

BURKINA FASO
Unité – Progrès – Justice

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET
SUPERIEUR

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

en vue de l'obtention du

DIPLOME DE MASTER EN GESTION INTEGREE DE LA FERTILITE DES SOLS

THEME

**Effet de la fertilisation par microdose sur la productivité de
deux variétés de Sésame (*Sesamum indicum L.*), la variation
des teneurs et les bilans partiels des nutriments**

Présenté par *HOUSSEINI MALAM LAMINOU Rabi*

Maître de stage : Dr Saidou **ADDAM KIARI**

Directeur de mémoire : Pr Hassan Bismarck **NACRO**

N°: 00-2013/MASTER GIFS

Février 2013

Table des matières

| | |
|---|------|
| DEDICACE | iv |
| AVANT PROPOS | v |
| REMERCIEMENTS | vii |
| LISTE DES TABLEAUX | viii |
| LISTE DES FIGURES | ix |
| SIGLES ET ABREVIATIONS | x |
| RESUME | xi |
| Introduction | 1 |
| Chapitre I: présentation de la zone d'étude | 3 |
| 1.1. Le département de Kollo | 3 |
| Chapitre II: généralités sur la culture du sésame et la microdose | 7 |
| 2.1. La culture du sésame | 7 |
| 2.1.1. Origine | 7 |
| 2.1.2. Production | 7 |
| 2.1.3. Classification et description botanique | 8 |
| 2.1.4. Ecologie | 8 |
| 2.1.5. Techniques culturales du sésame | 9 |
| 2.1.6. Intérêts liés à la culture du sésame | 12 |
| 2.2. La microdose | 15 |
| Chapitre III: Matériel et Méthodes | 17 |
| 3.1. Matériel | 17 |
| 3.1.2. Matériel végétal | 18 |
| 3.2. Méthode | 19 |
| 3.2.1. Dispositif expérimental | 19 |
| 3.3. Analyses au laboratoire | 23 |

| | |
|--|----|
| 3.4. Analyse des données..... | 25 |
| Chapitre IV: Résultats/discussions..... | 26 |
| 4.1. Effet de la microdose sur la performance du Sésame..... | 26 |
| 4.1.1. Résultats..... | 26 |
| 4.1.1.1. Effet variétal sur les paramètres de croissance et de rendement et sur le rendement grains..... | 26 |
| -Effet sur la hauteur des plants..... | 26 |
| 4.1.1.2. Effet des niveaux de dose de NPK sur les paramètres de croissance et de rendement et sur le rendement grains..... | 28 |
| 4.1.1.3. Interaction des variétés et des niveaux de dose de NPK sur les paramètres de croissance et de rendement et sur le rendement grains..... | 30 |
| 4.1.2. Analyse de corrélation..... | 34 |
| 4.1.3. Discussion..... | 35 |
| 4.2. Effets de la microdose sur le sol sous culture de sésame..... | 36 |
| 4.2.1. Résultats..... | 36 |
| 4.2.1.1. Paramètres physiques et biologiques du sol après culture..... | 36 |
| 4.2.1.2. Variation des teneurs en éléments nutritifs..... | 38 |
| 4.2.2. Discussion..... | 40 |
| 4.3. Effet de la microdose sur les éléments nutritifs exportés..... | 41 |
| Conclusion et perspectives..... | 44 |
| Références bibliographiques..... | 45 |
| Annexes..... | 51 |

DEDICACE

Je dédie ce document

A mon père Housseini Malam Laminou et à ma mère Aissa Chaibou qui ne se lassent pas de me soutenir et de m'encourager,

A mes frères et sœurs pour leur amour,

A mon époux pour m'avoir comprise,

A ma nièce Nawel et à mon neveu Abdelmadjid.

AVANT PROPOS

Ce mémoire de master est le résultat de six mois de travail réalisé au département Gestion des Ressources Naturelles (DGRN) de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN). Il a été co-encadré par le Dr Saidou ADAM KIARI et le Pr Hassan Bismarck NACRO.

L'INRAN a été créé en 1975 comme établissement public à caractère administratif (ordonnance n°75-001 du 07 janvier 1975) pour remplacer les organismes français (IRAT, IRFA, AFFT, etc.). Il est devenu établissement public à caractère scientifique, culturel et technique (EPSCT) en 2010 (ordonnance n°2010-09 du 1^{er} avril 2010).

L'INRAN est le principal organisme de recherche du pays, absorbant les trois quarts de la capacité nationale et les deux tiers des investissements globaux en Recherche et Développement (R&D) agricole. Il est placé sous la tutelle du ministère de l'agriculture (ordonnance n°2011-015/PRN du 21 avril 2011). Sa mission principale consiste à favoriser la sécurité alimentaire et le développement rural par la recherche (Stads, Kabaley et Gandah 2004).

Les recherches sont assurées par cinq départements; département de recherche sur les cultures irriguées, département de recherche sur les cultures pluviales, département de recherche sur la gestion des ressources naturelles, département de recherche sur la production animale, département de recherche en économie rurale, la sociologie et le transfert de technologie. Ces activités prennent place dans quatre centres régionaux de recherche agricole situés à Niamey, à Kollo, à Maradi et à Tahoua.

Les missions qui lui sont attribués sont:

- La conception et l'exécution des programmes de recherches agronomiques dans tous les secteurs de développement rural;
- La coordination et la supervision de toutes les recherches agronomiques entreprises au Niger;
- La contribution à l'élaboration de la politique nationale dans le domaine de la recherche agronomique;
- La participation à la formation à la recherche et par la recherche;
- La contribution au développement de l'information scientifique et technique et à la diffusion des résultats et produits de la recherche.

Ce master a été financé par l'Alliance pour une révolution verte en Afrique, en anglais Alliance for a Green Revolution in Africa (AGRA), dans le cadre de son programme santé du sol. Nous tenons à remercier AGRA pour la bourse et l'allocation de recherche dont nous avons bénéficié.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier toutes les personnes qui nous ont apportés leur soutien moral, leur aide financière, leur appui scientifique ou technique. Puisse Allah le tout puissant leur accorder sa bénédiction. Dans l'impossibilité de les citer toutes nommément, qu'il me soit permis au moins d'exprimer ma profonde gratitude aux personnes ci-après:

- **Dr Saidou ADDAM KIARI**, Chercheur à l'INRAN/chef de Département Gestion des Ressources Naturelles, qui malgré ses multiples Occupations a accepté d'être notre maitre de stage et s'est investi pour la réalisation de ce travail;
- **Pr. Hassan Bismarck NACRO**, chercheur au centre régional AGRYMET, notre Directeur de mémoire, pour son suivi constant et l'intérêt qu'il a porté à notre étude;
- **Dr Aboubacar ICHAOU**, Directeur général de l'INRAN, qui nous a acceptés comme stagiaire au sein de son institution;
- **Monsieur Iro LAWALI**, pour ses conseils pratiques et ses multiples apports dans la conduite de l'essai et dans la collecte des données;
- **Dr Dan Lamso NOMAOU** et son technicien **Boubacar** pour nous avoir permis de mener des travaux d'analyse de sol au sein du laboratoire science du sol de la faculté d'agronomie de l'UAM;
- **Tout le personnel de l'INRAN, stagiaires y compris**, pour leurs soutiens multifformes;
- **Tous les camarades** de la promotion en particulier Harouna Karimou, Mati Idrissa et Togo SARA;
- **Tous les manœuvres** du CERRA de Kollo;
- **Toute ma famille**, pour les encouragements pendant ce stage;
- **Mon époux, Mr Boubacar Djibo BOUKAR** pour sa bonne compréhension et ses encouragements.

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau I: Résultats d'analyse du sol (0-30 cm)..... | 17 |
| Tableau III: Effet de la variété sur les paramètres de rendement..... | 27 |
| Tableau IV: Effet des doses sur les paramètres de rendement..... | 29 |
| Tableau V: Analyse de corrélation..... | 34 |
| Tableau VI: Paramètres chimiques et biologiques du sol après culture..... | 37 |
| Tableau VII: variation des teneurs en éléments chimiques et biologiques du sol..... | 39 |
| Tableau VIII: Bilan partiel des éléments nutritifs par les traitements..... | 42 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1: Présentation de la zone d'étude..... | 3 |
| Figure 2: Variation de la pluviosité des dix dernières années à Kollo | 4 |
| Figure 3: Répartition des cumuls mensuels des hauteurs de pluie à Kollo (2012) | 18 |
| Figure 4: dispositif expérimental de l'essai | 20 |
| Figure 5: Effet de la variété sur la hauteur des plants | 26 |
| Figure 6: Effet de la variété sur le rendement grains..... | 27 |
| Figure 7: Effet des niveaux de doses sur la hauteur des plants..... | 28 |
| Figure 8: Effet des niveaux de doses sur le rendement grains | 30 |
| Figure 9: Effet des doses NPK sur la hauteur des plants en fonction des variétés | 30 |
| Figure 10: Effet des doses NPK sur la longueur des capsules en fonction des variétés..... | 31 |
| Figure 11: Effet des doses NPK sur le nombre de capsules par tige principale en fonction des variétés..... | 32 |
| Figure 12: Effet des NPK sur le nombre de graines par capsules en fonction des variétés..... | 32 |
| Figure 13: Effet des doses NPK sur le poids de mille graines en fonction des variétés | 33 |
| Figure 14: Effet des doses de NPK sur le rendement grains en fonction des variétés | 33 |
| Figure 15: Relation entre l'azote total et le carbone organique | 37 |

SIGLES ET ABREVIATIONS

AGRA: Alliance for a Green Revolution in Africa

AGRYMET: Centre Régional de Formation et d'Application en Agro météorologie et Hydrologie Opérationnelle

APGIII: Angiosperm phylogeny Group III

CERRA: Centre Régional de la Recherche Agronomique

CIRAD: Centre de coopération international de recherche agronomique pour le développement

DGRN: Département Gestion des Ressources Naturelle

EPSCT: Etablissement Public à Caractère Scientifique et Culturel et technologique

FAO: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

ICRISAT: Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-arides

IDR: Institut de Développement Rural

IIRHB: Institut International de Recherche en Héméopathie et en Biothérapie

INRAN: Institut National de la Recherche Agronomique du Niger

REGAC: Recensement Général de l'Agriculture et du Cheptel

UAM: Université Abdou Moumouni

UPB: Université Polytechnique de Bobo Dioulasso

VSN: Variété Sésame Niger

RESUME

Le sésame (*Sesamum indicum L.*), est une plante oléagineuse cultivée au Niger sur les sols sableux pauvres en éléments nutritifs. Afin d'améliorer la productivité de cette culture, un essai a été conduit en 2012 à la station de recherche de N'Dounga dans le département de Kollo au Niger. L'objectif principal de la présente étude est d'étudier l'effet de la microdose sur le rendement du sésame.

Un dispositif factoriel avec deux facteurs a été utilisé: 1) la variété avec deux niveaux (variété améliorée et variété locale) et 2) l'engrais NPK avec quatre niveaux (0g, 0,5g, 1g et 1,5g.poquet⁻¹). Les composantes de rendement, la hauteur des plants, l'exportation des éléments nutritifs et les paramètres chimiques et biologiques du sol ont été déterminés.

Les rendements et les hauteurs des plants obtenus avec l'apport de fertilisants par microdose ont baissé. La dose M0 a enregistré la plus grande hauteur et le rendement le plus élevé avec 155 cm et 1903 kg.ha⁻¹ respectivement.

Excepté le phosphore assimilable, le pHeau et la biomasse microbienne, les caractéristiques chimiques testées du sol ont augmenté. Les teneurs en éléments nutritifs du sol ont augmenté de 3,9 mg/kg à 15,6 mg/kg pour le potassium assimilable, de 0,1 g/kg à 0,6 g/kg pour l'azote total et de 0,25 g/kg à 6,2 g/kg pour le carbone organique.

L'étude montre que la microdose a induit des augmentations sur les paramètres de rendement. La dose M3 a enregistré le plus grand nombre de graines par capsule avec 56 suivis de la dose M1 avec 49 et le témoin M0 avec 48. Toutefois, cette performance de la technique de la microdose dans l'amélioration des paramètres de rendement s'accompagne d'un bilan partiel négatif.

Mots clés: Sol sableux, Sésame, microdose, productivité, bilan de nutriments , Niger.

SUMMARY

Sesame (*Sésamum L. indicum*), is an oleaginous plant cultivated in Niger on sandy soils poor in nourishing elements. In order to improve the productivity of this culture, a test has been driven in 2012 to the station of research of N'Dounga in the department of Kollo in Niger. The main objective of the present survey is to study the effect of the microdose on the output of the sesame.

A factorial device with two factors has been used: 1) the variety with two levels (improved variety and local variety) and 2) the NPK manure with four levels (0g, 0,5g, 1g and 1,5g.poquet-1). The components of output, the height of the plantations, the export of the nourishing elements and the chemical and biologic parameters of soil have been determined.

The outputs and the heights of the plantations gotten with the contribution of fertilizing by microdose lowered. The M0 dose recorded the biggest height and the most elevated output respectively with 155 cm and 1903 kg.ha-1.

Except the assimilated phosphor, the pHeau and the microbial biomass, the chemical features tested of soil increased. The contents in elements nourishing of 3,9 mg/kg increased soil to 15,6 mg/kg for the assimilated potassium, of 0,1 g/kg to 0,6 g/kg for the total nitrogen and 0,25 g/kg to 6,2 g/kg for the organic carbon.

The survey shows that the microdose led some increases on the parameters of output. The M3 dose recorded the biggest number of seeds by capsule with 56 follow-ups of the M1 dose with 49 and witness M0 with 48. However, this performance of the technique of the microdose in the improvement of the output parameters comes with a negative partial balance.

Key words: Sandy soil, Sesame, microdose, productivity, balance of nutriments, Niger.

Introduction

Le sésame (*Sesamum indicum*) est cultivé dans presque tous les pays tropicaux et subtropicaux de l'Asie et d'Afrique pour ses graines très nutritives et comestibles (Iwo *et al.*, 2002).

La production mondiale de sésame est estimée à plus de trois millions de tonnes dont 75% sont produits par l'Inde, le Soudan, le Mexique, l'Ouganda et la Chine (Laurentin, 2007).

La production du Niger n'est pas négligeable, elle a été estimée en 2007 à 7491 tonnes pour une superficie de 23194 ha soit un rendement moyen de 323 Kg.ha⁻¹ (RGAC, 2008).

Au Niger, le sésame a été longtemps considéré comme une culture secondaire toujours reléguée sur les sols pauvres. Les conditions de sa culture ne lui permettent pas de donner de bons rendements.

En général, les sols du Niger ont un niveau de fertilité bas et sont très variable dans et entre les champs (Manu *et al.*, 1991). Ces sols généralement sablonneux présentent des faibles teneurs en matière organique et en phosphore, une baisse continue de la fertilité, une tendance à l'acidification, une faible capacité de rétention en eau et une forte sensibilité à l'érosion hydrique et éolienne.

C'est ainsi qu'il est admis que l'amélioration de la production agricole doit nécessairement passer par une amélioration de la fertilité des sols (Bationo *et al.*, 2003). Dans le contexte nigérien où les amendements organiques nécessaires pour améliorer les rendements restent encore insuffisants, l'application judicieuse des engrais minéraux est le moyen le plus efficace pour améliorer les rendements (Bationo *et al.*, 2003).

Cependant, une des contraintes majeures limitant l'utilisation des engrais minéraux est leur coût élevé (KABRAH *et al.*, 1996), ce qui devient également une véritable contrainte à l'amélioration de la production agricole. C'est dans ce contexte que la technologie de la microdose a été développée et largement diffusée en milieu paysan.

La culture du sésame connaît depuis quelques années un regain d'intérêt à la faveur de la reprise des cours mondiaux et d'une demande de plus en plus croissante. Les graines de sésame peuvent être mangées comme telle, ou ajoutées à la confiserie et en pâtisserie. L'huile est également utilisée en industrie dans la préparation de savons, de parfum ou comme huile comestible (Khan *et al.*, 2001). Outre ces différents avantages pour l'alimentation humaine, la

plante présentes d'autres attributs agricoles: elle pousse bien sous les climats tropicaux et subtropicaux, peut être cultivée sur des réserves résiduelles en eau du sol sans pluie ou avec une irrigation minimale, et peut aussi se cultiver en association avec d'autres cultures (Ashri, 2007). Le sésame peut donner des rendements élevés sous des températures élevées et ses graines ont une grande valeur marchande. En effet le prix de la tonne en grains de sésame fluctue entre 269 £ en moyenne en Afrique de l'ouest (Mali, Niger, Gambie) à plus de 6697 £ en république de Corée (FAO, 2011).

Malgré ces avantages qu'offre la culture du sésame, les rendements obtenus par les producteurs nigériens restent faibles. Le faible niveau de rendement peut être attribué à une combinaison de plusieurs facteurs parmi lesquels la faible fertilité des sols. Il est donc possible, avec une option de fertilisation à la portée des producteurs, d'améliorer les rendements. C'est dans ce cadre que se situe la présente étude dont l'objectif général est d'améliorer le niveau de la production agricole et les revenus des ménages.

Plus spécifiquement, il s'agira:

1. d'évaluer les effets de microdose sur les paramètres de rendement et de croissance ;
2. d'évaluer les effets de microdose sur les paramètres chimiques et biologiques du sol;
3. d'établir le bilan nutritif partiel.

Pour atteindre les objectifs, les hypothèses suivantes seront testées:

1. La microdose constitue une source importante de fertilisants pour élever la productivité du sésame.
2. la microdose stimule le prélèvement des éléments nutritifs se trouvant initialement dans le sol par la plante.

Le présent mémoire s'articule sur quatre chapitres. Le premier chapitre fera une présentation de la zone d'étude, le deuxième chapitre donnera les généralités sur la culture du sésame, le troisième chapitre comportera le Matériel et les Méthodes et le quatrième chapitre traitera des Résultats et Discussions.

Chapitre I: présentation de la zone d'étude

1.1. Le département de Kollo

1.1.1. Localisation

D'une superficie de 9804 km², le département de Kollo est situé dans la région de Tillabéry. Il est compris entre 12°30' et 13°53' de latitude Nord et 1°30' et 2°55' de longitude Est et est limité au nord par le département de Ouallam, Fillingué et Tillabéry ; au sud par le département de Say; à l'Est par le département de Boboye et à l'Ouest par le département de Téra.

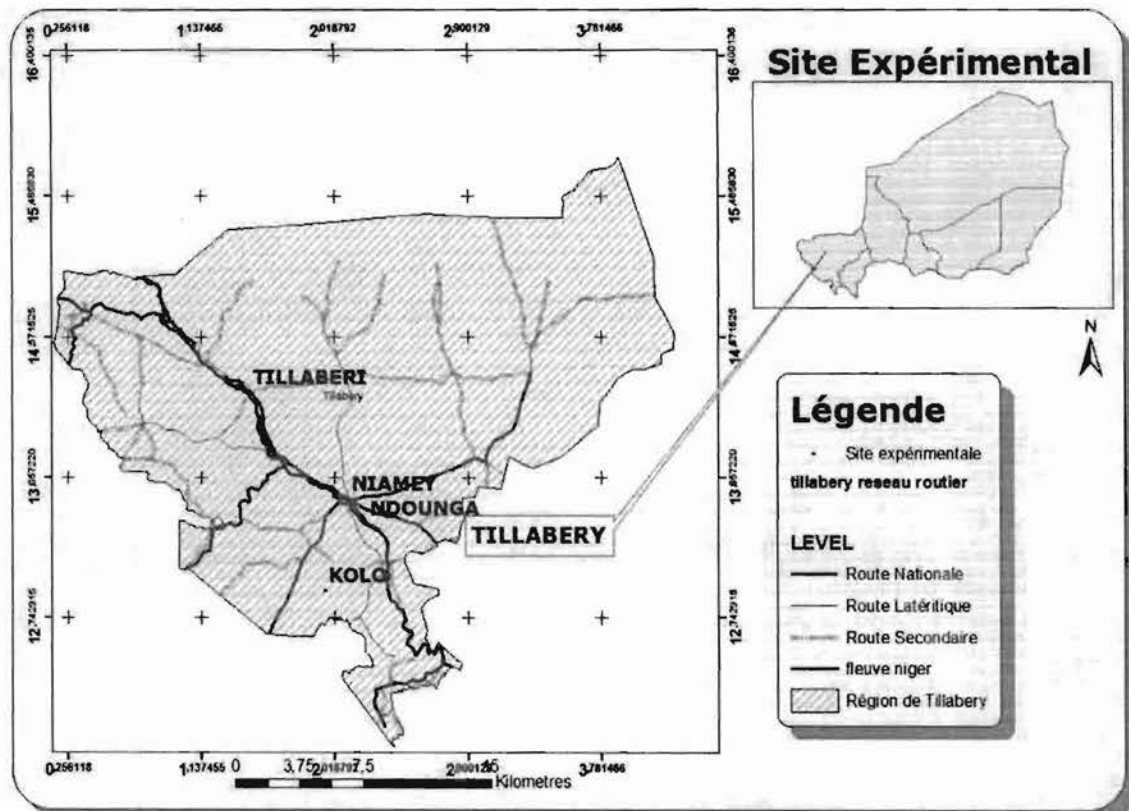


Figure 1: Présentation de la zone d'étude

1.1.2. Conditions Agro-climatiques

Températures: Les températures sont variables selon les périodes de l'année. Les plus basses sont enregistrées entre octobre et février (23°C) et les plus élevées entre mars et juin (45°C).

Pluies: Le climat de la zone d'étude est de type sahélien, caractérisé par deux saisons distinctes: une saison de pluie allant de juin à octobre et une saison sèche le reste de l'année. Le département de Kollo est situé entre les isohyètes 300 et 600mm. La saison de pluie s'installe sur une période de trois à cinq mois selon les années. Le régime pluviométrique est caractérisé par des pluies de battances ou des orages au cours desquels d'importantes quantités d'eau peuvent être enregistrées en peu de temps.

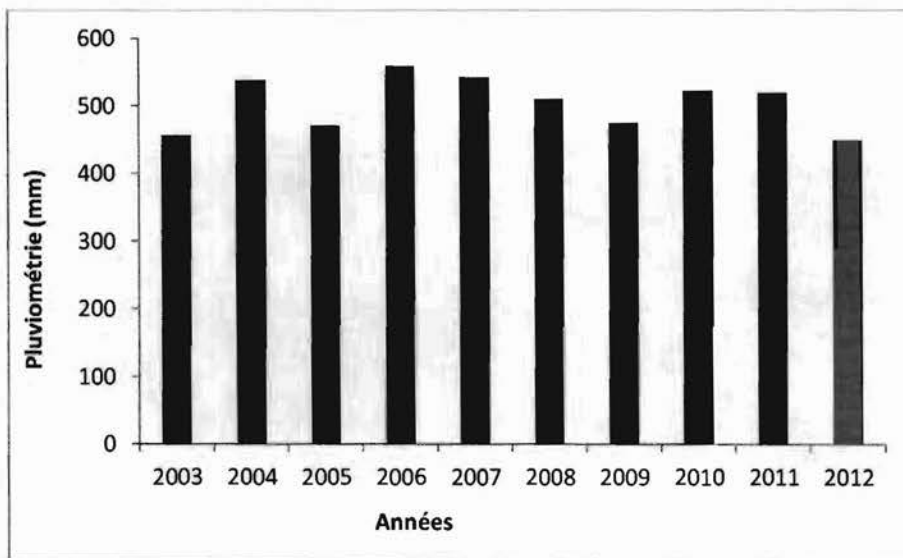


Figure 2: Variation de la pluviosité des dix dernières années à Kollo
(Source: CERRA de Kollo)

Vent: les vents dominants dans le département de Kollo sont:

- l' harmattan, vent chaud et sec, soufflant du Nord-Est au Sud-Ouest pendant toute la saison sèche;
- la mousson venant du sud-ouest apportant des masses d'air humides au cours de la saison des pluies.

1.1.3. Relief: il est constitué de:

-La vallée du fleuve, situé au sud du département. Formée des cuvettes et bas-fonds, cette vallée est menacée d'ensablement;

-La vallée du Fakara au sud-est du département.

En outre, on note la présence des plaines et des plateaux surplombés par la vallée du Dallol Bosso (Direction de l'agriculture de Kollo, 2012).

1.1.4. Hydrographie: le réseau hydrographique est marqué par la présence du fleuve Niger qui traverse le département sur environ 137km. Ce dernier représente l'une des plus importantes richesses puisqu'il est le siège de diverses activités agricoles (riziculture, maraichage ...etc.) et la pêche.

1.1.5. Sols: les sols rencontrés se rapportent à trois types:

-les sols hydromorphes et les vertisols localisés dans la vallée (vallée du fleuve notamment). Le potentiel de fertilité se trouve essentiellement sur ces sols. Les populations y pratiquent la culture du riz, du sorgho, des légumes et des fruits;

-les sols dunaires, ferrugineux lessivés occupant la majeure partie du département; ils conviennent mieux aux cultures du mil, du niébé et du sésame;

-Les sols de plateau, de types latéritiques et dits ferrugineux tropicaux, contenant très peu de matières organiques. Ces sols sont peu profonds mais aussi peu favorables à l'agriculture.

1.1.6. Végétation: elle est marquée par des parcs agrofrestiers ponctués et de faciès souvent dégradés de brousses tigrées sur les plateaux versants et certaines terrasses avec dominance de combrétacées. Ces parcs agrofrestiers très variables se caractérisent par: une strate arborée (*Hyphaena thebaica*, *Borassus aethiopum*, *Acacia albida*, *Balanites aegyptiaca*, *Pilostigma*), une strate arbustive (*Guiera senegalensis*) et une strate herbacées.

1.1.7. Conditions socio-économiques

La population se compose essentiellement des ethnies djerma et peulh. Leurs principales activités sont l'agriculture et l'élevage.

Agriculture: elle constitue la principale activité économique du département et occupe plus de 90% de la population active. Le mil et le sorgho constituent les principales cultures vivrières, elles sont suivies du riz et du maïs. Les autres cultures sont le niébé qui occupe le premier rang des cultures de rente secondé de l'arachide; le gombo et le sésame sont très peu

pratiqués. On peut noter un développement assez important de cultures fruitières dans les bas fonds et la vallée du fleuve.

Elevage: c'est la seconde activité du département. Plusieurs espèces animales sont élevées: bovins, ovins; caprins, équins, azins et volaille. Il constitue une source importante de revenu pour les populations et son rôle est déterminant dans l'ajustement de celui-ci en année de crise alimentaire.

Néanmoins, il existe d'autres activités non moins importantes pratiquées par la population comme l'artisanat, le commerce, etc.

Chapitre II: généralités sur la culture du sésame et la microdose

2.1. La culture du sésame

2.1.1. Origine

L'origine du sésame varie selon les auteurs. Pour Weiss (1971), Purseglove (1979), Bezpaly (1984), Amoukou (1995), Amoukou *et al.* (2001), le sésame serait originaire d'Afrique et principalement d'Afrique australe car de nombreuses formes sauvages s'y trouveraient encore. Par contre, d'autres auteurs pensent plutôt que le sésame serait originaire d'Asie (anonyme, 1993) et plus précisément de l'Inde (Reddy et Pati, 1995).

2.1.2. Production

La production du sésame est en forte augmentation depuis 1994 (CIRAD, 1999). Plus de sept million d'hectare sont annuellement cultivé dans le monde pour une production de près de 4 millions de tonnes (FAO, 2011). En effet, entre 1997 et 2007, le volume de production a augmenté de 39%, passant de 2600 à 3600 milliers de tonnes (FAO, 2009). La surface cultivée a augmenté de 19 % dans ce même intervalle de temps ; le rendement a été amélioré. Le rendement mondial moyen était de 400 kg.ha⁻¹ en 1997, il est égal à 464 kg.ha⁻¹ en 2007, soit une augmentation de 16 %.

Plante des pays tropicaux et subtropicaux, le sésame est cultivé de manière significative dans plus de 60 pays, mais la majorité de la production est asiatique (61 % des surfaces et 70 % de la production) (FAO, 2009). L'Inde est le premier producteur avec une production de 64.10⁴ T (FAO, 2011). Elle est suivie par le Myanmar (62.10⁴T) et la chine (58.10⁴T) (FAO, 2011).

L'Afrique augmentant significativement sa production depuis 1995 est passée au deuxième rang mondial (25%). Le sésame est cultivé dans 23 pays avec le Soudan, l'Ouganda et le Nigeria comme plus gros producteurs. L'Afrique de l'Ouest dont la production ne dépasse pas 12000T a une production en hausse et est très dynamique à l'exportation (Cirad, 1999).

2.1.3. Classification et description botanique

Selon la classification phylogénétique *Angiosperm phylogeny Group III* (APG III), le genre *Sesamum* appartient à la classe des dicotylédones vraies ou Eudicotylédones, à l'ordre des Lamiales, à la famille des Pédaliaceae et à la tribu des Sésamées (Stevens, 2011). Il contient 36 espèces dont l'espèce *Sesamum indicum* est celle cultivée.

Sesamum indicum .L. est une plante annuelle dont la tige à section carrée peut atteindre 0,60 à 2m. Les racines pivotantes, munies de peu de radicelle, pénètrent jusqu'à un mètre dans le sol. Les feuilles sont de forme variables, et un même plant présente normalement des feuilles de type différent. Les fleurs, de couleur blanche ou souvent légèrement violacée ou lie de vin (violet foncée), se forment à l'aisselle des feuilles sessiles. Le fruit est une capsule allongée, de section carrée, à 4,6 ou 8 loges; contenant une soixantaine de petites graines oléagineuses.



Photo 1: un rameau de sésame au stade fructification

2.1.4. Ecologie

Le sésame est une plante tropicale qui est surtout exigeante en température. Une température moyenne de 20°C sans chutes brutales constitue l'optimum. Une pluviosité de 250 à 600 mm est suffisante pendant le cycle végétatif qui est court: semis-floraison (30-40 jours). Une fois que la culture est installée, elle peut tolérer des courtes périodes de sécheresse

mais ne supporte pas l'inondation. Au stade jeune le sésame est très sensible aux mauvaises herbes. (Amoukou, 1995).

Le sésame peut être cultivé sur une grande diversité de sols (sableux, sableux-limoneux, argileux, etc.). Il est indifférent aux précédents culturaux. Cependant il préfère des sols légers profonds bien drainés, aérés et peu acides (pH 5,5-7).

2.1.5. Techniques culturales du sésame

2.1.5.1. Préparation du sol

Dans les régions à pluviosité moyenne, comme c'est le cas au Sahel la culture se fait à plat sur des terrains bien préparés. La taille des graines et la fragilité de la plantule rendent nécessaire la réalisation soigneuse du lit de semence ainsi que la mise en place d'une protection du champ contre les inondations temporaires et le ruissellement qui pourraient détruire les plantules.

2.1.5.2. Semis

Pour une bonne germination et une bonne implantation des plantes, il faut des semences de qualité. Le sésame est traditionnellement semé dans les conditions d'une culture pluviale, après toutes les autres cultures, à des dates différentes selon les zones.

Ainsi, dans la zone soudanienne, où les variétés tardives sont semées, il est conseillé de semer en août, afin que la floraison puisse avoir lieu à la fin de la saison des pluies, la fructification au début de la saison sèche.

Dans la zone sahélienne, quelle que soit la variété, il est recommandé de semer entre le 15 juin et le 5 juillet au plus tard pour obtenir les meilleurs rendements (Schilling et Cattan, 1991). Ces périodes de semis doivent être respectées car les retards affectent fortement le potentiel de production des plantes (Schilling et Cattan, 1991) et entraînent une baisse de rendement dans tous les environnements. Chaque semaine de retard après la date optimale de semis entraîne une baisse de rendement de 15% (Kassam, 1976).

La densité optimale de semis varie selon les variétés, le niveau de fertilité du sol et les conditions de cultures.

Au Niger, les écartements entre les lignes et entre les poquets sont très variables selon qu'on est en culture pure ou en association (Amoukou, 1995). En culture pure, les écartements

entre les lignes et les poquets sont de 0,2 m sur 0,2 m à 1 m sur 1 m maximum, correspondant respectivement à des densités de 250.000 poquets.ha⁻¹ à 10.000 poquets.ha⁻¹. En association, les lignes de semis se croisent avec celles du mil ou du sorgho. Les écartements varient de 1m x 1m à 1m x 2,5-3 m soit 10.000 poquets et 4000-3000 poquets. ha⁻¹.

Pour semer le sésame, on mélange habituellement les graines avec du sable pour diminuer le nombre de graine à mettre en terre. Avec le mode de semis en poquet utilisé au Niger, malgré l'utilisation du sable, on peut compter en moyenne entre 20 à 30 plantules par poquet à la levée. Ce qui nécessite un démariage au moment du sarclage.

2.1.5.3. Le sarclage

Le sarclage est une opération culturale qui permet d'une part, de détruire les adventices qui font concurrence à la plante et d'autre part, de casser la croûte de sol permettant ainsi une meilleure infiltration de l'eau tout en limitant l'évaporation de la surface du sol. Compte tenu de la grande sensibilité du sésame aux adventices, le premier sarclage doit se faire le plus tôt possible soit à 8- 10 jours après émergence des plantules. On profitera pour ressemer les poquets manquants. Cela évitera une densité trop faible, un décalage végétatif important et permettra d'obtenir un meilleur rendement. Le deuxième à une quinzaine de jours après le premier. Le Sarclo-binages doit être suivi d'un buttage qui permet de lutter contre la verse, tout en facilitant l'absorption d'engrais. En milieu paysan, le matériel généralement utilisé est la hilaire.

2.1.5.4. Démariage et repiquage

Le démariage a pour but de diminuer le nombre de pieds par poquet pour limiter la concurrence entre les plantes. Il se fait généralement au deuxième sarclage, soit 15 à 21 jours après la levée et de préférence après une pluie. Deux à trois pieds sont laissés par poquet. Certains paysans laissent jusqu'à 6 à 8 plants par poquet tandis que d'autres ne démarient même pas.

Le repiquage permettra de remplacer les poquets manquants. On démarie généralement à deux plants par poquets, mais le nombre dépend des variétés et des écartements choisis. Généralement il est conseillé de faire le repiquage le soir pour limiter l'évapotranspiration des plantules n'ayant pas encore un système racinaire bien développé pour puiser les réserves en eau du sol.

2.1.5.5. Fumure

La nutrition du sésame est restée très controversée pendant longtemps (Okpara *et al.*, 2007). Pendant que certains chercheurs soutiennent l'idée selon laquelle le sésame n'exige pas toute fertilisation, d'autres croient en cette dernière (Shehu *et al.*, 2003).

Il est vrai qu'il y a eu beaucoup de cas où le sésame a bien donné dans les champs avec une basse ou aucune fertilité, mais ces champs n'ont pas donné les mêmes résultats l'année suivante. En analysant l'histoire de ces champs, il a été trouvé que les plantes antérieures étaient peu profondes et il est supposé que les racines du sésame sont descendues et ont trouvé des éléments nutritifs qui avaient lessivé vers le bas du sol. (Langham, 2007)

D'après les travaux de Bezpaly (1984) le sésame réagit bien à l'application des engrais organiques et minéraux. Il faut apporter environ 10 T ha⁻¹ de fumier de ferme bien décomposé avant le dernier labour en vue d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (Reddy et Patty, 1995). Généralement les engrais les plus utilisés sont le SSP, l'urée et le NPK. Il est recommandé 50 kg de SSP.ha⁻¹ ou 100 kg.ha⁻¹ de NPK (15-15-15) comme engrais de fond et 25 kg d'urée comme engrais de couverture (Moukaïla, 1998) entre les lignes de semis au moment du premier sarclage.

De nombreuses études sur le sésame ont montré des augmentations du rendement considérables dû à l'application d'engrais. Rao *et al.* (1994) ont montré une augmentation du rendement de sésame grâce à l'application d'azote; en augmentant la quantité d'azote de 71 à 142 kg.ha⁻¹, la hauteur de la plante et celle des premières capsules, le nombre de capsules par plant, le poids des grains par plante, le rendement par ha de la graine ont été augmentés Fayed *et al.*, (2000). Par ailleurs Schilling et Cattan, (1991) ont eu des résultats semblables au Burkina par l'application d'azote, phosphore et soufre. Des résultats semblables ont été également obtenus en Inde par Subramanian *et al.* (1979), en appliquant l'azote et le potassium sur le sésame.

Au Niger la pratique de la fertilisation est très développée dans la région de Maradi où les sols sont sableux et pauvres en matières organiques. Environ 70 % des exploitants apportent de la fumure organique et seulement 20 % de la fumure minérale. La culture est faite le plus souvent sans apport d'engrais. Les variétés recommandées en Afrique de l'Ouest sont celles qui répondent bien à un bas niveau d'application de fertilisants (Amoukou, 1995).

2.1.5.6. Protection phytosanitaire

Schilling et Cattan (1991) ont observé que la précocité des semis permettait en partie de contrôler les attaques en décalant la période sensible de la plante (floraison) et le pic de développement des insectes et champignons.

A contrario, pour des semis tardifs, la floraison risque de coïncider avec les pullulations les plus dangereuses, difficilement contrôlables, à cette période, en raison des pluies importantes qui rendent les traitements inefficaces.

2.1.5.7. Récolte, séchage et battage

La maturité se manifeste d'abord par une défoliation importante et s'apprécie par un jaunissement des capsules mures. La récolte débute au moment où les capsules basales commencent à jaunir et à s'ouvrir. Les tiges sont traditionnellement coupées à la faucille ou au sécateur au ras du sol et sont réunies en bottes. Ces bottes sont placées verticalement sur une bâche ou une aire bien dégagée et balayée.

Le séchage peut durer environ 15 jours. Les capsules s'ouvrent sur les deux tiers de leur longueur sans se détacher, la position verticale des bottes empêchant la perte des graines. Le battage s'effectue en renversant et secouant les bottes sur des bâches ou sur des nattes. Moins de 10% de la récolte sont perdus de cette façon. Les graines sont mises dans des sacs pour leur conservation.

2.1.6. Intérêts liés à la culture du sésame

2.1.6.1. Qualités alimentaires et mode de consommation

Le sésame est connu depuis longtemps comme une culture destinée à la production d'huile. La graine de sésame contient une grande quantité d'huile ; le taux en huile varie généralement entre 46 et 52%. Elle est riche en protéine, en glucides et en éléments minéraux, comme le calcium et le phosphore.

Les usages du sésame dans la cuisine sont multiples. En Asie et en Égypte, le sésame est aussi bien utilisé comme céréale que comme oléagineuse ; les graines décortiquées peuvent être mangées en purée, comme épice ou en confiserie. En Afrique de l'Est, il est incorporé dans des soupes et porridges.

Les États-Unis et l'Europe eux la consomment comme garniture pour le pain, le hamburger, et de plus en plus en tant qu'huile.

Au Niger les grains sont surtout utilisés pour la préparation traditionnelle des biscuits et rarement l'extraction de l'huile. Il est aussi utilisé comme condiment dans les sauces (Amoukou, 1995).

2.1.6.2. Vertus thérapeutiques

Le sésame contient du sesamol, un antioxydant particulièrement efficace contre les polluants alimentaires et neutralisateur des radicaux libres. Le sesamol stimule le système digestif et certaines glandes endocrines, fluidifie le sang (IIRHB, 2002).

La graine renferme en abondance un composé phosphoré de haute valeur : la lécithine dont dépend le fonctionnement du cerveau et du système nerveux, des glandes endocrines, la fonction sexuelle et le métabolisme des graisses dans l'organisme. Les futures mamans, les nourrices peuvent l'utiliser pour déclencher ou augmenter la lactation et les convalescents pour accélérer leur remise sur pieds, les intellectuels pour une meilleure concentration et les sportifs pour une endurance accrue. Il favorise la détente neuromusculaire et prévient les anémies (IIRHB, 2002).

Un autre composé de haute valeur que contient la graine de sésame est la lignane. Les graines de sésame renferment des niveaux exceptionnels de lignanes, une classe de molécules ayant plusieurs activités biologiques et qui pourrait jouer un rôle important dans la prévention de certaines maladies chroniques comme le cancer et les maladies cardiovasculaires (Béliveau, 2008).

En massage sur le corps et par sa consommation régulière, l'huile de sésame a plusieurs propriétés curatives: antidépressive, tonifiante hépatique et rénale, antitussive, anti-infectieuse et antispasmodique. Elle est protectrice du système cardiovasculaire et peut être utilisée pour assaisonner les salades.

S'utilise comme émollient dans les irritations de la peau, les démangeaisons, dermatoses, peaux sèches, ainsi que pour le traitement des érythèmes, ceci en raison de ses qualités anti-inflammatoires. Elle possède des propriétés nourrissantes, adoucissantes et hydratantes et prévient le dessèchement de la peau.

Elle est adaptée aux soins de la peau des bébés, notamment pour dissoudre les croûtes de lait. C'est également un excellent démaquillant.

2.1.6.3. Intérêts agronomiques

L'association 1 plant de mil et 3 plants de sésame dans le même poquet, semble être efficace pour réduire une faible infestation du *Striga hermonthica*, car elle retarde l'apparition du parasite et diminue sa sévérité (Massaladji, 2002);

Le sésame a des besoins modestes en eau et en fumure (Purseglove, 1982). En effet la seconde moitié de son cycle peut se poursuivre en quasi-absence de pluie (Moukaïla, 1998) ;

2.1.6.4. Intérêts économiques

La production mondiale de sésame est en forte augmentation depuis 1994 ; elle avoisine les 2.5 à 2.8 millions de tonnes. Cet accroissement est surtout dû à une augmentation des surfaces, cultivées et non à une amélioration du rendement moyen, celui-ci dépassant rarement 400 kg ha⁻¹ (Dimanche, 1998). Les rendements sont très différents selon les niveaux des intrants utilisés et les soins à la récolte variant de 770 kg ha⁻¹ en Amérique du Nord à 297 kg ha⁻¹ en Afrique (130 à 440 kg) (CIRAD, 1999).

Le sésame est cultivé de manière significative dans plus de 60 pays, mais la majorité de la production est asiatique (61% des surfaces et 70 % de la production) (FAO, 2009). L'Inde produisant plus de 26% du sésame mondial est en régression depuis 1995 (CIRAD, 1999) malgré le développement de ses exportations.

L'Afrique augmentant significativement sa production depuis 1995 est passée au 2ème rang mondial (25%). Le sésame y est cultivé dans 23 pays avec le Soudan (0.33 millions de tonnes), l'Ouganda (0.07 millions de tonnes) et le Nigeria comme les gros producteurs (Dimanche, 1998).

Selon Amoukou et *al.*, (2001), le Niger a une production totale annuelle de 2427 T en 1997. La culture est pratiquée dans les 5 régions qui sont par ordre d'importance, Maradi, Tahoua, Zinder, Tillabéry et Dosso. Mais elle n'occupe que le 5ème rang des cultures de rente (niébé, arachide, souchet, oseille). Le sésame occupe seulement 0.17 % de la superficie totale cultivée au Niger. En 1995, le rendement grain était de 202 kg ha⁻¹.

Les échanges internationaux ne portent que sur 25% de la production mondiale (CIRAD, 1999), ce qui indique l'importance de l'autoconsommation des pays producteurs, notamment l'Asie. Les transactions touchent essentiellement les graines (94%) suivi de loin par les tourteaux et l'huile (CIRAD, 1999). Les exportations des graines sont largement en hausse avec la dominance de 6 pays sur le marché (Soudan, Inde, Chine, Myanmar, Guatemala et Nigeria).

2.2. La microdose

2.2.1. Définition et objectif

La technique de l'application de l'engrais au poquet communément appelée **microdose** consiste en un apport des petites quantités d'engrais ($\leq 6g$ en fonction des types d'engrais et de type de culture) au niveau de chaque poquet d'une culture donnée, contrairement aux apports classiques fait à la volée ou en ligne. Cet apport peut se faire aussi bien au moment de semis des cultures qu'au moment du démariage ou du premier sarclage.

L'objectif de cette technologie consiste à optimiser la productivité tout en minimisant non seulement l'investissement en engrais, mais aussi la dégradation des ressources naturelles (Tabo et al, 2004).

En Afrique de l'ouest, les technologies de la microdose ont été promues au Burkina, au Mali et au Niger.

2.2.2. Technologies de la fertilisation par microdose au Niger

Initialement la microdose consistait à appliquer au semis, en même temps que les semences, des petites quantités d'engrais minéraux (6g de NPK: 15.15.15 ou 2g de DAP) en utilisant un bouchon d'une bouteille de coca-cola comme instrument de mesure de la dose recommandée. Ce qui nécessitait la participation de trois personnes au semis: la première faisant le trou, la deuxième mettant les semences et la troisième mettant l'engrais et fermant les trous.

En 2001 et 2002, l'ICRISAT en collaboration avec le projet FAO-intrants a initié des nouveaux essais en milieu réel. Ces essais comprenaient un quatrième traitement dans lequel est réalisé un apport de 2g de DAP au semi suivi de 1g de d'urée à la montaison.

Le projet FAO-Intrants vulgarisait cette technologie de microdose à travers la conduite de démonstrations dans plusieurs villages des régions de Tillabéry, Dosso, Maradi et Zinder. Cette vulgarisation s'effectue en apportant des modifications par rapport à la technologie initiale. Il s'agit du remplacement de l'instrument de mesure par les doigts (pincée), l'exécution du semis par deux personnes au lieu de trois et la date de l'apport de l'engrais au poquet qui peut être décalée par rapport à celle du semis.

Ainsi de 1999-2001, grâce à la microdose, il y'a eu une augmentation moyenne de 75% de rendement en grains du mil par rapport à la pratique paysanne aussi bien avec l'utilisation du DAP qu'avec celle de NPK 15-15-15. De 2002 à 2003 on constate aussi la même tendance d'augmentation de rendement de l'ordre de 52 % par rapport au témoin entre les effets du NPK: 15-15-15 et ceux du DAP sur les rendements de mil (Tabo et al, 2004).

Chapitre III: Matériel et Méthodes

3.1. Matériel

3.1.1. Site expérimental

L'essai a été conduit à la station de recherche de N'dounga CERRA/Kollo, située à une vingtaine de kilomètre de Niamey dans le département de Kollo. La pluviosité moyenne varie de 350 à 650 mm. Le terrain est plat avec une légère pente et a reçu la culture d'arachide comme précédent culturale après un épandage des ordures ménagère. Le sol est de texture sableuse. Le pH est basique avec des faibles teneurs de N, P, K et carbone. Les compositions granulométriques et chimiques de ce sol sont données dans Les tableau I.

Tableau I: Résultats d'analyse du sol (0-30 cm)

| Analyse chimique du sol | |
|--------------------------------|-------|
| pHeau | 7,7 |
| Pass (mg.kg) | 21,94 |
| Corg (g/kg) | 2,6 |
| Ntotal (g/kg) | 0,2 |
| Kass (mg/kg) | 74,1 |
| Granulométrie (%) | |
| Argiles | 0,84 |
| Limons | 5,16 |
| Sables | 94 |

La pluviosité enregistrée durant cette campagne (de juin à septembre) est de 449,6mm. La figure ci-dessous donne la pluviosité pour la période juin-septembre 2012.

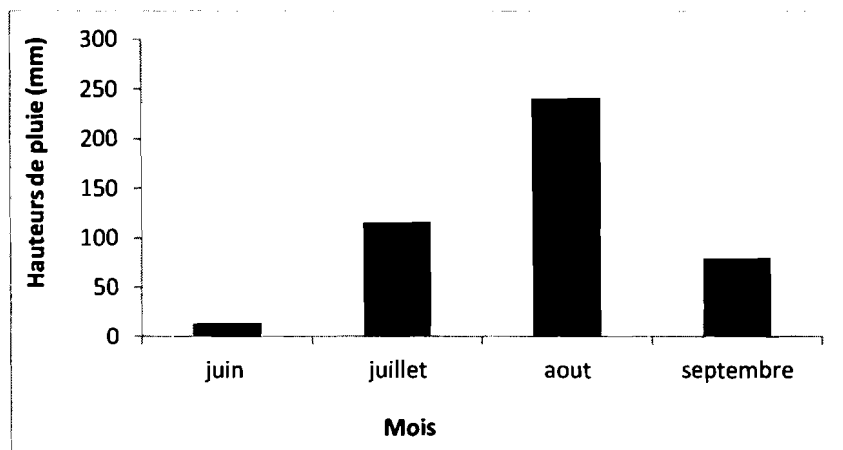


Figure 3: Répartition des cumuls mensuels des hauteurs de pluie à Kollo (2012)

(Source: CERRA de Kollo)

3.1.2. Matériel végétal

Variétés

Deux variétés de sésame ont été mises en culture dans le cadre de cet essai dont:

- une variété améliorée (VSN) provenant de CERRA Kollo. C'est une variété qui s'adapte à partir de 400mm de pluie dont le cycle semis – maturité dure 80jours. Son rendement moyen est de 1500 Kg / ha.

- et une variété locale (Kollo locale) achetée au marché.

Fertilisant

Un seul type d'engrais, le NPK 15-15-15 a été utilisé en 4 traitements

- Un contrôle dans lequel aucun apport d'engrais n'a été fait (M0)
- Le NPK à la dose de 0,5g par poquet (M1) soit 32,5 kg.ha⁻¹
- Le NPK à la dose de 1g par poquet (M2) soit 65 kg.ha⁻¹
- Le NPK à la dose de 1,5g par poquet (M3) soit 97,5 kg.ha⁻¹

3.2. Méthode

3.2.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental de l'essai illustré à la figure 3 est un dispositif factoriel à 4 répétitions. Chaque répétition comprend 8 parcelles élémentaires de 3m x 4m, soit au total 32 parcelles pour l'ensemble du dispositif. Les allées sont de 2m entre les répétitions. Les parcelles élémentaires sont séparées par des allées de 0.5m et les grandes parcelles par des allées de 1 m. Il comprend deux facteurs, la variété avec deux niveaux (variété locale et variété améliorée) et l'engrais NPK 15-15-15 avec quatre niveaux (0 g, 0,5 g, 1 g et 1,5 g par poquet).

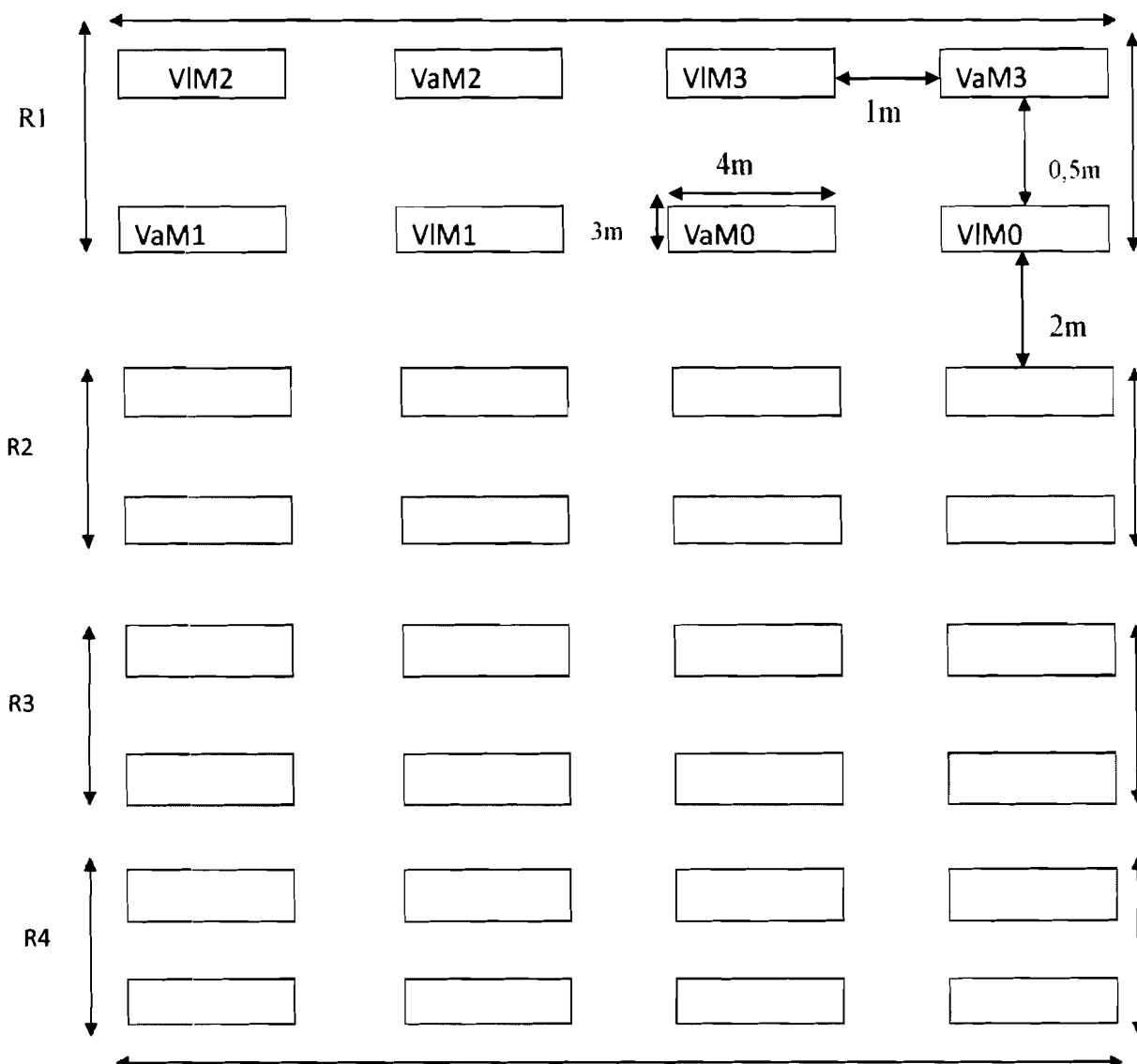


Figure 4: dispositif expérimental de l'essai

3.2.2. Les opérations culturales

Préparation de terrain

Les travaux de préparation de terrain ont consisté à un labour après défrichage.

Le semis

Le semis a été effectué manuellement à la daba, en poquet en ligne et à écartement de 0,3 m entre les poquets et 0,6 m entre les lignes soit une densité de 65.000 poquets.ha⁻¹. La

première répétition a été semé le 13/07/12 et les trois autres le 14/07/12 et ceci après une pluie de 18,4mm. Il faut noter que les apports des microdoses ont eu lieu au moment du semis. Ainsi une fois le poquet ouvert, on a d'abord mis les grains de sésame (6 à 7 grains) ensuite les doses d'engrais tout en évitant le contact entre eux car ceci pourrait entraîner la brûlure des grains.

Entretien de la culture

Trois sarclages ont été faits durant cet essai: le premier a eu lieu le 19/07/12 à la main (soit 6 et 5 jours après semis) et les deux autres à la hilaire respectivement le 02/08 et 23/08/12.

Le démariage a été réalisé le 03/08/12 (soit 21 et 20 jours après semis). Il a consisté à diminuer le nombre de plants dans le poquet pour ne laisser que 2plants.

Au cours des observations sur le terrain, il a été constaté une attaque des chenilles défoliatrices. Selon le service phytosanitaire du CERRA de Kollo, ces chenilles sont des larves des lépidoptères du nom d'*Antigastris catalaunalis*. Ainsi pour éviter des dégâts, un traitement chimique est effectué le 03/09/2012 avec un produit appelé Callimall500EC. Mais juste après ce traitement il y'a eu une pluie, ce qui l'a rendu inefficace et nous a conduit à un deuxième traitement le 08/09/12 avec le Décis suppermethrine.

Récolte/séchage/battage

La récolte a été faite le 19/10/12 et n'a concerné que les carrés de rendement. Elle a consisté à couper les plants complètement au ras du sol et à les introduire dans un sac en jute pour le séchage. Le battage a été fait manuellement deux semaines après la récolte.

3.2.2. Observation et mesures

Dans chaque parcelle un carré de rendement de 1m x 1m a été délimité pour toutes les observations et les mesures. Des échantillons de sol ont été également prélevés pour des analyses.

Les variables sont:

1. Variables mesurées:

- Les paramètres de croissances et de rendement

La hauteur des plants: c'est la moyenne de 3 mesures effectuées sur 3 plants choisis au hasard dans chaque carré de rendement. Elle a été effectuée à la maturité des plants. Elle est mesurée du pied de la plante jusqu'au bourgeon terminal à l'aide d'une règle graduée de 3m.

La longueur des capsules: elle a été déterminée avec une règle graduée de la base de la capsule jusqu'à son sommet.

Le nombre de capsule par tige principale: c'est le nombre moyen de capsule sur la tige principale des plants. Il a été déterminé en faisant la moyenne entre le nombre de capsule de trois tiges principales.

Le nombre de grain par capsule: c'est la moyenne des nombres de grains de trois capsules prélevés dans chaque traitement.

Le poids de mille graines: après avoir compté mille graines dans les différents traitements de toutes les répétitions, leurs poids ont été mesurés.

- Les caractéristiques du sol

Des échantillons de sols ont été prélevés en début de campagne avant le semis et en fin de campagne après la récolte pour la détermination de la composition physique (texture), chimique (azote, phosphore, potassium, pH et carbone organique) et biologique (biomasse microbienne). Ces échantillons ont été prélevés à la profondeur 0-30cm avec un tube en aluminium de 7,5 cm de diamètre.

Les échantillons avant semis, ont été prélevés en zigzag. Ainsi dans chaque parcelles élémentaires un échantillon composite a été obtenu a partir de trois prélèvements qui ont ensuite été mélangés afin d'avoir un échantillon représentatif de la totalité de la parcelle étudiée.

Après la récolte les prélèvements ont été réalisés dans les poquets; un composite est formé a partir de trois prélèvements de chaque parcelle élémentaire. Ainsi 32 échantillons composites sont obtenus mais seuls 16 ont été analysés (ceux de la variété améliorée) à cause de nos moyens.

- La composition chimique des plantes

Huit échantillons de plantes à maturité (à la récolte) ont été prélevés pour la détermination de leur composition chimique (azote, phosphore et potassium). Les parties prélevées sont les feuilles, la tige et les capsules.

2. les variables calculées

Le rendement grains: il est obtenu par la formule ci-dessous après avoir mesuré les poids des graines sèches.

$$\text{Rendement grain (Kg. ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{poids grains} \times 10.000\text{m}^2}{1\text{m}^2}$$

Effets des fertilisants sur le sol: Les effets des fertilisants apportés sur les propriétés biologiques et chimiques du sol, notamment le taux de biomasse microbienne par la méthode fumigation incubation et les teneurs en N, P, K, matière organique et pH après les productions agricole ont été déterminés à partir de la relation mathématique suivante:

Effet du traitement = valeur du paramètre après culture – valeur du paramètre avant culture.

Bilan partiel de nutriments

$$\Delta N, P, K = \sum \text{Entrée} - \sum \text{Sortie}$$

Avec:

N: azote

P: phosphore

K: potassium

Pour les entrées il n'est pris en compte que les quantités des nutriments apportées par la fumure minérale, les sorties concernent les quantités exportées par la biomasse sèche totale.

3.3. Analyses au laboratoire

Les échantillons des sols et des plantes ont été analysés au laboratoire sol de la faculté d'agronomie de l'université Abdou Moumouni de Niamey et au laboratoire d'analyse de Kamboinsé à Ouagadougou au Burkina Faso.

Les méthodes de détermination des compositions chimiques et physique du sol sont:

- Analyse chimique du sol

Le pH_{eau} a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre électronique selon les normes AFNOR (1981) (rapport sol / solution de 1 / 2,5). La détermination a été faite dans une suspension de l'échantillon avec de l'eau distillée.

Pour le carbone total, la méthode Walkley-Black (Walkley et Black, 1934) a été utilisée. L'échantillon est d'abord oxydé par du dichromate de potassium en milieu sulfurique, puis l'excès du dichromate est dosé par du sel de Mohr Fe(SO₄)₂(NH)₂ en présence d'indicateur coloré (phénolphtaléine) .

L'azote total a été déterminé après une minéralisation préalable de l'échantillon selon la méthode Kjeldahl (Hillebrand *et al.*, 1953). L'azote est déterminé par distillation.

Pour le phosphore assimilable, la méthode de Bray I a été utilisée. L'échantillon est d'abord mélangé à une solution mixte de fluorure d'ammonium et de HCl puis filtrer. L'extrait recueilli est passé au spectrophotomètre à 720nm en utilisant le NH₄Mo comme catalyseur (Dickman *et al.*, 1940).

Pour le potassium assimilable l'échantillon de sol est d'abord agité avec une solution mixte de HCl à 0.1N et de l'acide oxalique H₂C₂O₄. L'échantillon est aussitôt filtré. Le K contenu dans le substrat est mesurée à partir du photomètre à flamme.

La détermination de la biomasse microbienne a été faite selon la méthode fumigation-incubation de Jenkinson et Powlson (1976). La fumigation a consisté, à déposer 100 g de sol dans un dessiccateur contenant du chloroforme qui a été débarrassé de l'éthanol après plusieurs lavages à l'eau. A l'aide d'une pompe à vide, on crée un vide dans le dessiccateur en vue de saturer l'atmosphère par les vapeurs de chloroforme. Après 24 heures de fumigation, les vapeurs de chloroforme sont évacuées. La fumigation tue les microorganismes et libère les composés organiques contenus dans leurs parois. Les échantillons de sol fumigés sont incubés à la température de 28 ± 2°C pendant 14 jours et le CO₂ dégagé a été mesurée au 7^{ème} et au 14^{ème} jour.

La biomasse microbienne a été estimée à l'aide de la formule utilisée par Fardoux *et al.* (2000):

$$BM (mg) = (F_{0-7} - F_{8-14}) / Kc$$

F_{0-7} est le CO_2 dégagé entre 0^{ème} et 7^{ème} jours par les échantillons fumigés;

F_{8-14} le CO_2 dégagé entre 8^{ème} et 14^{ème} jours par les échantillons fumigés;

Kc est égale 0,41 est le coefficient de proportionnalité représentant la fraction minéralisable de carbone en CO_2 proposé par Nicolardot *et al.* (1984).

-Analyse chimique de la plante

La détermination du potassium assimilable, du phosphore assimilable et de l'azote des échantillons de plante s'est faite selon le même procédé que celui des échantillons de sol.

-Analyse physique

L'analyse granulométrique en cinq fractions a été réalisée selon la méthode internationale adaptée à la pipette de Robinson Khöln. Elle s'effectue sur la terre fine (tamisât de 2 mm séché à 105°C), ensuite la matière organique est totalement détruite par l'eau oxygénée (H_2O_2) et l'argile est dispersée par l'hexamétaphosphate de sodium (HMP). On procède ensuite aux prélèvements par siphonage des limons et argiles pour isoler les éléments non tamisables et à la séparation par tamisage des sables fins et grossier (Feller *et al.*, 1991).

3.4. Analyse des données

Les données recueillies ont été saisies avec le tableur Excel version 2007 puis traitées à l'aide du logiciel statistique *GenStat* 4^{ème} édition version 10.3. L'analyse de variance et le test de ppds (plus petite différence significative, au seuil de 5%) sont utilisés pour comparer les résultats moyens des variables observées. Les corrélations ont été établies pour expliquer les relations entre les variables.

Chapitre IV: Résultats/discussions

4.1. Effet de la microdose sur la performance du Sésame

4.1.1. Résultats

4.1.1.1. Effet variétal sur les paramètres de croissance et de rendement et sur le rendement grains

-Effet sur la hauteur des plants

Les résultats présentés sur la figure 5 montrent les hauteurs des plants en fonction des variétés. Les hauteurs des plants des variétés améliorée et locale sont de 143,4 cm et 141,4 cm respectivement. Toutes fois, ces hauteurs ne sont pas différentes statistiquement.

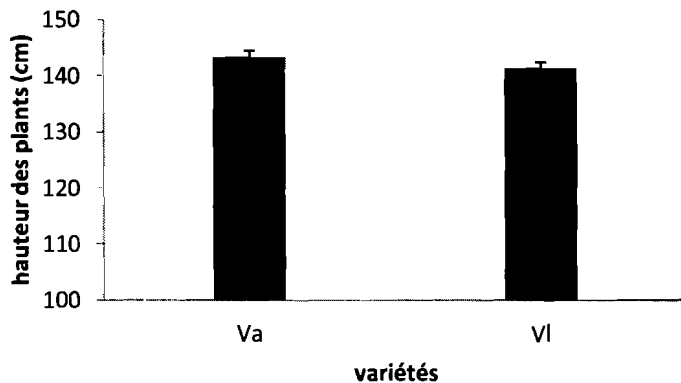


Figure 5: Effet de la variété sur la hauteur des plants

-Effet sur les paramètres de rendement

Les résultats sont présentés dans le tableau II.

Tableau II: Effet de la variété sur les paramètres de rendement

| Variabes | Lg cpsl (cm) | Nbre cap.tigp ⁻¹ | Nbre gr.cap ⁻¹ | Poids 1000 gr (g) |
|---------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| Variétés | | | | |
| Va | 2,844a | 22,8a | 55,8a | 3,9 a |
| VI | 2,44b | 19,2a | 50,7a | 3,6a |
| ppds | 0,072 | 5,15 | 6,90 | 0,44 |
| Signification | HS | NS | NS | NS |

Lg cpsl: longueur des capsules; Nbre cap.tigp⁻¹: nombre de capsules par tige principale; Nbre gr.cap⁻¹: nombre de graines par capsule; Poids mil gr: poids de mille graines .ppds: plus petite différence significative; HS: hautement significatif; NS: non significatif. Les chiffre suivis d'une même lettre dans la même colonne ne pas significativement différents.

La ppds montre que l'effet de la variété sur la longueur des capsules est hautement significatif au seuil de 5% et la variété améliorée a enregistré la plus grande longueur des capsules (2,844 cm).

Pour le nombre de capsules par tige principale, le nombre de graines par capsule et le poids de mille graines, la variété améliorée a été numériquement meilleure comparée à la variété locale, mais ces différences ne sont pas statistiquement significatives au seuil de 5%.

-Effet sur le rendement grains

Les résultats sont consignés sur la figure 6. La variété locale a fourni le rendement le plus élevé: 1488 kg.ha⁻¹ contre 1331 kg.ha⁻¹ pour la variété améliorée. Mais les rendements des deux variétés ne diffèrent pas statistiquement au seuil de 5 %.

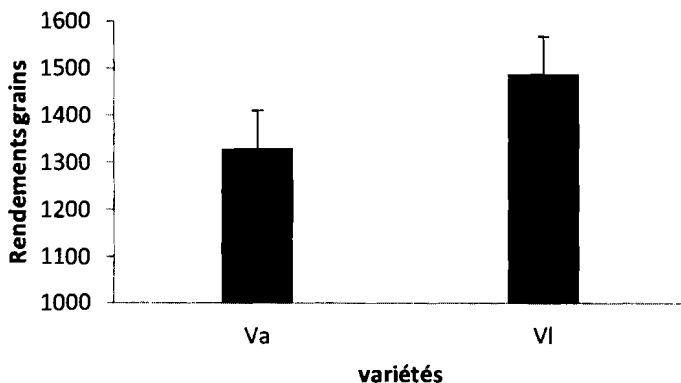


Figure 6: Effet de la variété sur le rendement grains

4.1.1.2. Effet des niveaux de dose de NPK sur les paramètres de croissance et de rendement et sur le rendement grains

- effet sur la hauteur des plants

Lorsqu'on considère la hauteur des plants (figure 7), les doses M1, M2 et M3 ont enregistré respectivement 135,3 cm, 132,6 cm, 146,6 cm. La comparaison des moyennes par la méthode de la ppsds montre une différence significative entre les doses M0 et M2.

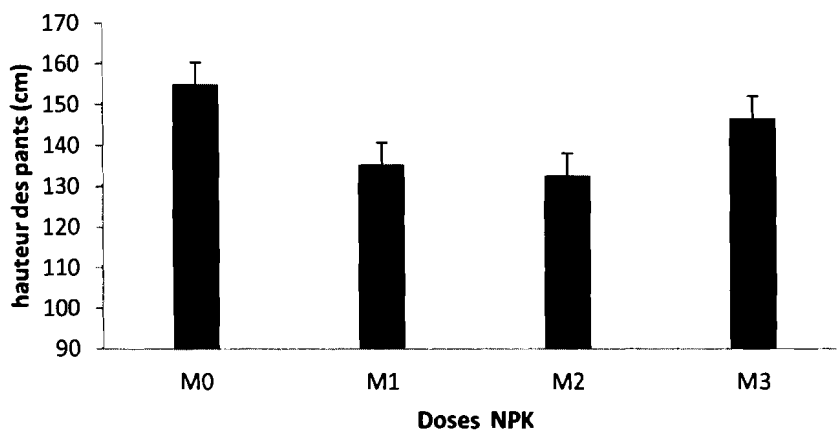


Figure 7: Effet des niveaux de doses sur la hauteur des plants

- Effet sur les paramètres de rendement

Les résultats sur les composantes de rendements sont indiqués dans le tableau III.

La longueur des capsules varie de 2,525 à 2,688 cm. La plus petite longueur des capsules est enregistrée par la dose M0 et la plus grande par la dose M3.

Le nombre de capsules par tige principale varie en fonction des doses: 18 à 23. Les plus grands nombres de capsules par tige principale sont enregistrés respectivement par les doses M1 (23) et M3 (22).

Le nombre de graines par capsule varie de 48 à 59. Le plus grand nombre est enregistré avec la dose M1 (59). La dose M0 a enregistré le plus faible nombre (48) de graines par capsule.

Le poids de 1000 grains varie de 3,6 à 4 g. seule la dose M2 a augmenté par rapport au témoin.

Tableau III: Effet des doses sur les paramètres de rendement

| Variables | Lg cpsl (cm) | Nbre cap.tigp ⁻¹ | Nbre gr.cap ⁻¹ | Poids 1000 gr (g) |
|---------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| M0 | 2.683a | 21a | 48a | 3.8a |
| M1 | 2.525a | 22a | 59b | 3.6a |
| M2 | 2.683a | 18a | 49a | 4.0a |
| M3 | 2.688a | 23a | 56ab | 3.7a |
| ppds | 0.2283 | 7.28 | 9.76 | 0.62 |
| Signification | NS | NS | NS | NS |

Lg cpsl: longueur des capsules; Nbre cap.tigp⁻¹: nombre de capsules par tige principale; Nbre gr.cap⁻¹: nombre de grains par capsule; Poids mil gr: poids de mille grains .ppds: plus petite différence significative; Les chiffre suivis d'une même lettre dans la même colonne ne pas significativement différents.

La comparaison des moyennes par la méthode de la ppds (Tableau V) montre que les doses d'engrais n'ont pas un effet significatif (au seuil de 5 %) sur la longueur des capsules, le nombre de capsules par tige principale et le poids de mille grains. Par contre le nombre de grains par capsule de la dose M1 a augmenté comparativement à M0 et M2.

-effet sur le rendement grains

Les résultats sont présentés sur la figure 8.

Le rendement grains diminue avec les doses M1, M2 et M3 en se référant à la dose M0. Cette diminution est respectivement de 39,83 %, 37,88 % et 26,01 %. Cependant la comparaison des moyennes par la méthode de la ppds montre que la dose M3 n'est pas significativement différente de la dose M0.

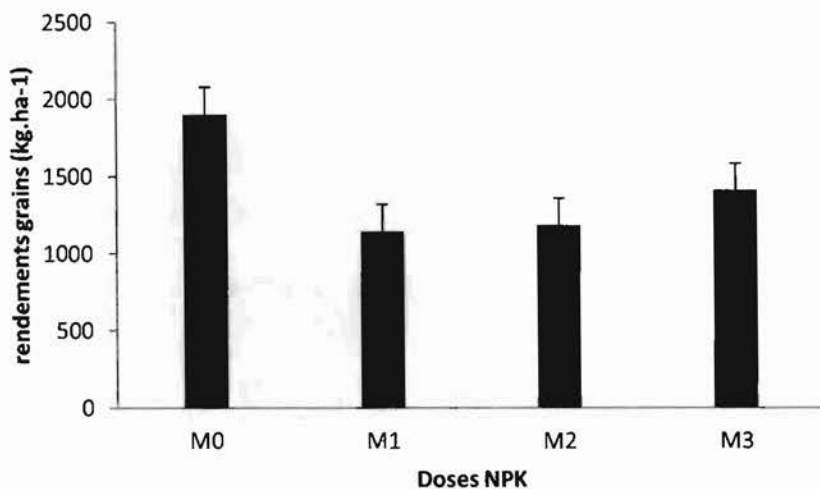


Figure 8: Effet des niveaux de doses sur le rendement grains

4.1.1.3. Interaction des variétés et des niveaux de dose de NPK sur les paramètres de croissance et de rendement et sur le rendement grains

- Effet sur la hauteur des plants

Lorsqu'on considère la hauteur des plants (figure9), les doses M1, M2 et M3 ont enregistré respectivement 145,1 cm, 126,6 cm, 145,7 cm pour la variété améliorée et 125,6 cm, 138,7 cm, 147,5 cm pour la variété locale. La pps ne montre aucune différence entre les deux variétés.

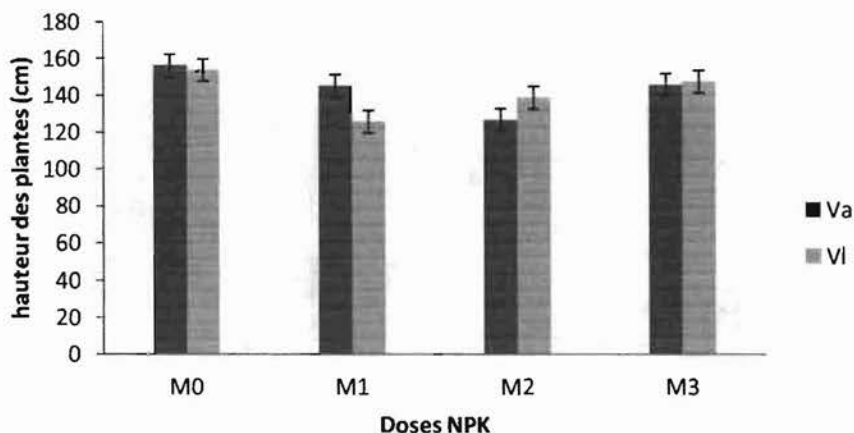


Figure 9: Effet des doses NPK sur la hauteur des plants en fonction des variétés

-Effet sur les paramètres de rendement

Les figures 10 à 13 indiquent l'effet interactif sur les paramètres de rendement.

Pour la longueur des capsules (figure10), les effets des doses M1, M2 et M3 ont été significatifs au seuil de 5 % et la variété améliorée est meilleure que la variété locale pour toutes ces doses. Les doses M2 et M3 ont induit des augmentations en référence au témoin (M0) pour la variété améliorée. Pour la variété locale, aucune des doses n'a induit des augmentations par rapport à M0.

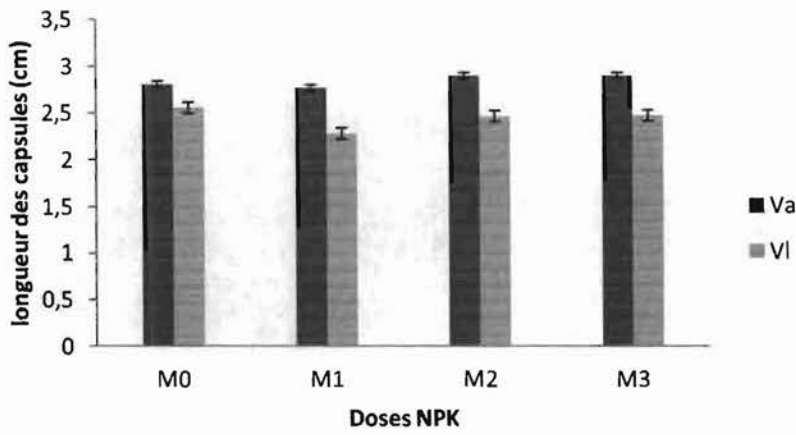


Figure 10: Effet des doses NPK sur la longueur des capsules en fonction des variétés

Lorsqu'on considère le nombre de capsules par tige principale (figure11), la dose M1 a eu un effet significatif avec la variété améliorée meilleure que la locale. La variété améliorée a enregistré les nombres de capsules par tige principale les plus importants avec les doses M2 et M3 bien qu'elles n'ont pas eu d'effet significatif. Comparativement au témoin (M0), les doses M1, M2, M3 ont augmenté avec la variété améliorée alors qu'avec la locale seule la dose M3 a augmenté.

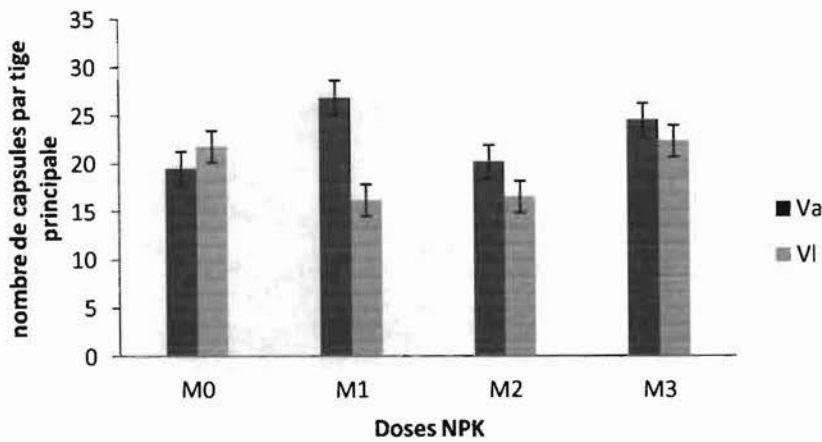


Figure 11: Effet des doses NPK sur le nombre de capsules par tige principale en fonction des variétés

Pour le nombre de graines par capsule (figure12), l'effet interactif n'est pas significatif mais la comparaison numérique des données montre que la variété améliorée est meilleure que la variété locale pour toutes les doses.

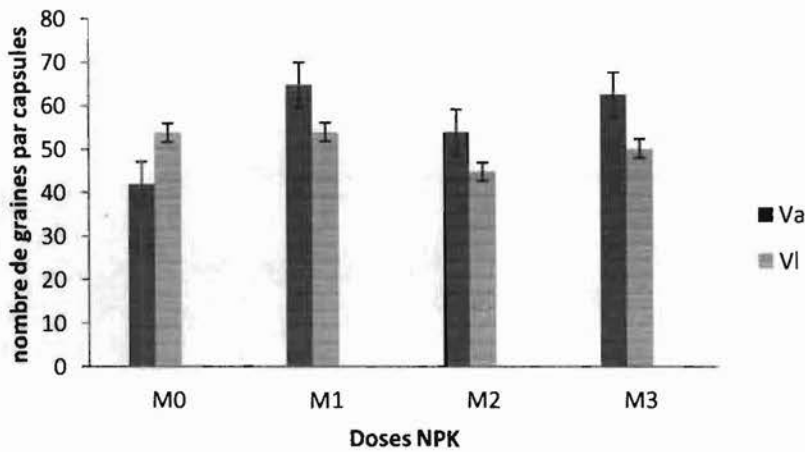


Figure 12: Effet des doses de NPK sur le nombre de graines par capsules en fonction des variétés

Pour le poids de mille graines (figure13), la dose M2 a induit un effet significatif et la variété améliorée est meilleure que la variété locale. Les doses M1 et M3 ont augmenté la variété locale comparativement à la variété améliorée bien que cette augmentation n'est pas significative au seuil de 5 %.

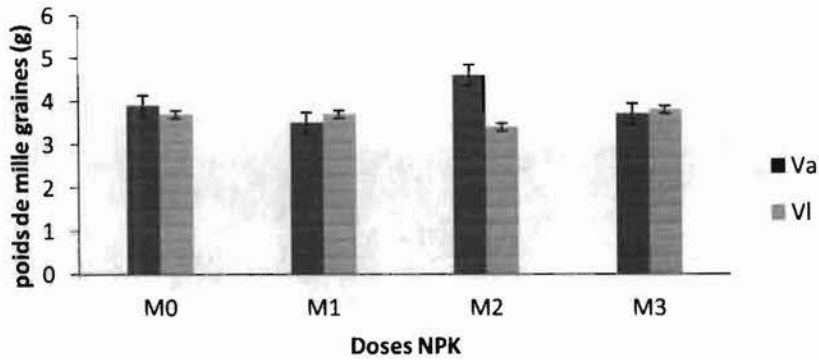


Figure 13: Effet des doses NPK sur le poids de mille graines en fonction des variétés

-Effet sur le rendement grains

Les rendements des deux variétés en fonction des doses de NPK sont présentés par la figure 14. Pour les doses M0 et M1 le rendement de la variété locale a diminué respectivement de 22,21% et 9,16% par rapport à la variété améliorée et a augmentée de 46,45% et 30,11% respectivement pour les doses M2 et M3.

Avec la variété améliorée combinée aux doses M1, M2 et M3, les rendements grains ont diminué respectivement de 43,95%, 61,51% et 45,91% en référence à la dose M0. Avec la variété locale, cette diminution est de 34,49%, 7,51% et 0,32%. Cependant aucune des doses n'a eu d'effet significatif au seuil de 5 %.

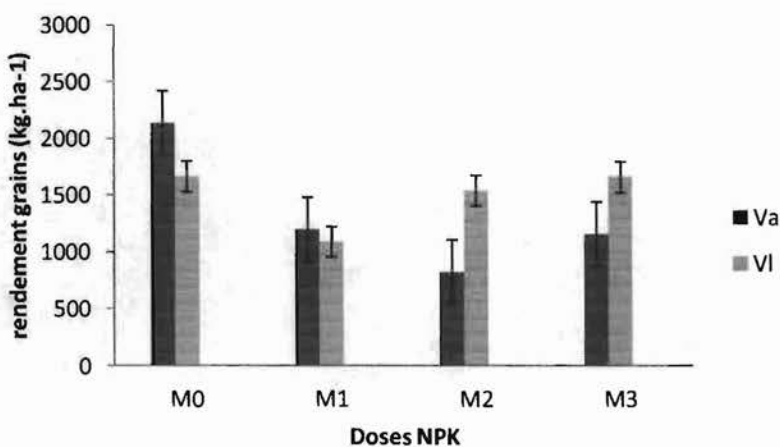


Figure 14: Effet des doses de NPK sur le rendement grains en fonction des variétés

4.1.2. Analyse de corrélation

En se référant au tableau IV, on note que le rendement grain a été positivement corrélé à la hauteur des plants. Les corrélations entre le rendement grain et ses composantes (le poids de mille graines, le nombre de capsules par tige principale, le nombre de graines par capsules et la longueur des capsules) n'ont été statistiquement significatives que pour le poids de mille graines et dans ce cas la corrélation est négative ($R^2=-0,349^*$). L'augmentation de la hauteur des plants s'est accompagnée de l'augmentation du nombre de capsules par tige principale ($R^2=0,356^*$) et de la longueur des capsules ($R^2=0,451^{**}$). Cette augmentation a conduit à la réduction du poids de mille graines ($R^2=-0,452^*$). Le nombre de graines par capsules est positivement corrélé au nombre de capsules par tige principale et à la longueur des capsules.

Tableau II: Analyse de corrélation

| | pds mille | | nbr | | | |
|--------------|-----------|---------------|----------------|--------------|--------------|---------------|
| | rdt gr | gr | h plants | cap/tgp | nbr gr/cap | long cap |
| rdt gr | 1 | -,349* | ,619** | ,195 | -,266 | ,030 |
| | | ,025 | ,000 | ,143 | ,070 | ,436 |
| | | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| pds mille gr | | 1 | -,452** | -,020 | -,119 | ,050 |
| | | | ,005 | ,457 | ,259 | ,394 |
| | | | 32 | 32 | 32 | 32 |
| h plants | | | 1 | ,356* | ,184 | ,451** |
| | | | | ,023 | ,157 | ,005 |
| | | | | 32 | 32 | 32 |
| nbr cap/tgp | | | | 1 | ,352* | ,174 |
| | | | | | ,024 | ,170 |
| | | | | | 32 | 32 |
| nbr gr/cap | | | | | 1 | ,342* |
| | | | | | | ,028 |
| | | | | | | 32 |
| long cap | | | | | | 1 |

rdt gr: rendement grains; pds mille gr: poids de mille graines; h plants: hauteur des plants; nbr cap/tgp: nombre de capsules par tige principale; nbr gr/cap: nombre de graines par capsules; long cap: longueur des capsules.
degré de signification (*) à 5%, (**) à 1%.

4.1.3. Discussion

Nos résultats ont montré d'une part que la variété n'a pas d'effet significatif sur la hauteur des plants, le nombre de capsules par tige principale, le nombre de graines par capsule et le rendement grains et d'autre part que l'effet interactif variété \times dose n'est pas significatif sur la hauteur des plants, le nombre de graines par capsules et le rendement grains. Cependant l'effet variétal a été significatif sur la longueur des capsules et la variété améliorée est meilleure que la locale, de même que les interactions entre la variété améliorée et les doses M1, M2 et M3. Les interactions entre la variété améliorée et la dose M1 et entre la variété améliorée et la dose M2 ont également induit des effets significatifs respectivement sur le nombre de capsules par tige principale et le poids de mille graines. On peut donc conclure qu'il y a une grande diversité au sein du matériel biologique. En effet les deux variétés sont génotypiquement différentes. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Ahmad *et al.* (2001).

Nos résultats montrent également que les doses d'engrais n'ont pas eu d'effet significatif au seuil de 5 % sur la longueur des capsules, le nombre de capsules par tige principale et le poids de mille graines. Ce qui démontre que le sésame est peu exigeant en matière de nutriments ou que les doses apportées sont en deçà des besoins réels de la plante. Des résultats similaires ont été obtenus par Voh (1998), Olowe et Busari (2002) et Muhamman *et al.* (2009). Ces auteurs ont eu des réponses non significatives après application de P et K sur le sésame.

La dose M1 a eu un effet significatif sur le nombre de graines par capsule. Donc cette dose n'a pas d'effet sur la longueur des capsules, le nombre de capsules par tige principale et le poids de mille graines, mais sur le nombre de graines par capsules. Ces résultats sont comparables à ceux de Shehu *et al.* (2003).

Les rendements grains des doses M1 et M2 et la hauteur des plants de la dose M2 ont significativement diminué par rapport à ceux de la dose M0. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par Hafiz et Bramawy (2012), Haruna *et al.* (2011), Shehu *et al.* (2010), Malik *et al.* (2003), et Ahrnad *et al.* (2003). Nos résultats peuvent s'expliquer par le fait que:

- les traitements avec fertilisant ont favorisé une croissance végétative au dépend de la production de grains. En effet nous avons apporté nos doses de NPK au semis, et ces éléments ont pu faire défaut au moment de la formation des graines. Les travaux de

Tran *et al.* 1997 ont montré que lorsque l'azote est appliqué au semis, il contribuera plus à la formation des feuilles.

- l'engrais étant apporté au semis, ce dernier a du être lessivé avant que la plante n'en profite. En effet il y'a eu une pluie le 15 juillet soit un et deux jours après semis (avant germination). Vue les caractéristiques physique du sol (riche en sable et pauvre en argile, donc faible capacité de rétention et très perméable), une partie de l'engrais a pu être entraînée par les eaux.

4.2. Effets de la microdose sur le sol sous culture de sésame

4.2.1. Résultats

4.2.1.1. Paramètres physiques et biologiques du sol après culture

Le tableau VI ci dessous indique les résultats d'analyse de variance des paramètres chimiques et biologiques du sol après culture. De façon générale, l'augmentation des valeurs de ces paramètres est proportionnelle aux doses de NPK utilisées à l'exception de la biomasse microbienne.

En dehors du phosphore assimilable ou la différence est non significatif, l'analyse de variance montre des différences hautement significatives ($F_{pr} < 0.01$) à très hautement significatives ($F_{pr} < .001$) sur tous les paramètres chimiques et biologiques du sol.

Cependant la comparaison des moyennes par la méthode de la ppds montre que:

- la dose M3 qui a enregistré le pHeau le plus élevé (7,24) diffère significativement des autres doses. Aucune différence n'a été révélée entre les doses M1 et M2. Cependant, ces dernières ont un pHeau significativement plus élevé que la dose M0 qui a enregistré la plus faible valeur de pHeau (7,13)

- Les plus fortes teneurs en phosphore et potassium assimilables du sol sont obtenus avec la dose M3 (15,15 mg/kg et 89,7 mg/kg). Les plus faibles teneurs en phosphore et potassium assimilables du sol sont observées avec la dose M0 (11,85 mg/kg et 70,2 mg/kg). Pour le potassium assimilable, la différence est significative entre toutes les doses.

- la dose M3 qui a enregistré les teneurs les plus élevées en azote total (Nt) et carbone organique (Corg) (0.08% et 0.88% respectivement) diffère significativement des autres doses pour le Corg et des doses M0 et M1 pour l’Nt. On observe que plus la dose de fertilisant est élevée, plus les teneurs du sol en azote et en carbone sont élevées. Il existe une forte corrélation linéaire positive ($R^2=0,98$) (figure14) entre les teneurs en azote total et carbone organique.

Tableau III: Paramètres chimiques et biologiques du sol après culture

| Doses NPK | pHeau | Pass mg /kg | Kass mg/kg | Ntotal g/kg | Corg g/kg | BM mg-CCO ₂ g ⁻¹ de sol |
|---------------|-------|----------------|---------------|----------------|--------------|---|
| M0 | 7,13a | 11,85a | 70,2a | 0,3a | 2,6a | 0,0718b |
| M1 | 7,17b | 12,92a | 78b | 0,4ab | 4,5a | 0,0588a |
| M2 | 7,19b | 13,89a | 81,9c | 0,6bc | 6,7b | 0,0703b |
| M3 | 7,24c | 15,15a | 89,7d | 0,8c | 8,8c | 0,0617a |
| Fpr | <.001 | 0,979 | <.001 | 0,001 | <.001 | <.001 |
| signification | THS | NS | THS | HS | THS | THS |

THS: très hautement significatif; HS: hautement significatif; NS: non significatif.

Les chiffres suivis de même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différents.

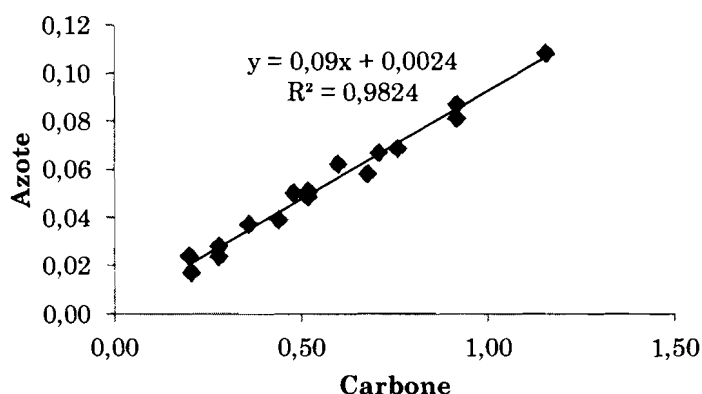


Figure 15: Relation entre l’azote total et le carbone organique

-la dose M0 qui a enregistré la teneur en biomasse microbienne du sol la plus élevée (0.0718 mg-CCO₂ g⁻¹ de sol) forme un groupe avec la dose M2 (0.0703 mg-CCO₂ g⁻¹ de sol) qui est

significativement différent du groupe composé des doses M1 et M3. La plus petite teneur en biomasse microbienne est enregistrée avec la dose M1 (0.0588).

4.2.1.2. Variation des teneurs en éléments nutritifs

Les résultats sont présentés dans le tableau VII. Ces résultats sont issus de la différence en N, P, K, matière organique, pH et biomasse microbienne entre le sol après culture et le sol avant culture.

Tableau IV: variation des teneurs en éléments chimiques et biologiques du sol

| Doses NPK | pHeau | | | Pass mg/kg | | | Kass mg/kg | | | Ntotal g/kg | | | Corg g/kg | | | BM mg-CCO ₂ g ⁻¹ de sol | | |
|--------------|-------|------|---------------|---------------|-------|---------------|---------------|------|-------------|----------------|-----|------------|--------------|-----|-------------|--|-------|--------------|
| | In | Fn | Δ | In | Fn | Δ | In | Fn | Δ | In | Fn | Δ | In | Fn | Δ | In | Fn | Δ |
| M0 | 7,7 | 7,13 | -0,56 | 21,94 | 11,85 | -10,09 | 74,1 | 70,2 | -3,9 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 2,6 | 2,6 | 0,25 | 0,08 | 0,072 | -0,01 |
| M1 | 7,7 | 7,17 | -0,53 | 21,94 | 12,92 | -9,02 | 74,1 | 78 | 3,9 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 2,6 | 4,5 | 1,9 | 0,08 | 0,059 | -0,02 |
| M2 | 7,7 | 7,19 | -0,50 | 21,94 | 13,89 | -8,05 | 74,1 | 81,9 | 7,8 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 2,6 | 6,7 | 4,1 | 0,08 | 0,070 | -0,01 |
| M3 | 7,7 | 7,24 | - 0,45 | 21,94 | 15,15 | -6,79 | 74,1 | 89,7 | 15,6 | 0,2 | 0,8 | 0,6 | 2,6 | 8,8 | 6,2 | 0,08 | 0,062 | -0,02 |

In: initial; Fn: final; Δ: variation

Ces résultats montrent que toutes les doses n'améliorent pas les teneurs de phosphore assimilable tandis qu'elles améliorent les teneurs d'azote total, de carbone organique et de potassium assimilable. Par ailleurs, on constate que toutes les doses ont baissé la basicité du sol et la biomasse microbienne.

4.2.2. Discussion

Par rapport aux valeurs initiales (avant semis) des paramètres du sol, la tendance générale montre une augmentation pour la majorité des paramètres mesurés, excepté le pH, le phosphore et la biomasse microbienne qui ont connu des baisses pour tous les traitements (taux de variation négatifs).

La baisse du pH dans les parcelles ayant reçu des engrais chimiques corrobore les résultats de Saragoni et al, (1992) et Kaho et al, (2011) qui avaient rapporté une diminution du pH suite à l'apport de NPK et d'urée. Le même constat a été fait par Uyo et al, (2000) qui ont révélé l'effet acidifiant des engrais chimiques sur les sols au Nigeria. Selon Bekunda et al, (1997) cette acidification suite à l'apport de l'azote et du potassium s'explique par l'antagonisme potassium-azote dans les Ferralsols.

Les résultats sur la baisse du phosphore assimilable sont conformes à ceux de Kaho et al, (2011). Des nombreuses études ont démontré l'influence des propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol sur le comportement du phosphore (Giroux et Tran, 1994). Le pH, la concentration en Fe, Al et Ca, la texture et le contenu en matière organique sont autant de propriétés du sol qui affectent la disponibilité du phosphore (Mkhabela et Warman, 2005). Pour un pH du sol inférieur à 6,8 la forme de phosphore qui domine est le monophosphate, l'anion monovalent ($H_2PO_4^-$) : c'est une forme facilement absorbé par les racines des plantes. Pour un pH entre 6,8 et 7,2 la forme prédominante est le HPO_4^{2-} (Fig. 2), forme d'ion phosphorique absorbable plus difficilement par la plante (Hopkins, 2003). Dans les sols à pH alcalin > 7 , le phosphore contenu dans les réserves est indisponible, il faut donc l'apporter sous forme soluble et acide permettant une dynamique d'échange dans la solution (Bennai et Benabbas 2007). Les pH obtenus dans le cadre de notre étude sont supérieurs à 7. Ce qui explique la baisse du phosphore disponible observé au niveau des traitements.

La notion de biomasse microbienne recouvre l'ensemble des microorganismes du sol: bactéries, champignons, etc. Le type et la densité des populations changent avec le pH. La

baisse de la biomasse microbienne peut être liée à la baisse du pH. Ceci est démontré par la corrélation négative (annexe 2) entre le pH et la Biomasse microbienne.

Les résultats montrent que les doses de NPK ont eu un impact positif sur le carbone, l'azote et le potassium. Les résultats de Kaho et al, (2011) sont en accord avec les nôtres. Cependant ces observations sont contraires à celles de N'Dayegamiye et al, (1997), qui ont montré une diminution de C et N suite à l'apport de fertilisants minéraux sur des essais longue durée. Les résultats de Sedogo, (1993), ont aussi montré une diminution du carbone organique du sol après apport des fertilisants minéraux. Quant aux résultats de Lompo, (2009), ils ont montré une diminution du carbone organique et une augmentation de l'azote total. L'amélioration de ces paramètres dans le cadre de notre étude peut être mise en relation avec l'historique du site (voir p.20). Selon Léonard (1986), une fois appliquées, les effets de fumure organique (ordures ménagères) peuvent durer 2 à 3 ans. Bationo et Mokwunye (1992) ont également noté que l'ajout des matières organiques a des effets bénéfiques sur les propriétés chimiques et physiques des sols. En se référant au témoin (M0), cette amélioration est plus importante avec les doses M1, M2 et M3. Ceci peut être expliqué par l'effet combiné de la fertilisation organique et minérale.

4.3. Effet de la microdose sur les éléments nutritifs exportés

Les éléments nutritifs exportés par la biomasse sèche totale varient avec les traitements. L'absorption des éléments nutritifs est supérieure ou égale à 22 g/kg N, 1,6g/kg P et 1,9 g/kg K pour la variété améliorée. Elle est supérieure ou égale à 21,9 g/kg N, 1,3 g/kg P et de 2 g/kg K pour la variété locale (Tableau VIII).

L'exportation de l'azote demeure significativement importante avec la dose M0 pour l'ensemble des variétés, comparée aux autres doses. L'exportation du phosphore est plus élevée avec la dose M2 pour les deux variétés. Quand au potassium, avec la variété améliorée la plus importante exportation est observée aux doses M0 et M1 et avec la variété locale, l'exportation est plus élevée à la dose M1.

Tableau V: Bilan partiel des éléments nutritifs

| Var Trt | Va | | | | | | | | | VI | | | | | | | | |
|------------|----------|------|-------|----------|-----|-------|----------|-----|-------|----------|------|--------|----------|-----|-------|----------|-----|-------|
| | N (g/kg) | | | P (g/kg) | | | K (g/kg) | | | N (g/kg) | | | P (g/kg) | | | K (g/kg) | | |
| | A | E | B | A | E | B | A | E | B | A | E | B | A | E | B | A | E | B |
| M0 | 0 | 23 | -23 | 0 | 1,6 | -1,6 | 0 | 2,2 | -2,2 | 0 | 23,9 | -23,9 | 0 | 1,3 | -1,3 | 0 | 2,1 | -2,1 |
| M1 | 0,75 | 22,4 | -21,7 | 0,75 | 1,7 | -0,95 | 0,75 | 2,2 | -1,45 | 0,75 | 22 | -21,22 | 0,75 | 1,8 | -1,05 | 0,75 | 2,2 | -1,45 |
| M2 | 1,5 | 22,8 | -21,3 | 1,5 | 1,9 | -0,4 | 1,5 | 2 | -0,5 | 1,5 | 21,9 | -20,4 | 1,5 | 2,1 | -0,6 | 1,5 | 2 | -0,5 |
| M3 | 2,3 | 22 | -19,7 | 2,3 | 1,7 | 0,6 | 2,3 | 1,9 | 0,4 | 2,3 | 22,1 | -19,8 | 2,3 | 1,9 | 0,4 | 2,3 | 2,1 | 0,2 |

Trt: traitements; Var: variétés; A=apport; E=exportation; B=bilan partiel

Le bilan nutritif partiel de N, P et K est négatif pour les productions obtenus excepté au niveau des traitements vaM3 et vLM3 où les balances de P et de K restent positives. Les résultats obtenus confirment les travaux de Buerkert (1995) et Bandoum (2005) qui ont montré que l'apport de fertilisants par microdose entraîne l'exploitation par la plante des éléments nutritifs initialement présents dans le sol.

Conclusion et perspectives

Notre travail avait pour objectif d'étudier l'effet de la microdose sur le sésame. Pour mieux appréhender cet effet, nous nous sommes basée sur l'évaluation des composantes de rendement, du rendement grains et des paramètres de croissance et du sol.

L'étude montre que l'effet variétal et l'effet interactif ont été significatifs sur la longueur des capsules. Les interactions entre la variété améliorée et la doses M1 et entre la variété améliorée et la dose M2 ont également induit des effets significatifs respectivement sur le nombre de capsules par tige principale et le poids de mille graines. La dose M1 a eu un effet significatif sur le nombre de graines par capsule.

Cependant la variété n'a pas eu d'effet significatif sur la hauteur des plants, le nombre de capsules par tige principale, le nombre de graines par capsule et le rendement grains et l'interaction n'a pas aussi eu d'effet significatif sur la hauteur des plants, le nombre de graines par capsule et le rendement grains. Nos résultats montrent également que les doses d'engrais n'ont pas eu d'effet significatif au seuil de 5 % sur la longueur des capsules, le nombre de capsule par tige principale et le poids de mille graines.

L'accroissement de la teneur en carbone organique du sol s'est accompagné avec celui de l'azote total et du potassium assimilable avec une forte corrélation entre le Carbone organique et l'azote total. Les résultats ont montré l'effet acidifiant des engrais minéraux ainsi que la relation existant entre le pH et la disponibilité du phosphore et entre le pH et la biomasse microbienne.

Les bilans négatifs obtenus dans cette étude montrent que la technique de la microdose stimule le prélèvement des éléments nutritifs se trouvant initialement dans le sol qui à long-terme entrainera l'appauvrissement du sol. Il est donc évident que pour maintenir la durabilité des systèmes des cultures à base de sésame caractérisés par un apport de fertilisants minéraux en microdose, d'autres sources d'amendements notamment organiques doivent être apportées. Ceci permettra non seulement de restituer aux sols les éléments exportés par la récolte mais également d'atténuer davantage l'acidification des sols due aux engrais minéraux.

Il serait donc utile de conduire d'autres études afin de tester l'effet de la date d'apport de la microdose et, de l'accroissement des doses et de la fréquence des apports d'engrais.

Références bibliographiques

- ✚ **Adamouy M. R., 2004.** essai de promotion de culture de sésame (*Sesamum indicum*) dans le Fakara: cas de tiguou Tegui. mémoire de fin d'étude.
- ✚ **AFNOR, 1981.** Détermination du pH. (Association française de normalisation) NF ISO 103 90. *In*: AFNOR, Qualité des sols, Paris, 339-348.
- ✚ **Agronomie Tropicale.**46 (2) pp. 107-119. SAS Institute 1995. Statistics Users Guide, Vol. 2, Version 6.1. SAS Institute, Cary, North Carolina.
- ✚ **Ahmad A., Akhtar M., Hussain A. and Musaddique M., 2001.** Genotypic response of sesame to nitrogen and phosphorus application. *Pakistan J. Agric. Sc.* 38: 12-15.
- ✚ **Amoukou A.I., et Hassimi S., 2001.** Bilans des activités sur le sésame au Niger.
- ✚ **Amoukou A.I., 1996.** le sésame au Niger: Etude diagnostique.
- ✚ **Amoukou I.A., 1995.** Projet de Développement Rural de Mayahi/FENU-NE. Le Sésame. Etude diagnostique. Faculté d'agronomie : Niamey .67 p.
- ✚ **Anonyme, 1993.** . Mémento de l'agronome Ministère de la coopération et du développement. Paris, 1637 p.
- ✚ **Bationo A. and Mokwunye A. U., 1992.** Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production: With special reference to the Sahelian and Soudanian zones of West Africa. *Fertilizer Research.* 29: 217 – 225.
- ✚ **Bationo A., Mokwunye U., Vlek P. L. G., Koala S., Shapiro B. I., 2003.** Soil Fertility Management for Sustainable Land Use in the West African Sudano-Sahelian Zone. *In* Soil Fertility Management in Africa: A Regional Perspective (éd. Gichuru M. P., Bationo A., Bekunda M. A., Goma H. C., Mafongoya P. L., Mugendi D. N., Murwira H. K., Nandwa S. M., Nyathi P., Swift M. J.). Academy Science Publishers, Nairobi, Ch. 8, p. 253-286.
- ✚ **Bandoum Y. P., 2005.** Effets de la fertilisation par micro dose sur la productivité du mil, les bilans des nutriments et de l'eau du sol au Niger. Mémoire de fin d'étude. Faculté d'Agronomie, UAM. 57p.
- ✚ **Bekunda M.A., Bationo A.B., Ssali H., 1997.** Soil fertility management in Africa: a review of selected research trials.
- ✚ **Béliveau R., 2008.** Le sésame une petite graine aux propriétés étonnante.
- ✚ **Bennai M., Benabbas B., 2007.** L'amélioration des rendements des céréales par une fertilisation adaptée aux conditions pédoclimatiques algériennes. Constantine. Ed,

PROFERT, 33p.

- ✦ **Buerkert A., 1995:** Effects of Crops Residues, Phosphorus, and Spatial Soil Variability on Yield and Nutrient Uptake of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Southwest Niger. Thèse. Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart, pp. 272.
- ✦ **Bezpaly I., 1984.** Les plantes cultivées en Afrique occidentale. Le sésame. 149-153 p.
- ✦ **Cirad, 1999.** Centre de coopération international de recherche agronomique pour le développement.
<http://www.cirad.fr/publications/documents/produitstrop/1999/sesame981.htm>.
- ✦ **Dan Malam M., 2004.** Production biologique du sésame. Mémoire de fin.
- ✦ **Dickman S.R. and Bray R.H., 1940.** Colorimetric determination of phosphate. Ind. Eng. Chem., Anal. Ed., 12 : 665-668.
- ✦ **Dimanche P., 1998.** Sésame. Les publications CIRAD.
- ✦ **FAO, 2009.** L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde. FAO. [En ligne] <http://www.fao.org/wsfs/world-summit/en/> (consultée le 27 mai 2012).
- ✦ **FAO, 2011.** FAO statistical databases and data sets.
<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (consultée le 27 mai 2012).
- ✦ **Fayed E.H.M., Hassan A.A. and Hussain S.M.A., 2000.** Sesame performance as affected by seeding rate and nitrogen levels under drip irrigation system in newly cultivated sandy soil. I. Yield and yield attributes. *Ann. Agric. Sci., Moshtohor*, 38(1): 65-73.
- ✦ **Feller C., Fritsch E., Poss R., Valentin C., 1991.** Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest en particulier). *Cah. ORSTOM, ser. Peol.*, 26: 25-36.
- ✦ **Giroux M. et Tran T.S., 1994.** Etude des facteurs affectant l'évolution des teneurs en P et K des sols agricoles. *Agrosol* 7 (2) : 23-30.
- ✦ **Hafiz S. I. and El-Bramawy M. A. S., 2012.** Response of sesame (*Sesamum indicum* L.) to phosphorus fertilization and spraying with potassium in newly reclaimed sandy soils, *Basic Research Journal of Agricultural Science and Review* ISSN 2315-6880 Vol. 1(5) pp. 117-123.
- ✦ **Haruna I.M., Aliyu L., Olufajo O.O. and Odion E.C., 2011.** Growth of Sesame (*Sesamum indicum* L.) as Influenced by Poultry Manure, Nitrogen and Phosphorus in Samaru, Nigeria, *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 10 (4): 561-568, 2011 ISSN 1818-6769.

- ✚ **Hillebrand W. F., Lundell G. E. F, Bright H. A. & Hoffman J. I., 1953.** Applied inorganic analysis, 2nd ed. John Wiled and Sons, Inc., New York, USA. 1034 p.
- ✚ **Hopkins W. G., 2003.** Physiologie végétale. Ed. de Boeck, Belgique, 514p.
- ✚ **Institut international de Recherche en Hemeopathie et en Biothérapie., 2002**
<http://www.iirhb.org/fr/nutritie/sesame.htm>
- ✚ **Iwo G.A., Idowo A.A. and Ochigbo A.A., 2002.** Evaluation of sesame genotypes for yield stability and selection in Nigeria. *Nigerian Agric. J.*, 33: 76–82
- ✚ **Kabrah Y, Yao N.R., Dea G.B., et Couloud1. Y., 1996.** Effets de l'apport d'engrais et de matière organique sur le rendement en grains chez le maïs. Cahiers Agricultures 1996; 5: 18993.
- ✚ **Kaho F., Yemefack M., Feujio P. T. et Tchanchaouang J.C., 2011.** Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun.
- ✚ **Khan N.I., Akbar M., Sabir K.M and Iqbal S., 2001.** Character association and path coefficient analysis in sesame (*Sesamum indicum* L). *Online J.Biol Sci.* 1:99-100.
- ✚ **Langham D. R., 2007.** Phenology of Sesame, Reprinted from: Issues in new crops and new uses. 2007. J. Janick and A. Whipkey (eds.). ASHS Press, Alexandria, VA.
- ✚ **Laurentin H., 2007.** Genetic diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.): molecular markers, metabolic profiles and effect of plant extracts on soil-borne pathogenic fungi. PhD dissertation, Georg-August-University, Göttingen (Germany), 107 p.
- ✚ **Leonard D., 1986.** Soil, Crop, and Fertilizer Use: A Field Manual for Development Workers. Under contract with Peace Corps. 4th edition revised and expanded. United State Peace Corps. Information collection and exchange. Reprint R0008.
- ✚ **Lompo F., 2009.** Effets induits des modes de gestion de la fertilité des sols sur les états du phosphore et la solubilisation des phosphates naturels dans deux sols acides du Burkina Faso, université de Cocody/UFR, 254p. Thèse de doctorat.
- ✚ **Malik M.A., Saleem, M.F., Cheema M.A. and Ahmed S., 2003.** Influence of different nitrogen levels on productivity of sesame (*Sesamum indicum* L.) under varying planting patterns. *Int. J. Agric. Biol.*, 5:490–492.
- ✚ **Marie V.F., 2010.** Valorisation en agriculture des apports organiques contenus dans les déchets urbains:qualité des matières organiques et service ecosystemique, école supérieure de science Agronomique Antananarivo. Thèse de doctorat.

- ✚ **Massaladji F., 2002.** Contribution à la lutte contre le Striga du mil par des méthodes alternatives: cas du sésame et de la poudre de néré. Mémoire de fin d'études, DESA. pp 34 –38.
- ✚ **MDA/MRA, (2008).** Recensement Général de l'Agriculture et du Cheptel : Productivité des Exploitations Agricoles ; Résultats définitifs, Volume VI ; 76p.
- ✚ **Ministère de l'agriculture et de l'élevage, 2002 :** plan d'action sur la filière sésame, document version final.
- ✚ **Mkhabelaa M. S., Warman P. R., 2005.** The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. *Agr. Ecosys. Environ.* 106: 57-67.
- ✚ **Mounkaila A., 2003:** étude comparative de cinq variétés de sésame dans la zone du Tondikandia (arrondissement de Filingué).mémoire de fin d'étude.
- ✚ **Mounkaila M., 1998.** Etude de la diversité morphologique et agronomique du Sésame au Niger et recherche de critères de sélection pour l'amélioration du rendement ; Mémoire de Fin d'étude d'ITA, FA/Niamey, 42p.
- ✚ **Moussa B.A., 2005.** Impact socio-économiques de la culture du sésame en milieu rural :cas de quelques villages dans le département d'aigué. mémoire de fin d'étude 9,10,11,12,13,14p.
- ✚ **Muhamman M.A., Gungula D.T. and Sajo A.A., 2009.** Phenological and yield characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) as affected by nitrogen and phosphorus rates in Mubi, Northern Guinea savanna Ecological zone of Nigeria. *Emirate J. Food. Agric.*, 21: 1–9.
- ✚ **N'Dayegamiye A., Goulet M. et Laverdière M. R., 1997.** Effet à long terme d'apports d'engrais minéraux et de fumier sur les teneurs en C et en N des fractions densimétriques et des agrégats du loam limoneux Le Bras. *Can. J. Soil Sci.* 77: 351–358.
- ✚ **Okpara D.A., Muoneke C.O. and Ojikpong T.O., 2007.** Effects of nitrogen and phosphorus fertilizer rates on the growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) in the southeastern rainforest belt of Nigeria. *Nigerian Agric. J.*, 38: 1–11.
- ✚ **Olowe V.I.O. and Busari L.D., 2000.** Response of sesame (*Sesamum indicum* L.) to nitrogen and phosphorus applications in southern guinea savanna of Nigeria. *Trop. Oilseeds J.*, 5: 30–37

- ✚ **Pichot J., Sedogo P. M., Poulains J. F. and Arrivets J. 1981.** “Evolution de la fertilité d’un sol ferrugineux tropical sous l’influence de fumures minérales et organiques”, *Agron. Trop.* 36:122-133.
- ✚ **Prasithikhet J., Mongkolporn P., Sritanan V., and Sonmuang P. 1993.** Use of organic and inorganic fertilizers in farmers rice fields in the Northeast. *Soil Management Abstracts* 5: (2) 1458.
- ✚ **Purseglove J.W., 1982.** *Tropical crop: dicotyledons.* Longman Harlow. 719 p.
- ✚ **Rao V.P., Raikhelkar S.V. and Sondge V.D., 1994.** Effect of irrigation and fertilization on yield and its components in sesame (*Sésamum indicum* L.). *Indian J. Agric. Sci.*, 64: 93–100.
- ✚ **Reddy P.S., et Pati D., 1995.** Le sésame: Ensemble des pratiques culturales pour augmenter la production. Conseil de recherches sur les plantes oléagineuses, Rajendranagar, Hyderabad-500030, Inde 2è ed. 19 p.
- ✚ **Rirabe D., (2003).** Diversification des systèmes de culture : Cas du sésame et du Guar et Estimation des rendements par la méthode de télédétection à basse altitude ; Mémoire DES, FA/Niamey, 87p.
- ✚ **Santens P., 1982.** Agriculture spéciale; fascicule 13: Le sésame, le voandzou, le fonio. Unité de production des moyens pédagogiques. projet PNUD/FAO-NER 77/003 2-7p.
- ✚ **Saragoni H., Poss R., Marquette J., Latrille E., 1992.** Fertilisation et succession des cultures vivrières au sud du Togo : synthèse d’une expérimentation de longue durée sur terre de barre.
- ✚ **Schilling R., et Cattan P., 1991.** Oléagineux (France) V. 46 (3) 125-133p.
- ✚ **Schilling R. and Cattan P., 1991.** Sesame cultivation in tropical Africa. *Oleagineux*, 46: 129–131.
- ✚ **Sedogo P.M., 1993.** évolution des sols ferrugineux lessives sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité, Université nationale de Cote d’Ivoire/faculté des sciences et technique, 353p. Thèse de doctorat.
- ✚ **Seyni B., 2012.** Amélioration du sésame (*Sesamum indicum*) par mutation induite: Effet de la mutagenèse sur la tolérance à la sécheresse et la productivité, universiteit gent/faculteit bioingenieurswetenschappen. Belgique ; 193p. Thèse de doctorat (phd).
- ✚ **Shehu H.E., Kwar J.D. AND Sandabe M.K., 2010.** effects of n, p and k fertilizers on yield, content and uptake of N, P and K by sesame (*sesamum indicum*),

international journal of agriculture & biology issn print: 1560–8530; issn online: 1814–9596

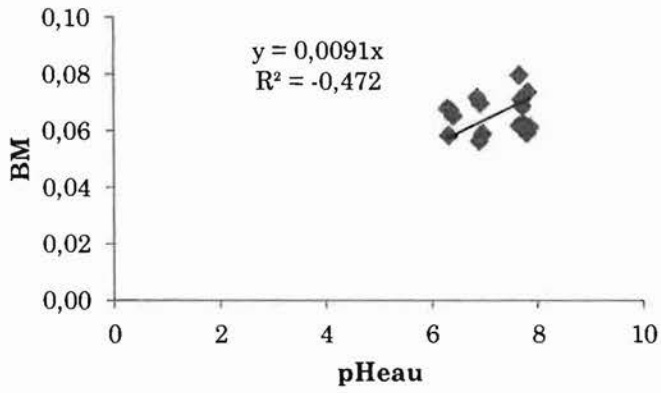
- ✚ **Stads G. J., Kabaley. M. H. et Gandah M., 2004.** Le Niger. Abrégé de l'ASTI No. 24. Washington, D.C. et Niamey : IFPRI et INRAN.
- ✚ **Subramanian A., Sankaran S. and Kulandadaivehi R., 1979.** Yield responses of sesame (*Sesamum indicum* L.) to nitrogen fertilizer application. *Indian Agric.*, 23: 43–48.
- ✚ **Tabo R., Bationo A., Gerard B., Ndjeunga J., Marchal D., Amadou B., Annou M.G., Sogodogo D., Taonda S.J.B., Hassane O., Diallo M.K. et Koala S., 2004.** Improving the productivity of sorghum and millet and farmers income using a strategic application of fertilizers in West Africa. Paper presented at The African Network for Soil Biology and Fertility (AfNet) international Symposium; Yaoundé, Cameroun, 17-21 may 2004, 21 p.
- ✚ **Toukoura D. et al., 2002.** Plan d'actions sur la filière Sésame au Niger ; Document Version Finale, 42p.
- ✚ **Uyo. Y. E. O. et Elemo. K.A., 2000.** Effect of inorganic fertilizer and foliage of *Azadirachta* and *Parkia* species on the productivity of early maize, Nigerian Journal of Soil Research, 17-22p.
- ✚ **Voh J.P., 1998.** An Overview of Bennisseed Research and Production in Nigeria and Prospects for Increased Production, 18–29p. First National workshop on bennisseed, March 3/5.
- ✚ **Walkley A. and Black I.A., 1934.** An examination method of the Detjareff and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- ✚ **Weiss A. E., 1971.** Castor, sesame and safflower. 311-525p.
- ✚ **Yaro D. T., Wuafor E. N. O., Chude V. O. and Tarfa B. D., 1997.** Use of organic manure and inorganic fertilizer in maize production: A field evaluation. In strategy for sustainable maize production in west and central Africa, 237-239p.

Annexes

Annexe 1 : effet interactif sur les paramètres de rendement et le rendement

| Doses NPK | | M0 | M1 | M2 | M3 | ppds |
|-------------------|----------|--------|---------|--------|---------|----------------|
| variables | variétés | | | | | |
| | Va | 2.808a | 2.767a | 2.900a | 2.900a | |
| Lg cpsl (cm) | VI | 2.558a | 2.283a | 2.467a | 2.475a | 0.3229 |
| | Va | 156.2b | 145.1ab | 126.6a | 145.7ab | |
| Ht Plts (cm) | VI | 153.7a | 125.6a | 138.7a | 147.5a | 28.47 |
| | Va | 19.5a | 26.9a | 20.2a | 24.5a | |
| Nbre cap/tigp | VI | 21.8a | 16.2a | 16.5a | 22.3a | 10.29 |
| | Va | 42.0a | 64.8b | 54.0ab | 62.5b | |
| Nbre gr/cap | VI | 53.8a | 54.0a | 44.8a | 50.2a | 13.81 |
| | Va | 3.9ab | 3.5a | 4.6b | 3.7a | |
| Poids mil gr (g) | VI | 3.7a | 3.7a | 3.4a | 3.8a | 0.88 |
| | Va | 2141b | 1200a | 824a | 1158a | |
| Rdts gr (kg/h) | VI | 1664a | 1090a | 1539a | 1657a | 902.2 |
| | Va | 72500b | 57500ab | 55000a | 55000a | |
| Nbr plts récoltés | VI | 60000a | 47500a | 62500a | 60000a | 17112.9 |

Annexe 2: Corrélation entre pH et biomasse microbienne



Annexe 3: Photographie



Photo 1: aperçu de l'essai