates such as amino acids, sugars and vitamins for the benefit of the soil microorganisms. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) are bacteria that aggressively colonize plant roots. They can multiply and occupy the ecological niches found on plant roots, at most stages of plant growth. Their mechanisms of growth promotion are through biological control with production of organic acids, siderophore and similar products with very high affinity to ferric iron. The siderophores immobilize this essential element, inhibiting the growth of deleterious and soilborne bacterial or fungal

agents unable to use this iron complex. The direct plant growth promotion is done by the production of indole acetic acid (IAA). Inoculation of young maize plants with PGPR microorganisms had an action comparable to the application of IAA. Indole-acetic acid (IAA) is the most common natural auxin found in plants. IAA is involved in physiological processes such as cell elongation and tissue differentiation (Taiz and Zeiger, 1991). It has been associated with the plant growth promoting effect of numerous rhizospheric microorganisms (Patten and Glick, 2002; Persello-Cartieau *et al.*, 2003; Vessey and Heisinger, 2001). In addition to its key role in the growth of plants, IAA plays an important role in numerous plant-pathogen interaction (Yamada, 1993; Jameson, 2000). These authors have also indicated that some PGPR can solubilize rock phosphate or the different poorly soluble inorganic forms of (P) in soil by the production of organic acids and acidic proton (H^+ ions). Phosphatase enzymes produced by PGPR also mineralize organic phosphate (P). By increasing the concentration of soluble phosphate in soil, phosphate solubilizing PGPR can improve plant phosphate nutrition and growth. Finally with phosphate-solubilizing PGPR, the increase in phosphate availability is probably not the sole plant growth promoting mechanism involved.

Experiments or studies were conducted in 2007. Six selected bacteria isolates from the rhizosphere of three cultivars of corn and three different soils were tested for their solubilization efficiency of the organic and

inorganic phosphate and for their PGPR characteristics.

II. Material and methods

The rhizosphere soil samples collected were stored in cool aseptic conditions at the laboratory. These samples were diluted from 10^{-1} to 10^{-5} .

2.1. Isolation of the bacteria strains

An aliquot of 100 μ l of the appropriate (10^{-1} to 10^{-5}) dilutions of the soils samples were used to inoculate Petri dishes containing NBRIP's Phosphate growth medium of Nautiyal, 1999), with TPR as sole source of phosphorus for the isolation of phosphate solubilizing bacteria (PSB) or with phytate for phytate solubilizing bacteria. The TPR was washed three times with hot water to remove the soluble P. The plates were incubated at room temperature ($25^{\circ}C$) for 7 days, then the number of colonies distinguished by clear zone (halo) production, indicating the phosphate solubilization were determined, identified and sub-cultured (table 1). As Petri dishes assay is not considered a reliable method in determining a strain as phosphate solubilizer (Johri *et al.*, 1999), the pure cultures were further screened in NBRIP (Nautiyal, 1999) liquid containing TPR at a concentration of 5 g/l as insoluble P source. Finally the test for organic acids production and quantity of solubilized TPR by the isolates was done as follow: the culture supernatant was obtained by centrifugation and the test of

Table I. Bacteria colonies producing halos zones of TPR solubilisation.

Soil samples locations	Cultivars of corn	Bacteria colonies with halo zones
Kangaba	Dembanyuman	0
	Tiemantie	6
	Sotubaka	2
Bancoumana	Tiemantie	7
	Dembanyuma	6
	Sotubaka	8
Gouani	Tiemantie	4
	Dembanyuma	5
	Sotubaka	4
Total		48

Ascorbic Acid Method of Watanabe and Olsen, (1965) for determining phosphorus in water and NaHCO_3 was used. Phosphorus dosage was performed using the colorimetric method of Tandon *et al.* (1968). Also the relationship between the dissolved P and the quantity of acids produced by the isolates in the medium was established. The efficient isolates have been selected for further experiments.

2.2. Characterization of the bacteria strains

The bacteria isolates were submitted to different stress conditions (acids media; five successive growths and the temperature range of 30°C to 45°C) to determine their TPR solubilization efficiency. For acid medium, the test was done according to Witelaw (2000) and Tandon *et al.*, (1968) where the isolates were tested at pH 7, 6 and 5. The isolates preserving their TPR solubilization capacity at pH 5 after 5 successive growths and at 45°C corresponding to the corn culture environment of Mali were selected. The antagonistic test among isolates was done by putting in contact two by two in a Petri dish containing TSA 15%. The antagonism appeared when the growth of one isolate is blocked by the other one. The contrary phenomenon indicated the non antagonism among isolates in contact.

The PGPR characteristics tests of the isolates were conducted using the methods of Schwyn and Neilands (1987), modified by Milagres *et al.* (1999) for Siderophore production; Bakker and Schippers (1987) for Hydrocyanic Acid (HCN) and John M. Bric *et al.* (1991) for Indole Acetic Acid production.

III. Results and Discussion

3.1. Soil samples

The physico-chemical characteristics of the soil samples are presented in table II. All 3 soils are poor in available phosphorus with the minimum in Gouani (1,68 kg/ha) compared to Kangaba and Bancoumana with 13,96 kg/ha and 8,92 kg/ha respectively. Iron was higher in kangaba than Bancoumana and Gouani which showed similar contents. The same tendency was observed for aluminium.

3.2. Isolated bacteria strains

The plate counting results of the corn cultivars rhizosphere bacteria colonies with binocular magnifying glass has shown 48 pure colonies presenting TPR solubilization halos as indicated in table II.

3.3. Biological characterization of bacteria strains

TPR and phytate solubilisation in solid medium

The halo formation due to the organic acids production by the microorganisms was illustrated by putting the Bromothymol blue reagent in the growth medium dish which in contact with the acids gave orange coloration surrounding the colony.

TPR solubilization in liquid medium

The 48 isolates tested and selected on solid medium were also tested in NBRIP liquid medium containing TPR as sole source of insoluble phosphorus source, using the colorimetric method of Tandon *et al.* (1968).

Table II. Physico-chemical characteristics of the soil samples

Sol	Texture	pH	C/N	MO (%)	Available nutrients items (kg/ha)					
					P	K	Ca	Mg	Fe	Al
B	Loamy-sand	4.8	8.50	0.29	8.92	113.57	456.96	120.96	26.36	0.4
G	Sand-loam	5.3	10.66	0.55	1.68	96.09	461.44	80.64	29.56	0.08
K	Sand-loam	5.0	13.66	0.72	13.96	87.36	734.72	59.14	61.92	0.10

B = Bancoumana; G = Gouani ; K = Kangaba

The general linear model (glm) analysis of variance (ANOVA) for solubilised P quantity has shown high significant differences among means at $P < 0.001$ with a variation coefficient of 37.72% (table III).

Fischer protected LSD test allowed to classify the isolates in 6 homogeneous groups according to their TPR solubilization capacity in liquid medium. The first 20 isolates (table IV) having a solubilization capacity between 105 and 311 mg P/g TPR, were selected for the rest of the experiments.

Table III. Analyse of variance of solubilised P quantity (mg/g of TPR).

Source of variation	DF	Means square
Model	47	8550.18***
Error	46	1715.58
CV (%)		37.72

*** highly significant at $P < 0.001$.

Table IV. Classified means of TPR solubilized P quantities by the isolates, (LSD = 83,373).

Isolats	Means of solubilised P quantity (mg P/ml/g TPR)
I ₁	310.90 A
I ₁₀	264.10 AB
I ₉	239.10 ABC
I ₇	230.30 ABC
I ₁₁	225.70 BCD
I ₂	217.40 BCD
I ₁₂	202.60 BCDE
I ₃	173.70 EFCD
I ₁₃	156.00 EFCDG
I ₄	146.70 DEFGH
I ₆	145.90 DEFGH
I ₁₄	132.70 EFGHI
I ₁₅	121.40 EFGHIJ
I ₅	120.10 EFGHIJK
I ₈	119.16 FGHIJK
I ₁₆	117.92 FGHIJK
I ₁₇	111.70 FGHIJKL
I ₁₈	111.70 FGHIJKL
I ₁₉	109.90 FGHIJKL
I ₂₀	104.88 FFGHIJKLM

I=isolate; the means followed by the same letter are not significantly different according to Fisher Protected LSD ($P < 0.05$).

TPR solubilization under different stress conditions

a. Acid medium

Among the 20 isolates submitted to different acidity conditions (pH 7, 6 and 5), 9 isolates have shown good performance in the 3 conditions (table V). The results in this table indicated that the isolates had some ability of TPR solubilization at pH 5 (acid medium).

Conserving TPR solubilization capacity by the microorganisms is an essential criterion

to consider when choosing a bio-inoculum. This happened after successive growth of a particular isolate.

b. Successive growth effect

The results are indicated in table VI. The isolates having shown good performance in TPR solubilization during the 5 successive growths were selected. The dissolution/solubilization halo diameter varies from 1.5 cm to 2.5 cm.

Table V. pH effect on TPR solubilization by the isolates (mg P/g TPR)

Soil samples	Isolates	Corn cultivars	P produced in mg/g TPR		
			pH 7	pH 6	pH 5
Gouani	I ₃	Tiemantie	487.8	80.3	107.5
Gouani	I ₉	Tiemantie	340.3	37.3	47.8
Bancoumana	I ₁	Sotubaka	423.9	160.4	74.4
Gouani	I ₇	Sotubaka	319.9	87.6	85.6
Kangaba	I ₃	Tiemantie	346.5	79.7	86.4
Bancoumana	I ₈	Sotubaka	253.7	63.4	63.6
Gouani	I ₇	Dembanyuman	319.9	87.6	85.6
Gouani	I ₄	Dembanyuman	374.7	87.1	82.2
Bancoumana	I ₆	Sotubaka	360.8	86.9	83.4
BGK	Control	SDT*	157.6	54.4	51.2

*Sotubaka, Dembanyuman, Tiemantie; SD = Standard Deviation.

Table VI. Colonies diameter and TPR dissolution halo variation during 5 successive growths in Petri dishes.

Isolates		Successive growth times, diameter (cm) of colony & halo				
		1	2	3	4	5
I ₅	Colony	0.5	1.0	1.5	1.5	1.5
	Halo	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5
I ₁	Colony	0.5	1.5	2.5	1.2	1.5
	Halo	1.5	2.0	3.5	2.0	2.5
I ₂	Colony	0.8	1.0	0.9	1.0	1.0
	Halo	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0
I ₃	Colony	0.6	0.6	0.7	1.0	1.2
	Halo	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5
I ₄	Colony	0.6	0.8	0.9	1.0	1.0
	Halo	1.0	1.0	1.5	2.0	2.5
I ₆	Colony	0.4	1.5	2.0	1.3	1.6
	Halo	1.5	1.8	2.0	2.5	2.3

c. Temperature effect

In table VII, the isolates have shown similar behaviour in their TPR solubilization activities. Good isolates were those which solubilized at the highest temperature (45°C). The 6 isolates having shown this good performance with 0,7 cm to 1,7 cm of dissolution halo diameter were retained for the rest of the experiments.

d. Antagonism test between the selected isolates

There was almost no antagonism between the isolates during the 7 days of incubation. The observed antagonism during the first two days for certain isolates I_2 & I_5 ; I_4 & I_1 ; I_4 &

I_2 and I_5 & I_4 disappeared the following days. This indicated that these isolates were not antagonistics and they can be associated for an inoculum formulation.

The solubilization efficiency (SE) is determined as follow: $SE (\%) = \frac{\text{growth diameter} - \text{colony diameter}}{\text{colony diameter}} \times 100$ (table VIII).

In referring to the TPR solubilization capacity of the selected microorganisms in liquid medium the quantity of solubilized P_2O_5 was determined for each microorganism in 100 kg of PNT. Since 100 kg of PNT contain 30kg of P_2O_5 , the quantity of P_2O_5 susceptible to be solubilized by each isolate is indicated in table IX.

Table VII. Colonies and TPR dissolution halo formation by the isolates at different temperatures.

Isolates		Temperatures, diameter (cm) of colony & halo			
		30°C	35°C	40°C	45°C
I_5	Colony	0.1	0.1	0.2	0.1
	Halo	0.6	0.5	1.1	0.7
I_1	Colony	0.2	0.2	0.3	0.2
	Halo	0.8	0.9	1.3	1.7
I_2	Colony	0.2	0.2	0.3	0.1
	Halo	0.9	0.8	0.8	1.0
I_3	Colony	0.2	0.1	0.2	0.4
	Halo	0.8	0.7	1.8	1.0
I_4	Colony	0.2	0.2	0.3	0.2
	Halo	0.7	0.7	0.9	0.9
I_6	Colony	0.2	0.3	0.5	0.4
	Halo	0.7	0.8	1.3	1.5

Table VIII. Solubilization efficiency (SE) of TPR and Phytate by the bacteria isolates in solid medium

Isolates	Solubilization efficiency of TPR (%)	Solubilisation efficiency of Phytate (%)
I_1	200	167
I_2	150	63
I_3	115	75
I_4	150	100
I_5	300	129
I_6	275	113

Table IX. Quantity of P_2O_5 solubilized by the selected microorganisms in liquid medium

Isolats	Quantity of solubilized P_2O_5 (kg/100 kg of PNT)
I ₁	31.09
I ₂	21.74
I ₃	17.37
I ₄	14.67
I ₅	12.01
I ₆	14.59
Average	18.58

The selection of microorganisms based on their capacity to dissolve the TPR and the produced soluble P quantity permitted to select 6 isolates that have been classified according to their efficiency of TPR dissolution in solid medium which varied from 114.29% to 300% of dissolved P. A study carried out on the *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus megaterium* and *Azospirillum* spp., by El-Komy (2005) *in vitro* solubilization of calcium phosphate got the values of 128% to 150%. Malaiah and Sridevi (2007) were able to show the evidence of tricalcic phosphate solubilization efficiency on bacto agar medium by 5 rhizobiums isolates among 46 and it varied from 33% to 150%.

In liquid medium, the dosage of the soluble phosphorus permitted to show the evidence of the phosphate dissolution capacity of the 6 selected isolates varying from 148.6 to 332.2 mg P/g of TPR. According to Babana and Antoun (2003), some bacteria may not have TPR dissolution capacity in solid medium but can have in liquid medium. Such a case was not observed since all relate isolates have dissolved in both solid medium and in liquid medium as well. It is necessary to signal that the Isolates I₅, I₆ and I₁ gave good results in liquid medium, while I₂ and I₃ showed a satisfactory solubilization capacity in both conditions. It is important to note that isolated I₄ showed good solubilization ability in liquid medium. Johri *et al.*, (1999), Nautiyal (1999), Babana and Antoun (2003) and El-Komy (2005), have suggested that before selecting

a microorganism as bio-inoculum it is always useful to test the solubilization ability in both mediums.

3.5. Organic acids produced and solubilized phosphorus

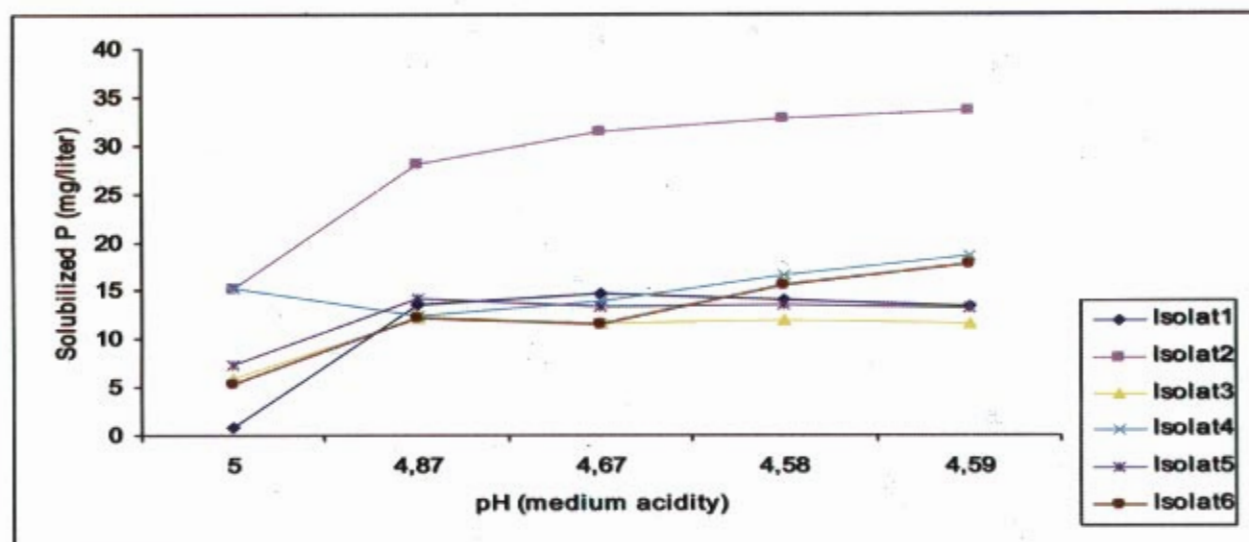
Graphic 1 shows TPR solubilization in relation to acids production or pH of the incubated solution (pH 5 to 4.59) obtained after 5 days of incubation. In this graphic, isolate I₂ has shown good TPR solubilization performance. The others showed relatively similar average performance trends (ie: I₁, I₃, I₄, I₅ and I₆).

According to graphic 2, the dissolved P was inversely proportional to the acids quantity produced or pH. Hence, the regression curve between the phosphorus dissolved and the acid produced by Isolate I₂ was represented by the following formula: $Y = a + bx$ or

$Y = 4.8552 - 0.7226x$. This negative correlation is the same for all the isolates where

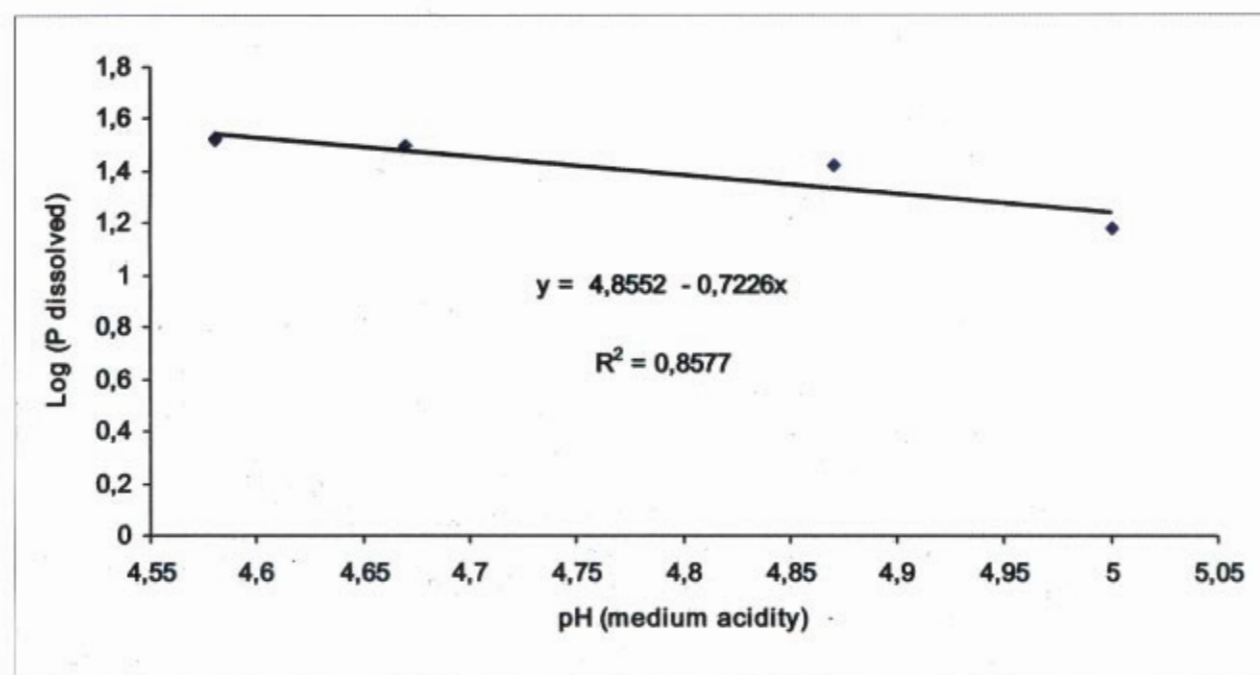
a = amplitude; b = correlation coefficient; x = pH and Y = regression curve

These results are in agreement with those obtained by Haque and Dave (2005) who indicated that the availability of phosphate in soil is greatly enhanced through microbial production of metabolites leading to lowering of pH and release of phosphate from organic and inorganic complex. Halder *et al.* (1990a); Gaur (1990), Bojinova *et al.* (1997) and He



Graphic 1. Solubilized-P as function of produced acids in the solution by the isolates.

d.



Graphic 2. Correlation between pH and the dissolved phosphorus by isolate I₁.

et al. (2002), indicated that some heterotrophic microorganisms groups have shown their ability of solubilizing the inorganic forms of P by organic acids production which solubilize the phosphate minerals in soil solution. Among these microorganisms which are important and responsible for that dissolution, there are bacteria like: *Bacillus megaterium*, *B. subtilis*, *B. polymyxa*, *Pseudomonas straita* and some

fungi such as *Aspergillus awamori*, *Penicillium bilaii*, *P. digitatum* and *Trichoderma* sp. Kucey *et al.* (1989) indicated from cultures supernatant certain numbers of organic acids such as: lactic acid, glycolic acid, citric acid, 2-ketogluconic acid, malic acid, oxalic acid, malonic acid, tartaric acid and succinic acid. All have inorganic phosphates dissolution ability.

3.6. Growth enhancing products produced by the isolates

The PGPR characteristics of the isolates were illustrated by the production of:

a. Produced Siderophores

Siderophores production by the isolates (Schwyn and Neilands method (1987), modified by Milagres *et al.*, 1999) was determined by measuring the average orange colour halo diameter surrounding the colony in the Petri dish. All the six isolates produced siderophores with an average diameter of the three measurements for each isolate indicated in table X. In fact, I_6 , I_5 and I_1 were the most efficient.

b. Hydrocyanic Acid (HCN) production

According to the test of Bakker and Schippers (1987), none of the isolates produced HCN, because the test did not reveal any colour change from orange to grey colour indicating no HCN synthesis by the isolates.

c. Produced Indole Acetic Acid (IAA)

The indole acetic acid produced by the isolates was determined using the method of Bric *et al.* (1991). The reddish coloration surrounding the 2 mm colonies on the cellosic membrane under the Sarkovski reagent effect indicated the presence of IAA. The coloured bands diameters surrounding the colonies were measured and the average of 3 measurements for each isolate is indicated in table X. I_2 , I_4 , I_3 and I_5 have shown the highest production capacity.

It is necessary to mention that considering the reduced number of isolates, the diameters measurements for siderophore and indole acetic acid were not subject to any statistical analysis.

It has been observed from the different tests that all the isolates produced the siderophores and indole acetic acid. Dommergues *et al.*, (1999) reported that certain rhizosphere microorganisms produce vitamins such as thiamine, nicotinic acid, panthotenic acid and others which stimulate plants germination

Table X. Siderophore and Indole acetic acid produced by the isolates in Petri dishes

Isolates	Production diameter (cm)							
	Siderophores				Indole Acetic Acid			
	P ₁	P ₂	P ₃	Means	P ₁	P ₂	P ₃	Means
I_1	3.0	2.9	3.0	2.96	1.0	1.5	1.0	1.16
I_2	1.3	1.5	1.7	1.5	2.0	3.5	3.0	2.83
I_3	2.26	2.23	2.5	2.33	1.0	2.0	2.0	1.66
I_4	1.6	1.2	0.7	1.66	2.0	1.5	2.0	1.83
I_5	3.75	3.0	2.5	3.08	1.5	1.5	2.0	1.66
I_6	3.33	3.43	3.5	3.42	1.0	1.5	1.5	1.33

P = Petri dish

and growth. Rodriguez *et al.* (1998) indicated also that phosphorus deficiency increases the germination time, and the time between the first leaves emergence and tillering. The plants growth can be enhanced by certain soil microorganisms which colonized crops plants roots (Kloepper *et al.*, 1999; Gray and Smith, 2005). Meanwhile plant growth regulation mechanism by the PGPR has not been yet sufficiently elucidated.

IV. Concluding comments

From the above results, it can be concluded that an interesting phenomenon of phosphates solubilization by these bacteria strains could be further studied to find out the mechanism of action or the involvement of genes. A study on the molecular mechanism would throw light on the phosphate solubilizing genes that could be incorporated in agriculture as bacteria strains offering traits for phosphate solubilization. Although no direct correlation could be established between *in vitro* solubilization of P, Plant P accumulation and available soil P, the results of this study make these isolates attractive as phosphate solubilizers. Also these bacteria are PGPR microorganisms by their ability of producing siderophores and indole acetic acid (IAA) which can give them the properties of improving plant phosphate nutrition and growth.

V. Acknowledgements

The authors are grateful to the following institutions which helped technically and financially this work: Institut d'Économie Rurale of Mali, through the Labosep and the animal nutrition laboratory, l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) and the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada. They are also grateful to the laboratory technicians, Bakary Samaké and Baro Diarra who helped with the laboratory works.

VI. Bibliography

- ALIKHANI HA., SALEH-RASTIN N., and ANTOUN H., 2006. Phosphate solubilization activity of rhizobia native to Iranian soils 287: 35-41.
- ANTOUN H. and KLOEPPER J., 2001. Plant Growth Promoting Rhizobacterial (PGPR). Academic Press doi.10. 1006/rwgn. 1636. pp. 1- 4
- BABANA A. and ANTOUN H., 2003. Effect of Tilemsi phosphate rock-solubilizing microorganisms on phosphorus uptake and yield of field-grown wheat (*Triticum aestivum* L) in Mali. Plant and soil 0:1-8.
- BAKKER A. W., SCHIPPERS B., 1987. Microbial cyanide production in the rhizosphere in relation to potato yield reduction and *Pseudomonas* spp-mediated plant growth-stimulation. Soil Biol. Biochem. 19 (4): 451-457.
- BANIK S., DEY B., 1981. Phosphate solubilizing microorganisms of a lateritic soil: III. Effect of inoculation of some tricalcium phosphate solubilizing microorganisms on available phosphorus content of rhizosphere soils of rice (*Oryza sativa* L. cv IR20) plants and their uptake of phosphorus. Zentralblatt. Pur Bakteriologie. 136, 493-501.
- BOJINOVA D., VELKOVA R., GRANCHAROV I. and ZHELEV S., 1997. The bioconversion of Tunisian phosphate using *Aspergillus niger*. Nat. Cyc. Agroecosys., 47: 227-232.
- BRIC J. M., BOSTOCK R. M. and SILVERSTONE S. E., 1991. Rapid *in situ* assay for indolacetic production by bacteria immobilized on nitrocellulose membrane. Appl. Environ. Microbiol. P. 535 – 538.
- CHABOT R., ANTOUN H. and CESCAS M. P., 1996. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*. Plant and Soil 184, 311-321.
- DOMMERGUES Y., DUHOUX E. and DIEM H. G., 1999. Etablissement et fonctionnement des symbioses rhizobiennes. Dans les Editions espaces 34, les arbres fixateurs d'azote : caractéristiques fondamentales et rôle dans l'aménagement des écosystèmes méditerranéens et tropicaux avec référence particulière aux zones subhumides et arides, pp. 1-31.

- DASA.C., 1989. Utilization of insoluble phosphate by soil fungi. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 58, 1208-1211.
- DEFREITAS J.R., BANERJEE N.R., and GERMIDA J.J., 1997. Phosphate solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). *Biol. Fertil. Soils* 24, 358-364.
- GAUR A.C., 1990. Phosphorus solubilizing microorganisms as biofertilizers. New Delhi, Omega Scientific Publ. pp. 176.
- GERRETSON F.C., 1948. The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. *Plant and Soil* 1: 51-81.
- GRAY E. J. and SMITH D. L., 2005. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signalling processes. *Soil Biol. Biochem.* 37:395-412
- HAQUE N.A. and DAVE, 2005. Ecology of phosphate solubilizers in semi-arid agricultural soils. *Indian J. Microbiol.* 45: 27-32
- HALDERAK, MISHRAAK., BHATTACHARYYA P. and CHAKRABARTTY P.K., 1990a. Solubilization of rock phosphate by rhizobium. *Indian J. Microbiol. Meth.* 8. 30. 311- 314.
- HE Z.L., BIAN W. & ZHU J., 2002. Screening and identification of microorganisms capable of utilizing of absorbed by goethic. *Com. Soil Sci. Plant Anal.*, 33: 647 – 663.
- EL-KOMY H. M. A., 2005. Co-immobilisation of *Azospirillum lipoferum* and *Bacillus megaterium* for successful Phosphorus and nitrogen Nutrition of Wheat Plants. *Food technol. Biotechnol.* 43 (1) p. 19-27.
- IIIMER P. and SCHINNER F., 1995. Solubilization of inorganic calcium Phosphate-solubilization mechanisms. *Soil. Biol. Biochem.* 27, 257-263.
- IIIMER P., BARBATO. A. and SCHINNER, 1995. Solubilization of hardly soluble $AlPO_4$, with P-solubilizing microorganisms. *Soil Biol. Biochem.* 27, 265-270.
- JAMESON P., 2000. Cytokanins and auxins in plant pathogen inter-action, an overview plant growth regulation. 32: 369-380.
- JOHRI J. K., SURANGE S. and NAUTIYAL C.S., 1999. Occurrence of salt, pH, and temperature-tolerant, phosphate solubilizing bacteria in alkaline soils. *Current Microbiology.* 39: 89 - 93.
- JONES D., SMITH B.F.L., WILSON M.J. and GOODMAN B.A., 1991. Phosphate solubilizing fungi in a Scottish upland soil. *Mycol. Res.* 95. 1090 – 1903.
- KLOPPER J. W., R. RODRIGUEZ-UBANA, G. W., ZEHNDER, J. F. MURPHY, E. SIKORA, and C. FERNANDEZ, 1999. Plant root-bacterial interactions in biological control of soilborne diseases and potential extension to systemic and foliar diseases. *Austral. Plant Pathol.* 28:21-26. http://aem.asm.org/cgi/external_ref?access_num=10.1071%2FAP99003&link_type=DOI
- KUCCEY R.M.N., JANZEN H.H. and LEGGETT M.E., 1989. Microbially mediated increases in plant – available phosphorus. *Adv. Agron.*, 42 : 199 – 228.
- MALLAIAH K.V., SRIDEVI M., 2007. Phosphate solubilization by rhizobium strains. *Indian J. Microbiol* 49: 98-102
- MILAGRES A. M. F., MACHUCA A. and NAPOLEAO D., 1999. Detection of siderophore production from several fungi and bacteria by a modification of chrome azurol S (CAS) agar plate assay. *Journal of Microbiological Methods.* 37: 1-6.
- NAUTIYAL C. S., 1999. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiol. Lett.* 170: 265 - 270.
- PATTEN C.L. and GLICK BR., 2002. Role of *Pseudomonas putida* indole acetic acide in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology.* 68: 3795-3801.
- PERSELLO-CARTIEUX F., NUSSAUME L. and ROBAGLIA C., 2003. Tales from the underground molecular plant-rhizobacteria interactions. *Plant cell and Environment*, 26: 189-199.
- PIKOVSKAYA R. I., 1948. Mobilization of phosphates in soil in connection with the vital activities of some microbial species. *Mikrobiologia.* 17: 362 - 370.
- RODRIGUEZ H. and FRAGAR., 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotech. Adv.* 17, 319-339.
- RODRIGUEZ D., POMAR M. C. and GOUDRIAAN J., 1998. Leaf primordia initiation, leaf emergence and tillering in

- wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under low-phosphorus conditions. Plant and Soil. 202 : 149 – 157.
- SCHWYN B. and NEILANDS B. J., 1987. Universal Chemical Assay for the detection and determination of siderophores. Analytical Biochemistry. 160: 47-56.
- SESHADRI S., MUTHUKUMARASAMY R., LASKSHMINARASIMHAN C. and IGNACIMUTHU, 2000. Solubilization of inorganic phosphates by *Azospirillum halopraeferans*. Scientific correspondence. (Current Science, vol. 79, N°5, 10 September 2000)
- SINGAL R., GUPTA R., KUHAD R.C. and SAXENA R.K., 1991. Solubilization of inorganic phosphates by a Basidiomycetous fungus *Cuathus*. Indian J. Microbiol. 31, 397-401.
- SPERBER J.J., 1958. The incidence of apatite dissolving organisms producing organic acids. Aust. J. Agric. Res. 9, 778-781.
- TAIZ L. and Zeiger E., 1991. Auxins growth and tropisms, In E. Zeir (Ed). Plant pathology pp. 398-425. Benjamin/cummings: Hard cover.
- TANDON H. L. S., CESCAS M. P. and TYNER E. H., 1968. An acid-free vanadate-molybdate reagent for the determination of total phosphorus in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32: 48-51.
- VESSEY J. K., HEISINGER K. G., 2001. Effect of *Penicillium bilaii* inoculation and phosphorus fertilization on root and shoot parameters of field-grown pea. Can. J. Plant Sci. 81: 361-366.
- WATANABE F.S. and OLSEN S.R., 1965. Test of an Ascorbic Acid Method for Determining phosphorus in water and NaHCO_3 Extracts from soil. Sci. Soc. Proc. 29: 677-678.
- WHITELAW M.A., 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. Adv. Agron. 69: 99-151.
- YAMADA T., 1993. The role of auxin in plant disease development. Annual Review of phytopathology, 31: 253-273.
- ZAIDI A., KHAM M.S. and AMIL M.D., 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Euro. J. Agrono. 19, 15-21.