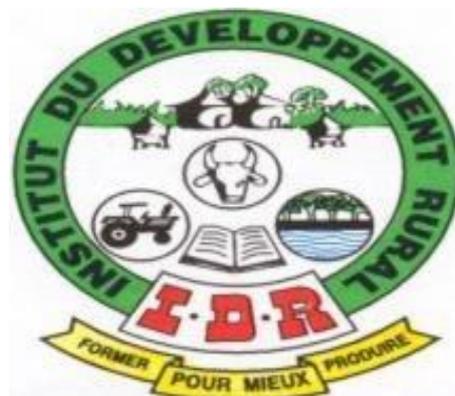


BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice
..*.*.*.*.*.*
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)
..*.*.*.*.*.*
UNIVERSITE NAZI BONI (UNB)
..*.*.*.*.*.*
INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

Thème

Effets de l'application de la micro-dose de NPK et d'Urée sur les rendements du maïs (*Zea mays* L.) et du soja (*Glycine max* (L.) Merr.) et sur le sol au Burkina Faso : Cas des provinces de la Sissili et du Nahouri.

Présenté par : NIGNAN Iliassou

Maitre de stage

Dr Idriss SERME

Directeur de mémoire

Pr Hassan Bismarck
NACRO

Co-Directeur de mémoire

Dr Sheick Khalil
SANGARE

N :...../AGRO

Novembre 2017

Table des matières

DEDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	vii
RESUME	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. CULTURE DU MAÏS	4
1.1.1. Origine et diffusion	4
1.1.2. Classification et description botanique	4
1.1.3. Ecologie	5
1.1.4. Intérêts liés à la culture du maïs	5
1.1.5. Production	6
1.2. CULTURE DU SOJA	7
1.2.1. Origine et diffusion	7
1.2.2. Classification et description botanique	7
1.2.3. Ecologie de la culture	8
1.2.4. Intérêts liés à la culture du soja	8
1.2.5. Production	9
1.3. TECHNIQUE DE MICRO-DOSE	11
1.3.1. Définition	11
1.3.2. Pratique de la technologie de micro-dose	11
1.3.3. Impact pédologique de la technologie	11
1.3.4. Impact socio-économique de la technologie	12
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	14
2.1. PRESENTATION DES ZONES D'ETUDE	15
2.1.1. Situation géographique	15
2.1.2. Climat, Végétation et Sols	17
2.2. MATERIEL	19
2.2.1. Matériel végétal	19
2.2.2. Fertilisants minéraux	19

2.3. Méthode	19
2.3.1. Enquête	19
2.3.2. Tests agronomiques	20
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	26
3.1 Résultats.....	27
3.1.1. Les caractéristiques des pratiques paysannes	27
3.1.2. Effets agronomiques des traitements sur la production des cultures	28
3.1.3. Effets des traitements sur la fertilité chimique des sols.....	Erreur ! Signet non défini.
3.1.4. Evaluation agro-économique des traitements	41
3.2. Discussion.....	43
3.2.1. Pratique paysanne.....	43
3.2.2. Effets agronomiques des traitements sur les rendements des cultures	43
3.2.3. Effets des traitements sur la fertilité chimique des sols.....	44
3.2.4. Evaluation agro-économique des traitements	45
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	48
Annexe.....	I

DEDICACE

A mon père NIGNAN Lassané et mes deux Mamans, BASSIA Mariame
et NAPON Alizéta pour leurs multiples sacrifices, leurs patiences et leur sens
élevé de compréhension;

A mon oncle BASSIA Youssouf pour tous ses efforts consentis à mon égard;

A mes frères et sœurs pour leur soutien

REMERCIEMENTS

Le présent mémoire est le fruit d'une collaboration entre l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), le Réseau pour la promotion des méthodes actives de recherche et de planification participative au Burkina Faso (Réseau-MARP-Burkina) et l'Institut de Développement Rural (IDR). Il marque la fin de mes cinq années d'études agronomiques. Il est non seulement le fruit de mes efforts personnels, mais aussi celui du labeur de certaines personnes. Je voudrais alors adresser mes remerciements :

- Au directeur du Centre de Recherches Environnementales et Agricoles et de Formation de Kamboinsé, en occurrence Dr Korodjouma OUATTARA pour m'avoir accepté au sein de sa structure;
- Au Dr Alidou COMPAORE, Directeur adjoint chargé des programmes (DAP) de l'INERA, qui a bien voulu mettre à ma disposition les moyens nécessaires pour la réalisation de ce document, ainsi que pour ses multiples conseils ;
- Au Dr Idriss SERME, mon Maître de stage, qui en dépit de ses multiples occupations a su m'insuffler à travers ses conseils avisés et orientations qui ont contribué à donner à ce document toute sa valeur scientifique. la confiance nécessaire pour venir à bout de cette aventure intellectuelle. Vous êtes un modèle pour nous ;
- Au Pr Hassan Bismarck NACRO, mon Directeur de mémoire et enseignant chercheur à l'UPB, pour ses orientations académiques ainsi que tous les efforts qu'il a apportés à la réalisation de ce document. Cher Professeur nous tenons à vous témoigner toute l'estime que nous avons à votre égard ;
- Au Dr Sheick Khalil SANGARE, mon Co-Directeur de mémoire, qui malgré ses multiples occupations, a encadré ce travail avec rigueur. Votre rigueur pour le travail bien fait n'a pas fini de me fasciner ;
- À toute la direction de l'IDR et l'ensemble du corps professoral, pour leur disponibilité et la qualité des enseignements dispensés ;
- À tous les chercheurs et membres du personnel du laboratoire Sol-Eau-Plante pour avoir permis le bon déroulement des travaux tout au long de ce parcours ;
- À tout le personnel du réseau MARP-Burkina pour l'hospitalité qu'il m'a accordée au sein de leur structure. Ma reconnaissance va tout particulièrement au président du dit Réseau, Monsieur Mathieu OUEDRAOGO. Monsieur le président, veuillez trouver entre ces lignes l'expression de ma profonde reconnaissance ;

- Au Dr Mathias Bouinzenwendé POUYA, coordonnateur sortant dudit projet qui, malgré ses innombrables occupations, n'a ménagé aucun effort pour la réalisation de ce travail. Veuillez trouver entre ces lignes l'expression de ma profonde reconnaissance ;
- Je tiens à témoigner toute notre gratitude aux Dr Aimé Sévérin KIMA., Dr Michel KERE et Dr Jeanne d'Arc Pane COULIBALY pour m'avoir assisté tout au long de ce stage à travers leurs multiples conseils et orientations qui ont contribué à améliorer la valeur scientifique de ce document ;
- Aux différentes structures d'appui technique des producteurs pour leurs collaborations et les échanges d'informations ;
- Au Dr Pascal BAZONGO, pour son appui technique pour la finalisation du document ;
- Aux doctorants Bassirou SANOU, Armel B. ZONGO, Nestor POUYA, Isabelle TRAORE, et Amélie B. BOUGMA pour leurs assistances techniques tout au long du stage;
- Aux collègues stagiaires du laboratoire Sol-Eau-Plante, pour la franche collaboration, les échanges constructifs et le soutien pendant les périodes les plus difficiles du stage ;
- À la famille SOW a Dori et celle YOUBA a Bobo, qui m'ont accueillis au sein de leur cellule familiale respectivement tout au long de mes études secondaires et supérieures.
- À mes collègues de promotion, j'exprime mes sentiments de reconnaissance pour vos conseils constructeurs dans la réalisation de ce mémoire ;
- À ma bien aimée Rihanata NACRO, pour son soutien moral tout au long du stage ;

A tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont été d'un apport et dont les noms n'ont pu être cités, qu'ils trouvent en ces pages, l'expression de notre profonde gratitude.

SIGLES ET ABREVIATIONS

- AGPM** : Association Générale des Producteurs de Maïs
- APG** : Angiosperm Phylogeny Group
- CILSS** : Comité inter état de lutte contre la sécheresse au sahel
- CIMMYT** : Centre international d'amélioration du maïs et du blé
- CIRAD** : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
- CORAF** : Conseil ouest et centre africain pour la recherche et le développement de l'agriculture
- DGESS** : Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles
- FAO** : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
- GES** : Gaz à Effet de Serre
- GNIS** : Groupement National Interprofessionnel des Semences et plants
- GRET** : Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques
- ICRISAT** : Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides
- IDR** : Institut du Développement Rural
- IITA** : Institut International d'Agriculture Tropicale
- INERA** : Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole
- JAS** : Jour Après Semis
- MAAH** : Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques
- MARP** : Méthodes Actives et de Recherche Participative
- ONEF** : Observatoire National de l'Emploi et de la Formation Professionnelle
- SDR** : Stratégie de Développement Rural
- UNB** : Université Nazi Boni
- USDA** : Département de l'agriculture des Etats Unis
- WOCAT** : Aperçu mondial des approches et des technologies de conservation
- MARHASA** : Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire.
- WWF** : Fondation pour le monde de la vie sauvage

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Morphologie générale de la plante du maïs.....	4
Figure 2 : Evolution des surfaces et production du maïs au Burkina Faso de 2006 à 2015	6
Figure 3 : Morphologie générale de la plante de soja	7
Figure 4: Composition du grain de soja à maturité.....	8
Figure 5 : Evolution des surfaces et production du soja au Burkina Faso de 2006 à 2016	10
Figure 6: Le cercle vicieux de la pauvreté des petits producteurs	13
Figure 7 : Localisation des quatre zones d'étude : Léo et Bieha et Pô et Tiébé	16
Figure 8 : Variabilité pluviométrique des huit (08) dernières années.....	17
Figure 9 : schéma du dispositif expérimental de l'essai	21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Récapitulatif des traitements administrés aux cultures (kg.ha ⁻¹).....	20
Tableau II : Superficie moyenne (ha).....	27
Tableau III: Utilisation d'engrais	27
Tableau IV : Rendements moyens en grains et pailles du maïs (kg.ha ⁻¹) des traitements.....	28
Tableau V: Rendements moyens en grains et fanes du soja (kg.ha ⁻¹) des traitements. Erreur ! Signet non défini.	
Tableau VI: Valeurs moyennes des paramètres chimiques du sol après culture du maïs.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau VII: Valeurs moyennes des paramètres chimiques du sol après culture du soja.....	34
Tableau VIII : Variation des teneurs en éléments chimiques du sol sous culture du Maïs....	35
Tableau IX : Variation des teneurs en éléments chimiques du sol sous culture du Soja.....	35
Tableau X: Performance économique moyenne des traitements sur le maïs.	41
Tableau XI : Performance économique moyenne des traitements sur le soja.	42

RESUME

Au Burkina Faso, le maïs et le soja jouent un rôle très important dans la lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté en milieu rural. Cependant, leur production fait face à de nombreuses contraintes. Ce sont principalement la baisse de la fertilité des sols, l'accessibilité physique et financière de l'engrais. Par conséquent, les rendements de ces cultures demeurent faibles. Afin d'améliorer la productivité de ces cultures, des essais ont été menés en milieu réel dans les provinces de la Sissili et du Nahouri. Ils avaient pour objectif global d'améliorer le niveau de la production agricole et des revenus des producteurs de petite exploitation dans ces provinces. Les essais ont été conduits par seize (16) paysans en 2016 avec un dispositif en bloc complet dispersé, chaque paysan constituant un bloc. Chaque bloc comportait quatre (04) traitements dont deux pour chaque culture. Ce sont la micro-dose (M2) [(2g.poquet⁻¹ de NPK (14-23-14) et d'Urée (46% N) pour le maïs, et 2g.poquet⁻¹ de NPK (14-23-14) pour le soja)] et la dose vulgarisée (M1) [(150 Kg.ha⁻¹ de NPK+100 Kg.ha⁻¹ d'Urée pour le maïs et 100 Kg.ha⁻¹ de NPK pour le soja)]. A ces traitements s'ajoute la pratique du paysan (M0) porteur de tests. Deux approches ont été adoptées : des entretiens pour collecter des informations sur M0 et des tests agronomiques afin de mesurer la variation des rendements grain, paille et fane. Les résultats ont relevé la capacité de M2 a augmenté significativement les rendements des cultures par rapport à M1 et M0. Dans la Sissili, les surplus de rendements grains du maïs induits par M2 sont de l'ordre de 132% et 50% comparée à M0 et M1. Pour le soja, les surplus sont de 146% et 59% par rapport à M0 et M1. Dans le Nahouri, les surplus de rendement du maïs dus à M2 étaient de 112% et 12% comparés à M0 et M1. Par contre, au niveau du soja on a relevé des surplus de l'ordre de 73% et 33% comparés à M0 et M1. L'importance agro-économique de cette technique à rentabiliser l'investissement est ressortie à l'issu de cette étude. Les moyennes des ratios valeur sur coût (RV/C) pour le maïs dans la Sissili s'élève à 4 et 2 comparée à M0 et M1 en utilisant M2. Concernant le soja, ce ratio est de 6 et 2 comparé à M0 et à M1. Dans le Nahouri, on a enregistré des ratios moyens du RV/C sous M2 s'élevant à 2 et à 1,4 par rapport à M0 et M1 pour le maïs. Tandis que pour le soja, ces valeurs sous M2 ont été de 4 et 2 comparées à M0 et M1. L'efficacité de cette technique à stimuler le prélèvement des éléments nutritifs initialement présents dans le sol a été démontrée à l'issu de cette étude. Ainsi, dans une optique de gestion intégrée et durable des ressources des sols, il serait nécessaire de veiller à la restitution des éléments exportés par des amendements organiques.

Mots clés : Dose vulgarisée, Pratique paysanne, micro-dose, performances agronomique et économique, Burkina Faso.

ABSTRACT

In Burkina Faso, maize and soybeans play a very important role in addressing food insecurity and rural poverty. However, their production faces many constraints. These are mainly the decline in soil fertility, the physical and financial accessibility of the fertilizer. As a result, yields of these crops remain low. In order to improve the productivity of these crops, trials were carried out in real-life in the provinces of Sissili and Nahouri. Their overall objective was to improve the level of agricultural production and the incomes of smallholder farmers in these provinces. The trials were conducted by sixteen (16) farmers in 2016 with a complete block device dispersed, each farmer constituting a block. Each block had four (04) treatments two of which for each crop. These are the micro-dose (M2) [(2g.pocket-1 of NPK (14-23-14-6S-1B) and Urea (46% N) for corn, and 2g.pocket-1 of NPK for soybean)] and the popularized (M1) [(150 Kg.ha-1 NPK + 100 Kg.ha-1 Urea for maize and 100 Kg.ha-1 NPK for soybeans)]. In addition to these treatments is the practice of the farmer (M0) carrying tests. Two approaches were adopted: interviews to collect information on M0 and agronomic tests to measure the variation of grain, straw and fane yields. The results noted the ability of M2 significantly increased crop yields compared to M1 and M0. In Sissili, the maize yield surpluses induced by M2 are of the order of 132% and 50% compared to M0 and M1. For soya, the surpluses are 146% and 59% compared to M0 and M1. In Nahouri, maize yield surpluses due to M2 were 112% and 12% compared to M0 and M1. On the other hand, at the soybean level, there were surpluses of 73% and 33% compared to M0 and M1. The agro-economic importance of this technique to making the investment worthwhile emerged during this study. The means of value-for-cost ratios (RV / C) for maize in Sissili were 4 and 2 compared to M0 and M1 using M2. For soybean, this ratio is 6 and 2 compared to M0 and M1. In Nahouri, average RV / C ratios in M2 of 2 and 1.4 were recorded with respect to Mo and Mo for maize. While for soy, these values under M2 were 4 and 2 compared to M0 and M1. The effectiveness of this technique in stimulating the removal of nutrients initially present in the soil was demonstrated at the end of this study. Thus, with a view to integrated and sustainable management of soil resources, it would be necessary to ensure the return of the elements exported by organic amendments.

Key words: Popular dose, Farmer's practice, micro-dose, agronomic and economic performance, Burkina Faso.

INTRODUCTION

Le Burkina Faso à l'instar du monde, est confronté aux défis d'accroître la production vivrière pour répondre aux besoins d'une population de plus en plus croissante, tout en préservant l'environnement (Kouakou, 2004).

En dépit des améliorations des politiques agricoles et de gros efforts de développement pendant des décennies, l'agriculture burkinabé demeure peu performante en raison d'un niveau élevé de pauvreté des petits producteurs et une dégradation continue des terres (Taonda *et al.*, 2015). Cela est accentué par des conditions agro-climatiques défavorables liées à une mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies. Face à cette contrainte majeure limitant la productivité agricole, il est nécessaire d'œuvrer à la mise au point de pratiques agricoles qui augmentent durablement la production alimentaire et les revenus des producteurs, tout en protégeant et en réhabilitant l'environnement (FAO, 2010).

Dans cette optique, un certain nombre de paquets technologiques a été développé. Malheureusement, des difficultés socio-économiques liées à l'accès en quantité de fumier, de compost, des engrais minéraux et la main d'œuvre limitent considérablement leurs mises en œuvre effectives. Pour faire face à ces difficultés, la technique de microdosage des engrais minéraux a été mise au point par les institutions de recherches notamment ICRISAT et ses partenaires en Allemagne (Rebafka *et al.*, 1993), afin d'optimiser l'utilisation efficiente des engrais et d'augmenter de façon substantielle les rendements des cultures et partant le revenu des producteurs (ICRISAT, 2005). Cette technique, encore appelée fertilisation localisée au poquet avec de faibles doses d'engrais (Hayashi *et al.*, 2008) a permis des accroissements importants de rendements dans différents pays (Tabo *et al.*, 2009 ; palé *et al.*, 2011).

Au Burkina Faso, la micro-dose sur le sorgho a entraîné une augmentation de gain supérieur à 140% et de 30% respectivement par rapport à la pratique paysanne et à la dose recommandée (Palé *et al.*, 2009). Toutefois, le maïs et le soja ont été identifiés comme des cultures ayant une valeur importante et commerciale (SDR, 2004). Malgré les politiques agricoles, la productivité de ces cultures demeure faible. Par exemple, les rendements en soja de 0,5 à 1,0 t.ha⁻¹ contre un potentiel de 1,5 à 2,5 t.ha⁻¹. Ceux du maïs sont compris entre 1,5 à 3,0.t ha⁻¹ avec la pratique des agriculteurs contre une production potentielle de 4-6 t.ha⁻¹. Améliorer la production de ces cultures constitue un enjeu potentiel dans la sécurité alimentaire et économique du pays.

C'est dans cette logique que s'insère la présente étude, menée dans le cadre des activités du « Projet d'intensification de la production et de commercialisation du soja et du maïs dans la province de la Sissili et du Nahouri » piloté par le Réseau MARP-Burkina avec l'appui de

l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA). Notre objectif général est de contribuer à améliorer le niveau de la production agricole et le revenu des producteurs de petite exploitation de la Sissili et du Nahouri. Spécifiquement, il s'agit de :

- déterminer l'effet de l'application de la micro-dose sur les rendements du maïs et du soja ;
- évaluer l'effet de l'application de la micro-dose sur les propriétés chimiques du sol ;
- déterminer la rentabilité économique de cette technique.

En vue d'atteindre ces objectifs, des observations et des analyses ont été effectuées sur la base de trois (3) hypothèses de recherches à savoir :

- la technique de micro-dose entraîne une augmentation significative des rendements des cultures du maïs et du soja;
- l'application de micro-dose entraîne une amélioration de la fertilité des sols;
- la technique de micro-dose entraîne une augmentation des revenus des producteurs du maïs et du soja par la hausse de la production par rapport aux techniques existantes.

Le présent mémoire est structuré en trois (3) chapitres. Le premier chapitre est consacré à la revue bibliographique, le second présente le matériel et les méthodes utilisés ; le troisième est consacré à la présentation et la discussion des résultats. Une conclusion suivie de recommandations met un terme au document.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. CULTURE DU MAÏS

1.1.1. Origine et diffusion

Le nom générique, *Zea*, vient d'un nom grec, *zeia*, qui désignait dans l'Antiquité une sorte de blé (Alphonse de Candolle, 1883). Le maïs (*Zea mays* L.) serait originaire de l'Amérique centrale, au sud du Mexique (FAO, 1993). Il proviendrait de l'évolution progressive d'une plante du nom de Téosinte (*Zea mexicana*) il y a 9000 ans (Gnis, 2016). Selon le même auteur, il est introduit en Europe par les grands explorateurs du XV^{ème} siècle vers les années 1492. Son introduction en Afrique et en Asie fut effective par les portugais au XVI^{ème} siècle (AGPM, 2016).

1.1.2. Classification et description botanique

Le maïs est une plante tropicale herbacée annuelle à très grand développement végétatif. Selon sa classification phylogénétique, le genre *Zea* appartient à la classe des Liliopsida, à l'ordre des Poales, à la famille des Poacées, la sous famille des Panicoideae et à la tribu des Maydeae (Doebley et Iltis, 1980), le maïs appartient. Selon CIRAD-GRET, (2002), le maïs est constitué d'une tige de gros diamètre formée d'un empilement de nœuds et d'entre-nœuds. Au niveau de chaque nœud sont insérés une feuille et un bourgeon axillaire. Selon les variétés, chaque plante porte entre 15 et 20 feuilles de grandes tailles et réparties alternativement d'un côté et de l'autre de la tige. Son système racinaire comprend des racines séminales et des racines d'ancrage ou stabilisatrices qui partent des nœuds à la base de la tige. Les racines dites séminales seront par la suite relayées par des racines adventives fasciculées.

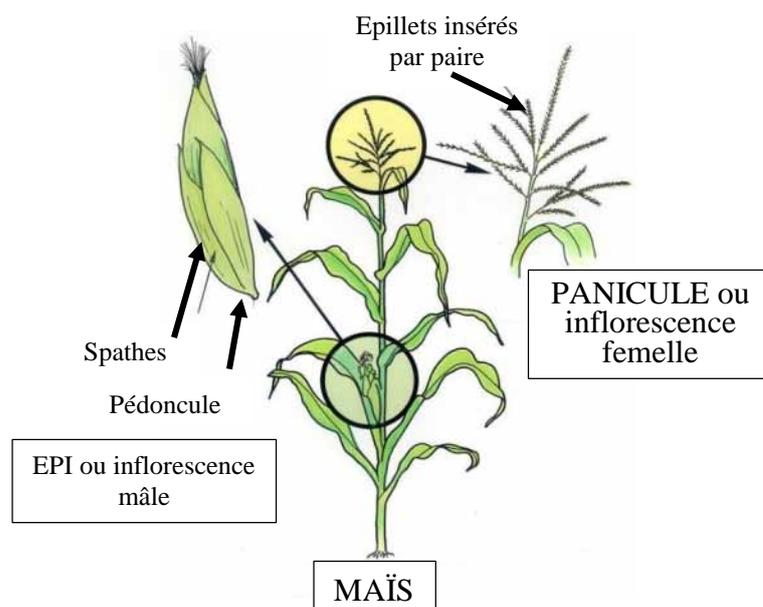


Figure 1: Morphologie générale de la plante du maïs

Source : www.gnis-pedagogie.org: Le maïs : Son origine et ses caractéristiques (2016)

1.1.3. Ecologie

Le maïs est une plante exigeante très sensible aux variations de la fertilité du sol. Il préfère les sols riches en éléments fins et en matières organiques et possédant une bonne structure. Il est exigeant en lumière et en chaleur. Le zéro de germination est de 9 °C. Ses besoins en eau sont intenses surtout 15 jours avant et après la floraison. Durant cette période la plante absorbe 45% de ses besoins en eau (CIRAD-GRET, 2002). Au Burkina Faso on estime les besoins en eau à environ 5,2 à 5,5 mm.j⁻¹ jusqu'au 60^{ème} jour, 6mm.j⁻¹ du 60^{ème} au 90^{ème} jour et moins de 4 mm.j⁻¹ après le 90^{ème} jour, soit un total de 600 mm pour un maïs de 120 jours. (CIMMYT, 1991). En dépit de toutes ces exigences, le maïs est l'une des plantes qui a conquis le monde grâce à ses multiples variétés adaptées à la sécheresse, au froid, à la lumière intense et aux jours longs des latitudes plus tempérées (AGPM, 2016).

1.1.4. Intérêts liés à la culture du maïs

1.1.4.1. Qualités alimentaires et mode de consommation

Selon la FAO (1993), le maïs contient (8 à 11%) de protéines, de fibre alimentaire, de vitamines (A et E) et de sels minéraux (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn). Le contenu calorique moyen de tout repas à base de maïs est estimé à 3578 cal.kg⁻¹. Le maïs est une céréale importante dans l'alimentation humaine (Mdjimivou, 2011) et se consomme sous diverses formes (bouilli, grillé, semoule, couscous, patte alimentaire, et même sous forme de bière). Il offre de nombreux bienfaits et vertus pour la santé humaine et animale.

Dans les pays développés, il est principalement utilisé comme fourrage. En 2000, environ 65% de la production mondiale était destinée à la nutrition du bétail (FAO, 2003). En industrie, l'amidon est extrait pour la fabrication des aliments tels que les biscuits, les bouillies et la bière. De l'huile peut être extraite pour l'alimentation humaine, les biocarburants et la fabrication de savon.

1.1.4.2. Intérêts économiques

De nos jours, le maïs se produit à toutes les périodes de l'année. Cela a entraîné le développement, autour de cette denrée, d'un commerce de grande ampleur depuis le stade du maïs frais jusqu'aux produits transformés. En effet, la production du maïs contribue fortement dans les économies des pays développés et dans les pays en voie de développement. Selon la FAO (2003), aux Etats unis, le simple grain de maïs trouve une valeur économique comparable à certains produits comestibles et non comestibles (caoutchouc, plastiques, combustibles, vêtements aditifs et plusieurs autres). Aussi, selon une étude menée au Burkina Faso en 2007

par l'Observatoire National de l'Emploi et de la Formation Professionnelle (ONEF), la production d'un hectare de maïs peut-elle coûter 268 925 FCFA.

1.1.5. Production

Le maïs est l'une des céréales la plus cultivée dans le monde. Depuis les années 2010, plus de 160 millions d'hectares sont cultivés chaque année pour une production de plus de 850 millions de tonnes (FAO, 2015). En effet, entre 2010 et 2014, le volume de production a augmenté de plus de 18%, passant de près de 851 à plus de 1000 millions de tonnes (FAO, 2015). La surface emblavée a augmenté de 11% dans ce même intervalle de temps et continue d'augmenter avec le développement de l'irrigation en culture de contre saison (FAO, 2015). Il est cultivé de manière intensive dans de nombreux pays, mais la majorité de la production mondiale est assurée par les Etats Unis d'Amérique avec plus de 40% de la production ; viennent ensuite dans l'ordre de production l'Europe, l'Asie et l'Afrique (FAO, 2015).

Selon les résultats définitifs de la campagne 2015/2016 au Burkina Faso, une superficie de 820117 ha a été emblavée en maïs sur tout le territoire national pour une production de 1469612 tonnes, soit un rendement de 1792 kg.ha⁻¹ (DGESS/MAAHA, 2016). Durant ces dernières années, la situation de la production du maïs est marquée par d'importantes fluctuations (**Figure 1**). En effet, la production du maïs est positivement corrélée à la superficie emblavée (DGESS/MAAH, 2016). Ainsi, les baisses des superficies emblavées entraînent inéluctablement celles de la quantité produite. Outre la baisse des superficies, d'autres facteurs de pertes tels que les inondations, la sécheresse, l'application inadéquate des engrais organiques et minéraux, etc. expliqueraient la baisse quasi généralisée de la production du maïs et bien d'autres spéculations (MARHAA, 2015).

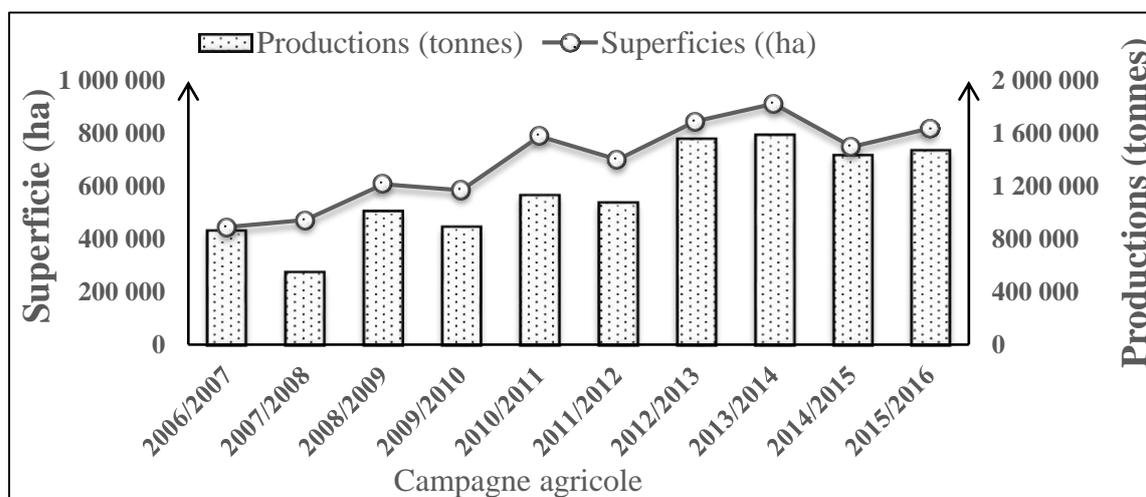


Figure 2 : Evolution des surfaces et production du maïs au Burkina Faso de 2006 à 2015
Source : (FAOSTAT, 2016).

1.2. CULTURE DU SOJA

1.2.1. Origine et diffusion

Le Soja [*Glycine max* (L.) Merr.] est originaire de l'Asie et plus précisément des régions Nord et Centre de la Chine (Lof et *al.* 1990; Roumet, 2001; CIRAD-GRET, 2002). Il est Cultivé depuis 3000 ans avant J-C en Extrême-Orient, où il est devenu l'une des bases alimentaires. Le soja a connu une importante dissémination dans le reste du monde. Son introduction en Europe a eu lieu au 18^{ème} siècle par les missionnaires, autour des années 1740 et au début du 19^{ème} siècle en Afrique (Joke, 2005). Au Burkina Faso, la culture du soja a connu ses débuts dans les années 1970 (Zongo, 2013). Sa culture a permis d'améliorer le régime alimentaire de nombreuses populations dans les régions défavorisées de tous les continents (FAO, 2003).

1.2.2. Classification et description botanique

La classification phylogénétique *Angiosperm phylogeny Group III* (APG III) du Soja cultivé, *Glycine max*, indique qu'il appartient à la classe des Magnoliopsida, à l'ordre des Fabales, à la famille des Fabaceae, la sous famille des Faboideae, la tribu des Phaseoleae, et la sous tribu des Glyciminae. Il comprend une quarantaine d'espèces avec près de 4000 variétés (Rasolohery, 2007).

Le soja est une plante annuelle dont la tige dressée peut atteindre une longueur de 30 à 100 cm (CIRAD-GRET, 2002). La plante est entièrement revêtue de poils gris ou bruns. Les feuilles sont trifoliolées. Chaque foliole mesure 6 à 15 cm de long et de 2 à 7 cm de large. Les fleurs, en forme de papillon de couleur mauve, sont discrètes car petites et insérées très près de la tige. Ces fleurs se transforment en gousses velues qui, à maturité, prennent une couleur foncée et contiennent en moyenne trois grains (CIRAD-GRET, 2002).



Figure 3 : Morphologie générale de la plante de soja

Source : www.naturemenia.com/soja (2016)

1.2.3. Ecologie de la culture

Le soja est une plante fragile qui craint l'excès d'humidité. La plante du soja s'adapte à des sols sensiblement pauvres et acides. Le pH des sols à soja est de 6 à 6,5. La température optimale varie de 25 à 33°C (CIRAD, 2002). Les faibles températures affectent le taux de nouaison et par conséquent réduisent considérablement la productivité de la plante.

1.2.4. Intérêts liés à la culture du soja

1.2.4.1. Qualités alimentaires et mode d'utilisation

Le soja est un constituant majeur dans l'alimentation humaine et animale (Joke, 2005). En effet, en plus de sa capacité intrinsèque à fixer l'azote atmosphérique, le soja est cultivé pour ses grains oléagineux, riches en protéines, en matières grasses, en sels minéraux et en vitamines (**Figure 2**). L'huile extraite dans le grain de soja présente une composition nutritionnelle particulière, faisant d'elle la principale huile oléagineuse de consommation humaine du monde (Rienke et Joke, 2005). Selon le même auteur, la teneur en huile du grain de soja représente 14 à 25% de la matière sèche. Aussi, si les grains de soja sont aptes à la consommation humaine telles quelles, sont-elles généralement triturées afin de produire du tourteau de soja contenant 30 à 50% de protéines utilisées principalement dans l'alimentation animale et bien d'autres sous-produits comme la lécithine, un émulsifiant naturel selon la pour le monde de la vie sauvage en 2014. Les usages gastronomiques du soja sont multiples et il possède une excellente qualité nutritionnelle. On y distingue : le lait de soja, la farine de soja, le tofu de soja et la sauce de soja qui sont consommés il y'a très longtemps en Chine et au Japon (Joke, 2005). Aussi, la farine déshuilée de soja entre pour une bonne part dans l'industrie alimentaire notamment, la pâtisserie, les pâtes alimentaires, le fromage, les aliments pour enfants, et les aliments de régime (diabétiques). Au Burkina Faso, en plus de sa transformation traditionnelle en soubala, on peut noter le couscous, l'huile, le lait et les brochettes du soja.

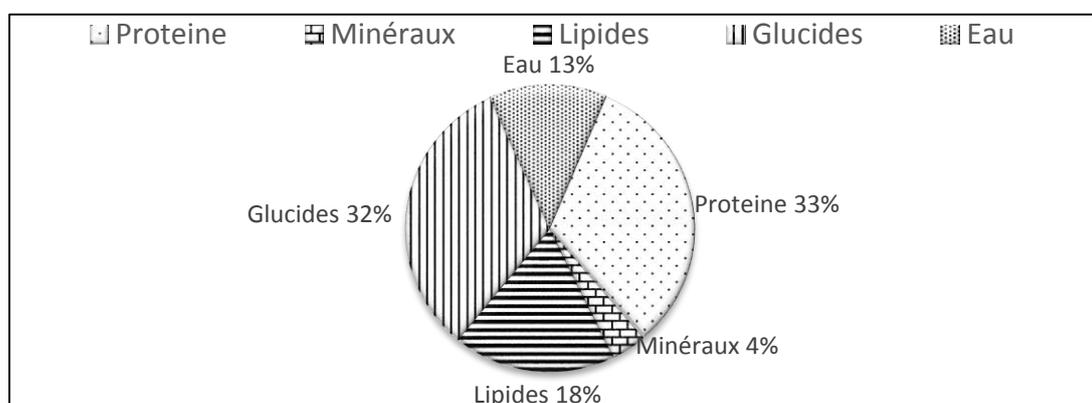


Figure 4: Composition du grain de soja à maturité.

Source : www.prolea.com (2016)

1.2.4.2. Intérêts agronomiques

A l'instar de toutes les légumineuses, le soja est non seulement capable de fixer naturellement l'azote de l'atmosphère grâce à leur relation dite symbiotique avec les bactéries du genre *Rhizobium* (Duc et *al.*, 2010), mais aussi de restituer en partie cet élément nutritif aux cultures suivantes ou associées. Ainsi, le soja constitue une source d'azote non négligeable contribuant à l'amélioration des agroécosystèmes en augmentant les rendements des cultures avec lesquelles elles sont utilisées en rotation tels que le sorgho (*Sorghum bicolor*), le coton (*Gossypium* spp) et le maïs (*Zea mays*). En effet, environ 40 à 90% de la ressource azotée d'une légumineuse est issue de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (Duc et *al.*, 2010). Aussi, le plant de soja présente-t-il des qualités écologiques très remarquables. Leur présence dans les rotations permet de diminuer de façon conséquente l'utilisation d'engrais minéraux azotés et de ce fait constitue une alternative à la réduction des pollutions des nappes phréatiques. En plus, le plant de soja peut être utilisé comme une culture de couverture du sol.

1.2.4.3. Intérêts économiques

Le soja constitue une source de revenus pour les acteurs de la chaîne de valeur. Le soja fournit environ 64% de l'offre mondiale de farines d'oléagineux et est la principale source d'huile, représentant environ 28% de la production totale (USDA, 2000). En effet, la majeure partie de la production mondiale de soja est transformée par trituration (USDA, 2000), opération qui permet l'extraction d'huile de soja et la production de tourteaux, utilisées massivement dans l'alimentation animale. En outre, la main d'œuvre que requiert la production du soja et sa transformation est d'une importance économique et sociale considérable. En effet, dans les pays où la production du soja est excédentaire comme le Brésil, l'Argentine, sa culture est fortement génératrice d'emploi rural. De ce fait, le soja est considéré comme synonyme de progrès et de développement par de nombreux agriculteurs.

1.2.5. Production

La production mondiale de soja grain a fortement augmenté pendant ces 20 dernières années (Solanet et *al.*, 2011). Depuis 2010, plus de 100 millions d'hectares sont cultivés dans le monde pour une production de plus de 260 millions de tonnes. En effet, entre 2010 et 2015 la surface emblavée a augmenté de 15%, passant de plus 100 à plus 115 millions d'hectares (FAO, 2015). Dans ce même intervalle, le volume de la production a connu une augmentation de 14%, passant de plus 260 à plus 300 millions de tonnes (FAO, 2015). Cette situation serait tributaire non seulement de la forte dépendance de l'Union Européenne en protéine végétale, mais aussi de l'intensification de la production animale (Solanet et *al.*, 2011). Cela devrait se

confirmer à l'avenir au regard de la croissance escomptée de la population mondiale et de son corollaire d'augmentation de la consommation en viande.

Plante annuelle, le soja tout comme de nombreuses plantes légumineuses est cultivé de manière significative dans de nombreux pays, mais la majorité de la production mondiale d'environ 80% est assurée essentiellement par trois (3) principaux pays exportateurs de soja que sont le Brésil (32%), les Etats-Unis (31%) et l'Argentine (25%) (FAO, 2015). Le soja, avant d'être considéré en Afrique comme une des solutions qui pourrait améliorer la qualité de l'alimentation des populations africaines (Karaboneye, 2013), est resté longtemps une culture marginale. Ce n'est que dans les années 1967 que l'IITA débuta son programme d'amélioration de lignées africaines de soja. Sa production en Afrique est principalement assurée par l'Afrique du sud, le Nigeria et le Zimbabwe (FAO, 2012). Au Burkina Faso, la production du soja reste encore assez faible. Mais depuis 2002, celle-ci connaît une nette augmentation, passant de 18,22% de la production des oléagineux de 2002 à 2007 à 32,96% de 2008 à 2012 (MASA, 2013) (**Figure 3**). Pour la campagne 2015/2016, la production du soja est de 20 021 tonnes. Elle est en hausse d'environ 33% par rapport à la campagne dernière.

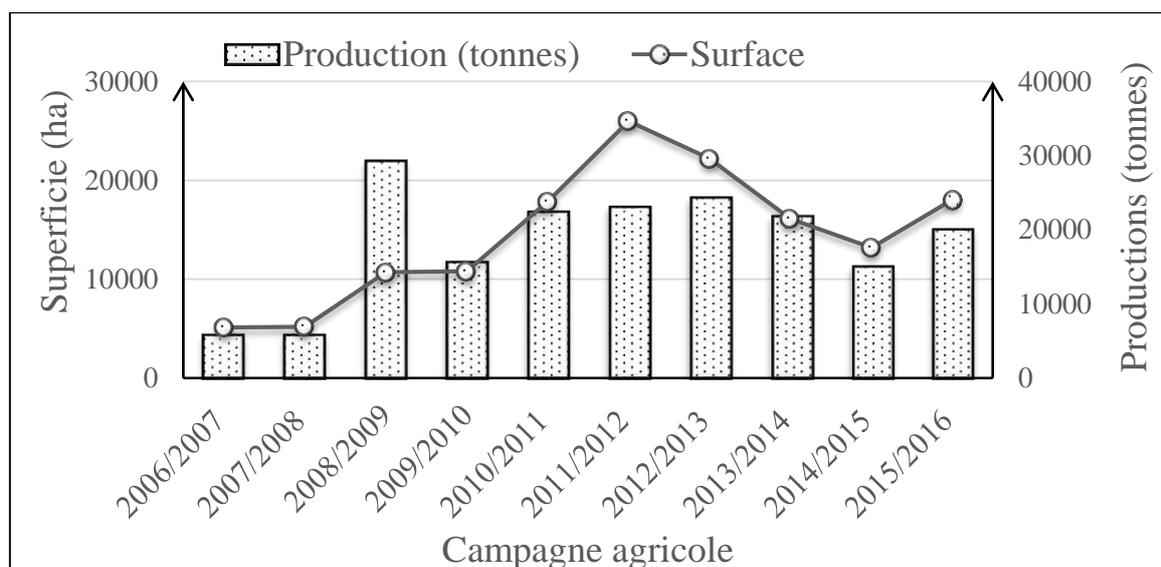


Figure 5 : Evolution des surfaces et production du soja au Burkina Faso de 2006 à 2016

Source : (FAOSTAT, 2015)

1.3. TECHNIQUE DE MICRO-DOSE

1.3.1. Définition

La micro-dose est une technique qui consiste à une application stratégique de petites quantités d'engrais dans le trou de semis ou à la base des plantes peu après semis (10 à 14 jours) (Hayashi et *al.* 2008; ICRISAT, 2009). C'est donc une technique qui vise non seulement à minimiser les coûts de production, mais aussi à améliorer les rendements et accroître ainsi le revenu agricole des petits producteurs (Tabo et *al.*, 2006).

1.3.2. Pratique de la technologie de micro-dose

La mise au point de la technologie de micro-dose d'engrais a commencé dans les années 1999 par des recherches en station puis des démonstrations en champs paysans dans les différents pays de la zone semi-aride notamment le Burkina Faso, le Niger et le Mali (FAO, 2012). Cette pratique est un élément de l'agriculture de conservation et de précision. L'application de la technique permet de réduire les quantités de NPK à appliquer à l'hectare de 12,5 kg pour les légumineuses et 37,5 kg pour les céréales (CILSS, 2012).

1.3.3. Impact pédologique de la technologie

La micro-dose est une technique de fertilisation, développée par ICRISAT, qui contribue à intensifier la production agricole et à réduire la quantité d'engrais utilisée (CILSS, 2012). Par conséquent, cette technique pourrait à long terme contribuer à réduire au minimum les émissions de gaz à effet de serre (GES) et d'éviter le développement des mauvaises herbes, ainsi que la décomposition accélérée de la matière organique du sol (Wocat, 2009). Selon Tabo et *al.* (2006), la technique d'apport de petites doses d'engrais dans les poquets favorise une assimilation plus efficace des nutriments tout en réduisant les risques associés au lessivage et au ruissellement. Aussi, les travaux de Buerkert (1995) et Bandoum (2001) confirmés par celle de Rabi (2013) et Ibrahim (2015), ont indiqués que la technique, sagement appliquée, stimule le prélèvement des éléments nutritifs initialement présents dans le sol par les cultures à travers la prolifération des racines latérales à l'intérieur de la couche superficielle. Ce qui justifie de toute évidence les accroissements de rendement des cultures. Par contre, Tabo et *al.* (2006) ont démontré que le risque qu'un déséquilibre nutritif se développe est inévitable, si la matière organique n'est pas remplacée dans le sol. La pratique de la technique de micro-dose seule pourrait entraîner une dégradation des sols à long terme. De ce fait, une application adéquate de cette technique nécessite un amendement du sol en matière organique. Cette capacité à augmenter de façon substantielle les rendements ainsi que le revenu des producteurs de petite exploitation est parfois remise en cause. Les raisons de cet état de fait sont multiples. Entre

autres, une pluie très importante en début de campagne pourrait entraîner un lessivage des engrais (Rabi, 2013), diminuant ainsi l'efficacité de ces derniers. Aussi, selon Pieri (1989), les effets pervers des engrais minéraux en cas d'alimentation hydrique insuffisante pourraient également entraîner une baisse d'efficacité de la micro-fertilisation et par conséquent une faible productivité au niveau des cultures.

1.3.4. Impact socio-économique de la technologie

Mise en œuvre principalement dans trois pays d'Afrique de l'ouest notamment le Burkina Faso, le Mali et le Niger, la micro-dose a fourni des résultats probants. Elle a fortement contribué à améliorer les revenus des producteurs. En plus des gains supplémentaires de rendement des cultures, les producteurs bénéficient d'une plus grande quantité de tiges qui peuvent être étalées sur la parcelle pour augmenter la matière organique du sol ou servir à nourrir les animaux (FAO, 2012).

Au Mali, les rendements grains de sorgho et de mil issus de cette technique de micro-fertilisation sont de 107% et 61% respectivement plus élevés que ceux du témoin sans engrais CORAF (2011). Pour le cas du mil, les gains financiers, qui en sont tirés, étaient de 68% plus élevés que ceux obtenus avec le témoin sans engrais et 33% supérieurs à ceux issus de la fertilisation minérale conventionnelle.

Au Niger, toujours concernant le mil, des résultats similaires, aussi bien pour les rendements que pour les revenus, ont été obtenus.

Les rendements du sorgho, du mil, du niébé, de l'arachide et du sésame ont respectivement augmenté de 67 %, 57 %, 97 %, 26 % et 42 %, selon les années et les pays (CORAF, 2011). L'amélioration de la productivité a entraîné parallèlement celle des revenus des producteurs.

Le rapport valeur-coût de la micro-dose varie de 2 à 7, selon les cultures, les conditions pédoclimatiques et l'année, au Burkina Faso (Taonda et *al.*, 2015). Selon (CORAF, 2011), le revenu tiré de l'application de la fertilisation par micro-dose au Burkina Faso sur le mil, faisait le double de celui obtenu avec la fertilisation minérale à la dose vulgarisée, et sur le sorgho, deux fois et demie. Cependant, sa forte demande en main d'œuvre (30 heures par hectares) et des difficultés liées à l'accessibilité physique et financière des engrais minéraux pourraient limiter considérablement mise en œuvre. Ainsi, afin de pallier ces contraintes, cette technique doit être couplée au système de warrantage. Ce système initié, en 1999, au Niger, par la FAO, permet aux producteurs d'avoir accès au crédit qui leur permet d'acquérir des intrants agricoles tels que les engrais minéraux, tout en stockant, à titre de garantie, leur produits agricoles pour les vendre aux meilleurs prix, au moment opportun. Par ailleurs, cette capacité de la technique à stimuler l'absorption des éléments nutritifs du sol a suscité des inquiétudes. En effet, (Singh

et Ajeigbe, 2007) ont noté que l'utilisation moyenne de $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ d'engrais en Afrique de l'Ouest entraîne un solde négatif des nutriments dans les sols et la baisse continue des rendements des cultures. Cette situation perpétue la malnutrition, la faim et la pauvreté à travers le cercle vicieux (Singh et Ajeigbe, 2007) (**Figure 4**)

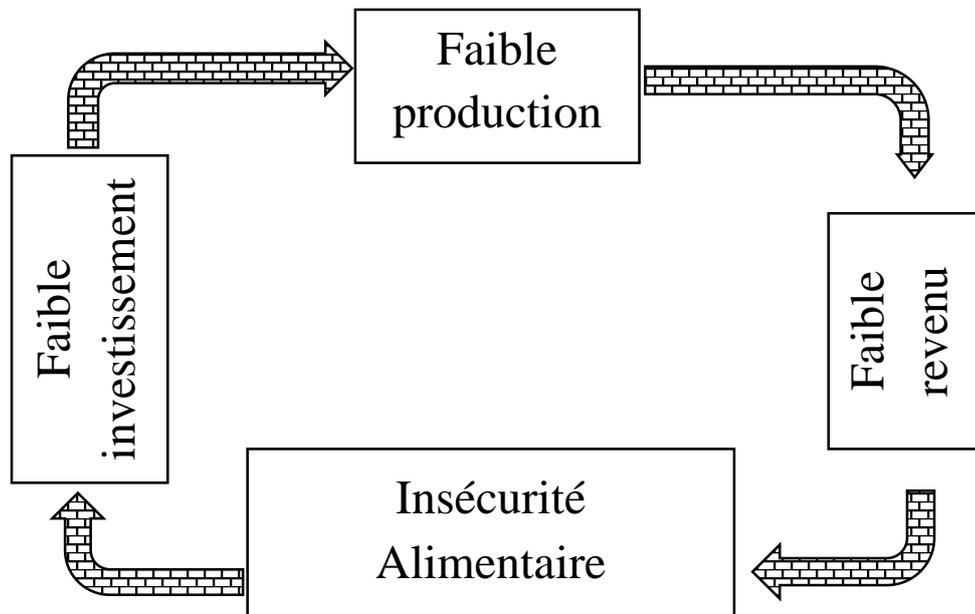


Figure 6: Le cercle vicieux de la pauvreté des petits producteurs
Source : Singh et Ajeigbe (2007)

Conclusion partielle

Le maïs et le soja ont été identifiés comme des cultures ayant une forte valeurs importante dans amélioration des conditions socio-économiques des populations qui les produisent. Ils contribuent fortement à la sécurité alimentaire et l'économie du Burkina Faso. Cependant, la production de ces deux cultures fait face à plusieurs contraintes, la rareté physique et financière ainsi que la méthode d'apport des engrais chimiques, conduisant à des faibles niveaux de production. L'apport localisé des engrais minéraux dans les poquets telle que définit se présente comme une technique palliative. De nombreuses études ont indiqués . L'évaluation des effets de cette pratique sur les rendements des ces cultures ainsi que sur l sol va permettre de non seulement améliorer les rendement des cultures du maïs et du soja, mais aussi de mieux gerer la productivités des sols dans une logique de gestion durable des ressources naturelles.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. PRESENTATION DES ZONES D'ETUDE

La présente étude s'est déroulée dans les régions du Centre-Ouest et du Centre-Sud appartenant à la zone sud-soudanienne du Burkina Faso. Dans chaque région, une province a été identifiée et dans chacune d'elle, deux communes à savoir Léo et Bieha dans la province de la Sissili; Pô et Tiébélé dans le Nahouri ont été choisies. Le choix porté sur ces localités s'est fondé sur le savoir-faire des producteurs relativement à leur technique de production du maïs et du soja et l'importance de la production de ces spéculations dans la zone.

2.1.1. Situation géographique

La Province de la Sissili ainsi que celle du Nahouri sont situées dans la partie Sud du Burkina Faso. La province de la Sissili s'étend entre 11° et 12° de latitude Nord, et 1° et 2° de longitude Ouest. Elle est limitée à l'Est et au Nord-Est par les Provinces du Nahouri et du Ziro, à l'Ouest par les Provinces du Ioba et des Balés, au Nord et Nord-Ouest par les Provinces du Boulkiemdé et du Sanguié, au Sud par la République du Ghana. L'étude dans cette province a concerné la commune de Léo, chef-lieu de la province et celle de Bieha, commune rurale située à 31 km du chef-lieu de la province.

Quant à la province du Nahouri, elle est située entre 11° et 11°30' de latitude Nord et 1°40' et 0°40' de longitude Ouest. Elle est limitée au Sud par la République du Ghana, à l'Est par les Provinces du Boulgou et de Zoundweogo, au Nord par les provinces du Bazéga et du Boulgou, et à l'Ouest par les Provinces de la Sissili et du Ziro. Dans cette localité, les communes de Pô, chef-lieu de la province et de Tiébélé, commune rurale distant de 37 km de Pô ont été identifiées.

La **figure 7** illustre la situation géographique des provinces d'étude et présente les communes qui ont été concernées par les tests.

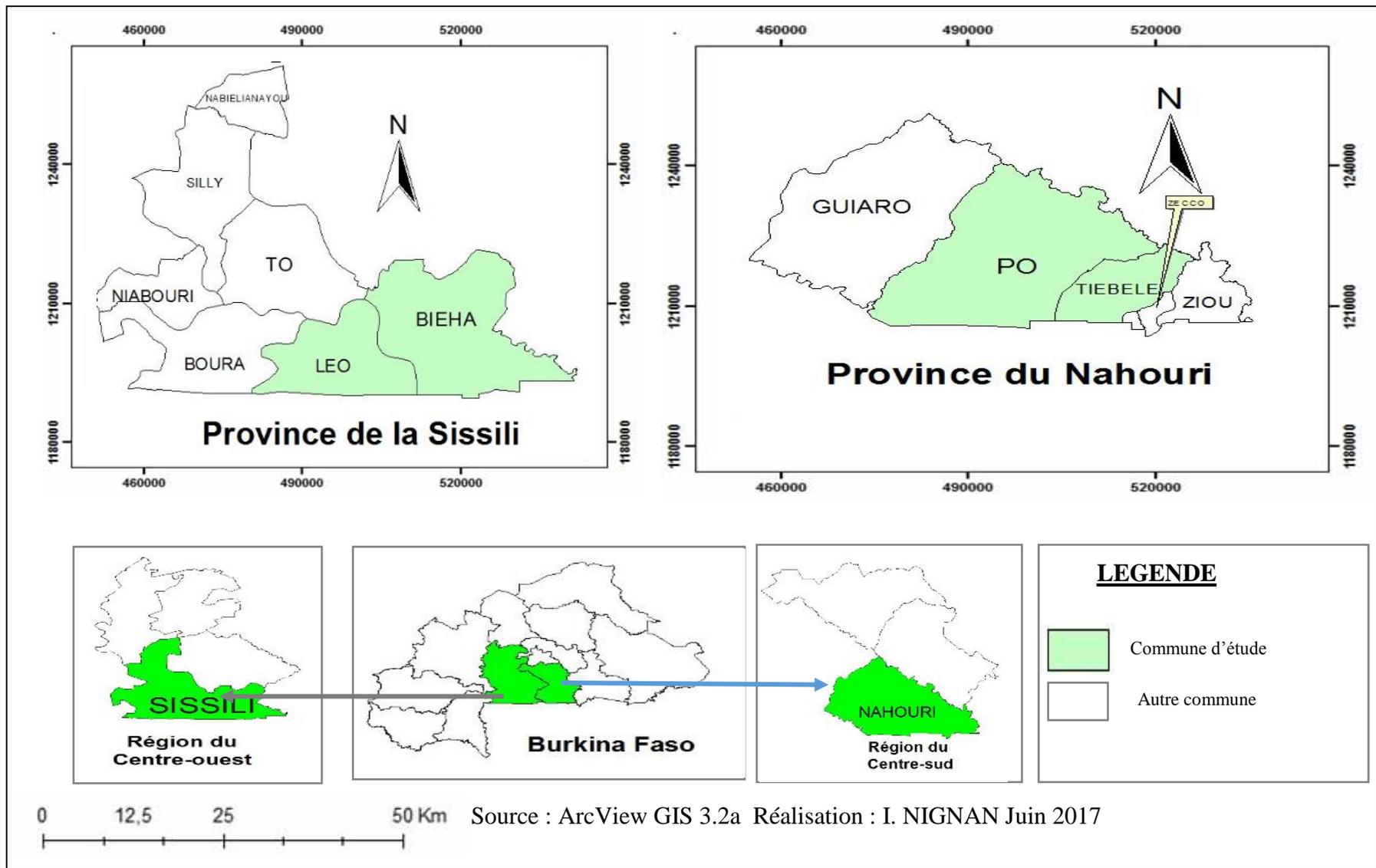


Figure 7 : Localisation des quatre zones d'étude : Léo et Bieha et Pô et Tiébé

2.1.2. Climat, Végétation et Sols

2.1.2.1. Climat

Les sites de l'étude sont localisés dans les provinces de la Sissili et du Nahouri avec un climat caractérisé par deux (02) types de saison : une saison sèche d'octobre à avril (7mois) et une saison de pluie de mai à septembre (5mois). L'évolution interannuelle des pluies de ces cinq dernières années, montre qu'il existe d'importantes disparités pluviométriques selon les zones et une variabilité de la durée de la saison pluvieuse. Cela entraîne des conditions aléatoires pour les semis et la productivité des cultures. Dans la province de la Sissili, de 2009 à 2015 les précipitations annuelles ont oscillé entre 750 et 1300 mm, pour un nombre de jours pluvieux variant entre 50 et 70 jours (DPASA/Sissili, 2016), (**Figure 8**). Et dans la province du Nahouri, les précipitations ont oscillé de 850 à 1200 entre 2009 et 2015 (DGESS, 2016) (**Figure 8**). En 2016, la saison des pluies a été assez bonne. Elle s'est étalée sur sept mois avec 1147 mm d'eau tombée en 58 jours et 1162 mm d'eau tombée en 73 jours respectivement pour la commune de Léo et celle de Pô.

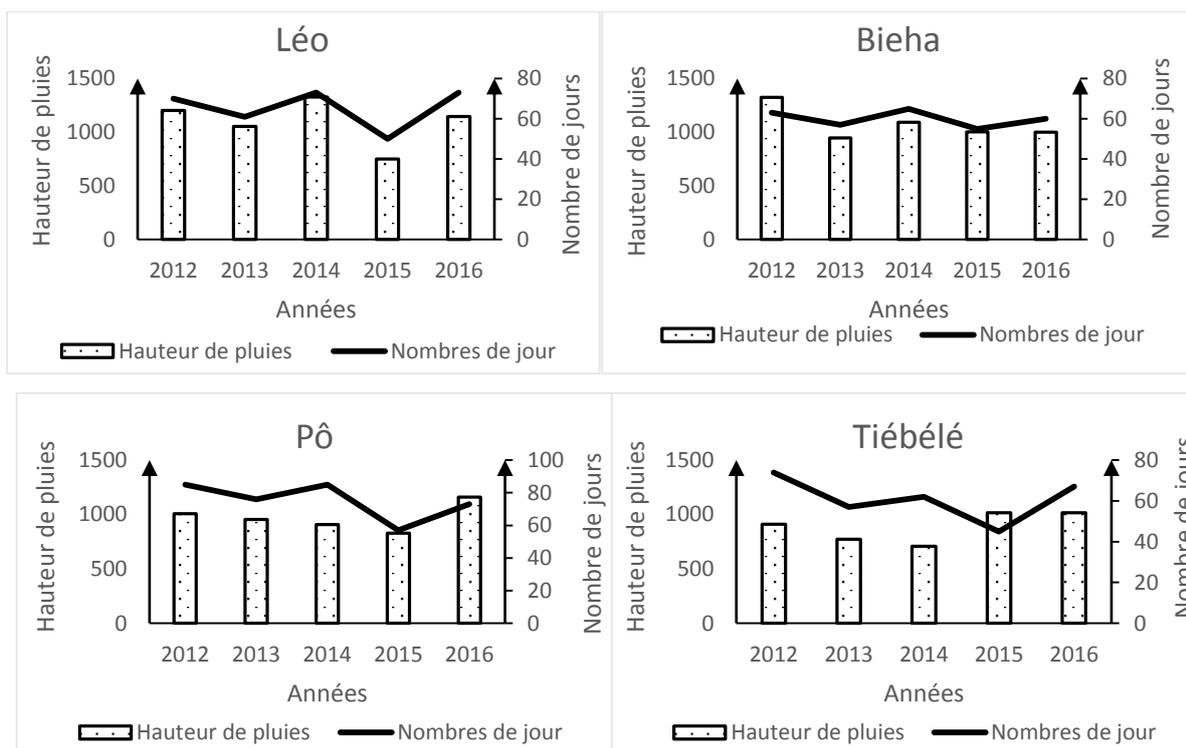


Figure 8 : Variabilité pluviométrique des huit (08) dernières années

2.1.2.2. Végétation

La Province de la Sissili est caractérisée par une savane principalement arborée avec toutes ses variantes liées aux conditions édaphiques. La composition floristique est assez variée

et comprend les principales essences suivantes : *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br., *Pterocarpus erunaceus* Poir., *Combretum spp Tamarindus indica* L., *Andansonia digita* L., *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f., etc. La prédominance de *Vitellaria paradoxa* (Jacq.) R. Br. dans cette zone fait d'elle la plus productrice de beurre de karité de la région du Centre-Ouest.

La végétation de la Province du Nahouri est constituée de savanes arbustives à strate herbacée constituée de : *Andropogon ascinodis* C. B. Clark, *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston, *Loudetia togoensis* (Pilg.) C. E. Hubb., *Andropogon pseudapricus* Stapf. et *Microchloa indica* (L.f.) P. Beauv. La strate ligneuse comprend *Vitellaria paradoxa* (Jacq.) R. Br., *Gardenia erubescens* Stapf & Hutch., *Acacia dudgeoni* Craib ex Hall., *Pteleopsis suberosa* Engl. & Diels, *Combretum glutinosum* Perr. et *Terminalia avicennioides* Guill. & Perr.

2.1.2.3. Sols

La province de la Sissili appartient à la zone géologique de socle cristallin, qui a donné naissance à cinq types d'horizons simplifiés (BUNASOLS, 1998) :

- les lithosols sur cuirasse ferrugineuse et roches diverses;
- les sols peu évolués d'érosion;
- les sols brunifiés ;
- les sols ferrugineux tropicaux;
- les sols hydromorphes.

D'une manière générale, les sols de la province sont caractérisés par une faible capacité d'échange cationique et un faible taux en matières organiques.

Dans le Nahouri, on rencontre (Kissou et al., 2003) :

- les sols à sesquioxyde caractérisé par une décomposition rapide de la matière organique et une pauvreté en éléments minéraux,
- les sols sodiques caractérisés par une texture moyenne à fine et une structure instable,
- les vertisols issues de substratum basique,
- les sols peu évolués;
- les sols hydromorphes

2.1.3. Activités agricoles

L'agriculture est la principale activité économique de la population dans les deux provinces. Dans la Sissili, les principales cultures vivrières sont : le mil, le sorgho, le maïs, le niébé et les cultures de rentes; sont principalement le coton, la patate, l'igname, le sésame et

l'arachide. Dans le Nahouri, les principales cultures vivrières sont entre autres le maïs, le sorgho (blanc et rouge), le mil et le riz. Comme cultures de rentes l'arachide, le sésame et le coton sont prisées.

2.2. MATERIEL

2.2.1. Matériel végétal

Une variété de soja et deux variétés de maïs ont été utilisées pour la présente étude. Ce sont la variété soja *G196* dont le cycle de développement est étalé de 105 à 115 jours, avec un rendement moyen de 1,5 t.ha⁻¹ et les variétés de maïs *Komsaya* et *Wari* avec respectivement un cycle de production de 97 et de 91 jours, et un rendement potentiel de 8 à 9 et de 5,5 t.ha⁻¹ (**annexe 5**). La variété de soja *G196* et de maïs *Komsaya* ont été utilisées dans les communes de Léo et Bieha de la province de la Sissili. Tandis que la variété de maïs *Wari* et également de soja *G196* ont été produites dans les communes de Pô et Tiébélé de la province du Nahouri.

2.2.2. Fertilisants minéraux

Dans cette étude, deux fertilisants minéraux (engrais) ont été utilisés. Il s'agit notamment:

- du NPK de formulation 14-23-14-6S-1B
- de l'Urée de formulation 46% N

2.3. Méthode

L'étude s'est basée sur deux approches pour atteindre les objectifs assignés. Elle a consisté d'une part à des tests agronomiques et d'autre part à une collecte des données sur les pratiques paysannes de la production du maïs et du soja à travers un entretien avec les producteurs.

2.3.1. Enquête

L'enquête a été conduite auprès de seize (16) producteurs concernés par les tests de la micro-dose du Réseau-MARP. Ces producteurs ont été sélectionnés suivant un certains nombres de critères que sont :

- Le producteur doit accepter l'enquête ;
- Etre disponible pour l'enquête ;
- Disposé d'un terrain pour porter le dispositif ;

- Produire à la fois le maïs et le soja.

L'entretien a consisté en une discussion avec les producteurs de la Sissili et du Nahouri sur les modes de fertilisation utilisés pour la culture du maïs et du soja. La méthode utilisée a été des entretiens structurés avec comme outil principal un questionnaire. (Annexe 4). Afin de mieux cerner l'objectif de l'étude, la performance agro-économique de ces pratiques a été évaluée et comparée à celle de la micro-dose à l'issue de l'enquête.

2.3.2. Tests agronomiques

2.3.2.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés chez seize (16) producteurs dont huit (08) dans chacune des provinces. Le dispositif expérimental utilisé est un dispositif en bloc complet dispersé. Il est composé de quatre (4) parcelles élémentaires réparties en deux (2) groupes de deux (2) parcelles chez chaque producteur. Un groupe pour la technique de culture du maïs et le second pour celle du soja. Chaque producteur expérimentateur est considéré comme une répétition de l'essai. Les parcelles élémentaires sont séparées par des allées de 2 m. (**Figure 6**). Les dimensions des parcelles sont de 40 m x 40 m dans la Sissili (**Figure 6a**) et de 25 m x 25 m dans le Nahouri (**Figure 6b**). Des pratiques paysannes sur les deux cultures et chez chaque producteur ont été considérées au moment de l'évaluation finale. Les traitements qui ont été testés chez chaque producteur et sur chaque culture sont consignés dans le **tableau I**.

Tableau I: Récapitulatif des traitements administrés aux cultures (kg.ha⁻¹)

Traitements	Types d'engrais	Formulation	Maïs	Soja
Pratique paysanne	NPK	14N-23P-14K	136,5	65
	Urée	46%N	68,5	0
Dose vulgarisée	NPK	14N-23P-14K	150	100
	Urée	46%N	100	0
Micro-dose	NPK	14N-23P-14K	62,5	62,5
	Urée	46%N	62,5	0

Source : données d'enquête

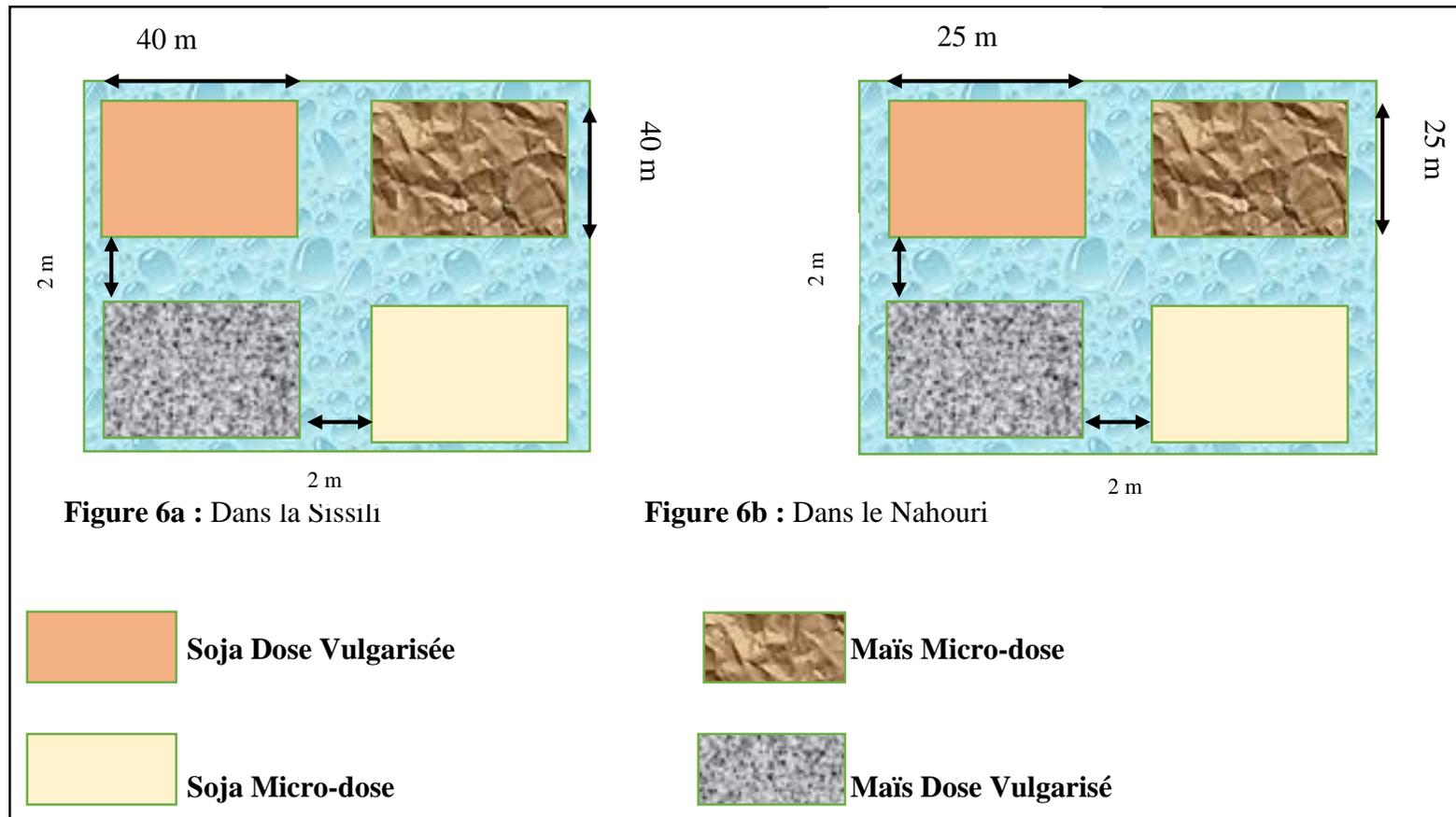


Figure 9 : schéma du dispositif expérimental de l'essai

2.3.2.2. Conduite des essais agronomiques

- **Préparation des parcelles et Semis**

Toutes les parcelles ont été labourées à plat à la traction bovine. Le semis a été effectué aux écartements suivant les recommandations techniques de l'INERA : 2009

- 80 cm x 40 cm pour le maïs.
- 80 cm x 40 cm pour le soja.

- **Entretien des cultures et Récolte**

Concernant la pratique de la micro-dose, le NPK a été apporté au semis et l'Urée à 45 jours après semis (JAS). Pour ce qui est de la dose vulgarisée, le NPK a été appliqué 15 JAS et l'Urée a été apportée en deux fractions dont la première moitié 15 jours après semis (JAS) suivie d'un enfouissement par sarclage manuel. La deuxième moitié a été apportée 45 JAS suivie d'un buttage.

La récolte s'est faite par parcelle élémentaire. Dans chacune d'elles, deux (2) carrés de rendement de 9 m² ont été délimités pour toutes les mesures. Les poids grain, paille et fane ont été déterminés par pesée directe à l'aide d'une balance de précision 10⁻⁴g. Pour ce qui est de la récolte des parcelles des producteurs, deux carrées de rendements de 9 m² ont été également délimités pour les mêmes mesures.

2.3.2.3. Echantillonnage

Des échantillons composites ont été réalisés à partir de quatre (04) points de prélèvements suivant la diagonale de chaque parcelle élémentaire avant semis et après la récolte dans les parcelles ayant portées le dispositif. L'échantillonnage à la récolte a été fait à proximité des poquets. Les prélèvements ont concerné la profondeur 0-20 cm. Au total soixante-quatre (64) échantillons ont été retenus, séchés tamisés à l'aide d'un tamis de 2 et de 0,5 mm pour être soumis à des analyses au laboratoire Sol-Eau-Plante de CREAM de Kamboinsé.

2.3.2.4. Analyses chimiques du sol

Dans le cadre de cette étude cinq (05) paramètres que sont le pH (eau, KCl), l'azote total, le potassium, le phosphore assimilable et le carbone ont été dosés. Toutes les analyses ont été réalisées au laboratoire « Sol-Eau-Plante » de Kamboinsé.

- **Mesure du pH**

La détermination des pH (eau et KCl) des sols a été effectuée par lecture directe sur un pH-mètre à électrode en verre. La solution utilisée pour la lecture a été préparée dans le rapport sol/eau ou sol/KCl (1 M) égale à 2/5 selon la méthode Afnor (1981).

- **Dosage du carbone**

Le dosage du carbone organique s'est fait par la méthode de Walkley et Black (1934). L'oxydation est faite par du dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) 1N en milieu acide sulfurique. Le dosage de l'excès de dichromate du potassium se fait en solution 1 N par du sel de Mohr 0,5 N ($Fe(SO_4)_2(NH_2)_2$) en présence d'un indicateur coloré (phénolphtaléine).

- **Dosage de l'azote total et du potassium total**

Pour la détermination de N-total, et K-total, les échantillons de sol ont d'abord été minéralisés à chaud avec un mélange H_2SO_4 - Se - H_2O_2 (Houba, van der Lee & Novozamsky, 1997). Par la suite les teneurs N-total ont été déterminées dans les minéralisats à l'aide d'un calorimètre automatique SKALAR (Segmented flow analyser, model SAN^{plus} 4000-02, Skalar Hollande). Le K-total a été déterminé à l'aide d'un photomètre de flamme (JENCONS. PFP 7, Jenway LTD, Felsted, England).

- **Extraction et dosage du phosphore Bray I**

L'extraction du phosphore assimilable a été faite selon la méthode Bray I (BRAY et KURTZ, 1945). Cette méthode consiste à extraire les formes de phosphore soluble avec une solution mixte d'acide chlorhydrique (0,025 M) et de fluorure d'ammonium (0,03 M). La solution permet l'extraction du phosphore acide-soluble avec une grande partie de phosphore liée au calcium et une portion liée à l'aluminium et au fer. Le fluorure d'ammonium dissout les phosphates de fer et d'aluminium en formant des complexes avec ces métaux en milieu acide. Le rapport pris d'essai/solution d'extraction de 1/7 a été utilisé. Le dosage des filtrats a été effectué à l'aide d'un spectrophotomètre de marque Uviline 9400 à la longueur d'onde 720 nm.

2.3.2.4. Paramètres agronomiques mesurés

- **Les Paramètres mesurés**

- Le poids grain et paille du maïs
- Le poids grain et fanes du soja.

Les rendements grains, pailles et fanes des cultures du Maïs et du Soja ont été obtenus par la formule ci-dessous ou X = grains, pailles ou fanes

$$\text{Rendement X (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Poids (kg)X}}{18 \text{ m}^2} * 10000 \text{ m}^2$$

▪ **Taux d'accroissement de rendement (TAR)**

$$\text{TAR} = \frac{\text{Rdt du traitement} - \text{Rendement PP}}{\text{Rendement témoin}} * 100$$

Avec PP : Pratique Paysanne

2.3.2.5. Calcul de la rentabilité économique

Dans le cadre de cette étude, l'évaluation de la performance économique des techniques appliquées était basée sur le ratio valeur sur coût (RV/C) et sur la productivité de la main d'œuvre. Cela a permis au terme de cette étude de proposer la meilleure option parmi toutes les techniques appliquées. Pour Deville (1996), la détermination de la productivité de la terre et celle du travail (rémunération de la main d'œuvre) constituent des conditions sine qua non pour l'évaluation de l'efficacité d'un processus de production. Le RV/C évalue en effet, la rentabilité économique des techniques appliquées à travers les composantes de rendement (paille et grain). La formule est la suivante:

$$\text{RV/C} = \frac{(\text{P}^{\circ}\text{M2} - \text{P}^{\circ}\text{M1}) * \text{Prix du produit}}{\text{CtFM2} - \text{CtFM1}}$$

P°= Production, **M1**=dose vulgarisée, **M2**=micro-dose, **CtF**=coût de fertilisant

Selon Delville (1996) :

Si **RV/C < 2**, la technique n'est pas rentable, au contraire une perte d'argent est enregistrée ;

Si **RV/C = 2**, la technique n'est pas rentable mais il n'y a pas de perte. Le gain de rendement permet de couvrir les dépenses effectuées pour l'achat de l'engrais ;

Si **RV/C > 2**, la technique est considérée comme rentable. Elle permet non seulement de couvrir les dépenses, mais aussi de dégager un bénéfice.

Les calculs ont été faits avec les coûts et prix suivants : 330 F CFA.kg⁻¹ d'engrais NPK et 300 F CFA.kg⁻¹ d'Urée ; 125 F CFA.kg⁻¹ de grains de maïs et 8 F CFA.kg⁻¹ de paille ; 190 F CFA.kg⁻¹ de grains de soja et 25 F CFA.kg⁻¹ de fane ; coûts d'opportunité de l'application de la micro-dose sur 1 ha = 4 500 F CFA (ICRISAT, 2015) ; la micro-dose revient à 62,5 kg d'engrais NPK et d'Urée. Tous les prix estimation ont été obtenu à l'issu des enquêtes menées auprès des producteurs.

- **Taux d'accroissement du revenu (Tar)**

$$Tar = \frac{\text{Revenu traitement} - \text{revenu témoin}}{\text{Revenu témoin}} * 100$$

2.3.4. Analyse statistique des données

L'analyse de variance (ANOVA) a été utilisée afin de tester les hypothèses d'une influence de la micro-dose sur les performances agro-pédologiques des cultures du maïs et du soja. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel GenStat 9.2. La séparation des moyennes a été effectuée par le test de Student Newman et Keuls au seuil de 5%.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Résultats

3.1.1. Les caractéristiques des pratiques paysannes

3.1.1.1. La superficie exploitée et le rendement moyens

Au niveau du maïs, on note une superficie de 2,6 ha en moyenne exploitée par chaque producteur. Ce qui correspond à 1,45 ha au Nahouri contre 3,7 ha dans la Sissili. La superficie exploitée par ménage en maïs dans la Sissili représente le double de la superficie exploitée au Nahouri pour la même spéculatation. Par contre pour le soja, la superficie moyenne exploitée est de 0,75 ha, soit 0,7 ha au Nahouri et 0,8 ha dans la Sissili (**Tableau II**).

Tableau II : Superficie moyenne (ha)

	Cultures	Sissili	Nahouri	Moyenne
Superficie (ha)	Maïs	3,7	1,45	2,6
	Soja	0,8	0,7	0,75

Source : données de l'enquête, février 2017

3.1.1.2. Utilisation d'intrants et Niveau de mécanisation

L'analyse des résultats de l'enquête montrent que tous les ménages enquêtés font recours aux engrais minéraux pour la production agricole du maïs et du soja. Ces résultats montrent en moyenne pour la culture du soja une utilisation de 68 kg.ha⁻¹ et 69 kg.ha⁻¹ du NPK respectivement dans la Sissili et le Nahouri. Pour ce qui est du maïs, dans la Sissili, on a enregistré en moyenne un apport de 142 kg.ha⁻¹ et 67 kg.ha⁻¹ respectivement NPK et l'Urée, contre 131 kg.ha⁻¹ et 63 kg.ha⁻¹ dans le Nahouri (Tableau III). Contrairement au maïs, aucun apport en Urée n'a été effectué sur le soja. Cela est lié aux que cette culture est une culture légumineuse. Par ailleurs, les résultats montrent qu'aucun apport de fumure organique n'a été effectué durant les trois dernières années d'exploitation avant l'implantation de l'expérimentation.

Tableau III: Utilisation d'engrais

Provinces	NPK (Kg.ha ⁻¹)		Urée (Kg.ha ⁻¹)	Fumure (3 ans)
	Soja	Maïs	Maïs	
Sissili	69	142	67	0
Nahouri	68	131	63	0

Source : Données de l'enquête, février 2017

3.1.2. Effets agronomiques des traitements sur la production des cultures

3.1.2.1 Rendements du maïs au niveau de chaque commune

L'effet agronomique des traitements sur le rendement en grain et en pailles du maïs par commune est consigné dans le **tableau IV**.

Tableau IV : Rendements moyens en grains et pailles du maïs (kg.ha⁻¹) des traitements

Trts	Rendements (kg.ha ⁻¹)							
	Sissili				Nahouri			
	Léo		Bieha		Pô		Tiébélé	
	grain	Paille	grain	Paille	grain	Paille	grain	Paille
M0	1497 ^b	2128	991 ^c	1425 ^b	944 ^b	1222	909 ^c	1733 ^c
M1	1769 ^b	1790	1944 ^b	2485 ^{ab}	1775 ^a	2462	1725 ^b	2275 ^b
M2	2812 ^a	3228	2731 ^a	3410 ^a	1319 ^{ab}	1782	2583 ^a	2800 ^a
P-Value	0,008	0,298	0,001	0,042	0,014	0,069	<0,001	<0,001
Sign.	HS	NS	HS	S	S	NS	THS	THS
CV(%)	23,5	53,6	23,7	38,0	23,1	35,6	14,6	9,7

Les valeurs affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité avec le test de Newman Keuls. S : Significatif ; HS : Hautement Significatif ; THS : Très Hautement Significatif, NS : Non Significatif. **M0** : Pratique Paysanne, **M1** : Dose vulgarisée, **M2** : Micro-dose.

Dans la commune de Léo, les rendements grains ont varié de 1497 kg.ha⁻¹ M0 à 2812 kg.ha⁻¹ M2 avec un coefficient de variation de 23,5%. Quant aux rendements en paille, ils ont variés de 1790 kg.ha⁻¹ M1 à 3228 kg.ha⁻¹ M2 avec un fort coefficient de variation de 53,6%. L'ANOVA a montré que M0 et M1 n'ont pas été statistiquement différents au seuil de 5%, pour ce qui concerne le rendement en grains. M0 et M1 ont constitué un groupe homogène. Par contre, une différence hautement significative (P = 0,008) a été observée entre ces deux groupes et M2. Par contre, aucune différence significative au seuil de 5% n'a été observée pour ce qui est du rendement en paille. Les surplus de rendement dû à l'utilisation de M2 sont de l'ordre de 88% et 59% par rapport à M0 et M1 pour le rendement en grain et de l'ordre de 52% et 80% comparé aux traitements M0 et M1, respectivement.

Dans la commune de Bieha, le traitement M2 (2731 kg.ha⁻¹) a donné le meilleur rendement en grain. Il est suivi du traitement M1 (1944 kg.ha⁻¹). Le plus faible rendement (991 kg.ha⁻¹) a été obtenu avec le traitement M0. Les coefficients de variation se situent entre 23,7 et 38% pour le rendement en grain et paille, respectivement. Ainsi, un surplus de rendement dû à M2 de 40% et de 176% par rapport respectivement à M1 et M0 ont été obtenu. Pour le rendement en paille, le même ordre de classement a été enregistré avec des valeurs de 3410

kg.ha⁻¹, 2448 kg.ha⁻¹ et de 1425 kg.ha⁻¹ respectivement pour M2, M1 et M0. A ce niveau, M2 a permis d'obtenir une augmentation de rendement de 37% et de 139%, comparée respectivement aux traitements M1 et M0. L'ANOVA a relevé une réponse hautement significative ($p = 0,001$) entre les différents traitements sur le rendement en grain. En ce qui concerne le rendement en paille, les traitements M0 et M1 n'ont pas présenté de différences significatives. Il en était de même pour les traitements M1 et M2. Par contre une différence significative ($P = 0,042$) a été observée entre les traitements M0 et M2.

A Pô, les résultats de l'étude sur le rendement en grain ont varié entre 1775 kg.ha⁻¹ (M1) et 944 kg.ha⁻¹ (M0) avec un coefficient de variation de 23,1%. Tandis qu'ils ont varié entre 2462 kg.ha⁻¹ (M1) et 1222 kg.ha⁻¹ (M0) pour ce qui est du rendement en paille avec un coefficient de variation de 35,6%. Ici, que ce soit le rendement en grain ou paille le traitement M1 a obtenu le rendement le plus élevé. Ainsi, l'utilisation du traitement M2 a entraîné des pertes de l'ordre de 26% par rapport à M1 pour le rendement en grain et de l'ordre de 35%. Sur le rendement en grain, L'ANOVA a montré que les traitements M0 et M2 ne présentaient pas de différence significative; il en est de même pour les traitements M1 et M2. Par contre, une différence significative ($P = 0,014$) a été relevée entre M0 et M1 au seuil de 5%. En ce qui concerne le rendement en paille, les traitements n'ont pas induit de différences significatives pour le rendement en paille.

Dans la commune de Tiébélé, les rendements grains ont varié de 909 kg.ha⁻¹ (M0) à 2583 kg.ha⁻¹ (M2). Quant aux rendements paille, ils ont variés de 1733 kg.ha⁻¹ (M1) à 2800 kg.ha⁻¹ (M2). Les coefficients de variation ont été de 14,6 et de 9,7% pour le rendement en grain et paille, respectivement. Les surplus de rendement dus à l'utilisation de M2 sont de l'ordre de 184% et 50% par rapport à M0 et M1 pour le rendement en grain et de l'ordre de 62% et 23% comparés aux traitements M0 et M1 pour le rendement en paille. L'ANOVA avec une probabilité $< 0,001$, a indiqué une réponse très hautement significative entre les traitements sur les rendements grain et paille.

3.1.2.2. Rendements du Soja au niveau de chaque commune

L'effet agronomique des traitements sur le rendement en grains et fanes du soja par commune est consigné dans le **tableau V**.

Tableau V: Rendements moyens en grains et fanes du soja ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) des traitements.

Traitements	Rendements ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)							
	Sissili				Nahouri			
	Léo		Bieha		Pô		Tiébélé	
	grain	fane	grain	fane	grain	fane	grain	fane
M0	642 ^b	905	655 ^c	819 ^b	658 ^c	603 ^b	886 ^b	889 ^b
M1	965 ^b	1159	1040 ^b	1128 ^{ab}	914 ^b	1090 ^a	1071 ^b	1187 ^a
M2	1411 ^a	1332	1784 ^a	1460 ^a	1280 ^a	1241 ^a	1339 ^a	1267 ^a
p-Value	0,002	0,055	<0,001	0,021	<0,001	0,023	0,003	0,010
Sign.	HS	NS	THS	S	THS	S	S	S
CV (%)	20,9	18,8	15,7	22,8	16,1	28,0	12,0	12,5

Les valeurs affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité avec le test de Newman Keuls. S : Significatif ; HS : Hautement Significatif ; THS : Très Hautement Significatif, NS : Non Significatif M0 : Pratique paysanne, M1 : Dose vulgarisée, M2 : Micro-dose, Sign. : Signification, CV : Coefficient de Variation

A Léo, les rendements grains ont varié de $642 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (M0) à $1411 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (M2) avec un coefficient de variation de 20,9%. Quant aux rendements en fanes, ils ont variés de $905 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (M0) à $1332 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (M2) avec un coefficient de variation de 18,8%. L'ANOVA n'a montré aucune différence statistiquement significative seuil de 5% pour le rendement en fane. Par contre, sur le rendement en grain, les traitements M0 et M1 n'ont pas induit une différence significative au même seuil. Ainsi, M0 et M1 ont constitué un groupe homogène. Le traitement M2 a été statistiquement différent de ce groupe avec une probabilité de 0,002. Les accroissements de rendement dus à l'utilisation de M2 sont de l'ordre de 120% et 46% par rapport à M0 et M1 pour le rendement en grain et de l'ordre de 47% et 15% comparés respectivement aux traitements M0 et M1 pour le rendement en fane.

A Bieha, les rendements grains ont varié de $655 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (M0) à $1784 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (M2) avec un coefficient de variation de 15,7%. Quant aux rendements en fanes, ils ont variés de $819 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (M1) à $1460 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (M2) avec un coefficient de variation de 22,8%. L'ANOVA a montré que les traitements ont eu un impact très hautement significatif ($p = 0,001$) sur le rendement en grains. Par contre, sur le rendement en fane, elle a indiqué que les traitements M0 et M1 n'ont pas été statistiquement différents ; de même que M1 et M2. Cependant, M0 a été significativement différent de M2 avec une probabilité de 0,02 au seuil de 5%. Les surplus

de rendement dus à l'utilisation de M2 sont de l'ordre de 172% et 72% par rapport à M0 et M1 pour le rendement en grain. Par contre, pour le rendement en fane, ces accroissements sont de l'ordre de 78% et 29% comparés respectivement aux traitements M0 et M1.

A Pô, le traitement M2 (1280 kg.ha⁻¹) a donné le meilleur rendement en grain. Il est suivi du traitement M1 (914 kg.ha⁻¹). Le plus faible rendement (658 kg.ha⁻¹) a été obtenu avec le traitement M0. Les coefficients de variation se situent entre 16,1 et 28% pour le rendement en grain et fane, respectivement. Ainsi, des surplus de rendement dus à M2 de 139% et de 37% par rapport respectivement à M1 et M0 ont été obtenus. Pour le rendement en fane, le même ordre de classement a été obtenu avec des valeurs de 1241 kg.ha⁻¹, 1090 kg.ha⁻¹ et de 886 kg.ha⁻¹, respectivement pour M2, M1, M0. A ce niveau, M2 a permis d'obtenir une augmentation de rendements de 40% et de 95%, comparée respectivement aux traitements M1 et M0. L'ANOVA a montré une différence très hautement significative pour le rendement en grain entre les traitements au seuil de 5%. Quant au rendement en fane, les traitements M0 et M1 n'ont pas été différents statistiquement. Dans ce groupe (M0, M1) homogène, les traitements pris individuellement ont été statistiquement différents ($p = 0,0023$) du traitement M2.

Enfin à Tiébélé, le traitement M2 (1339 kg.ha⁻¹) a donné le meilleur rendement en grain. Il est suivi du traitement M1 (1071 kg.ha⁻¹). Le plus faible rendement (886 kg.ha⁻¹) a été obtenu avec le traitement M0. Les coefficients de variation se situent entre 12 et 12,5% pour le rendement en grain et en fane, respectivement. Ainsi, des surplus de rendement dus à M2 de 25% et de 51% par rapport respectivement à M1 et M0 ont été obtenus. Pour le rendement en fane, le même ordre de classement a été obtenu avec des valeurs de 1267 kg.ha⁻¹, 1187 kg.ha⁻¹ et de 889 kg.ha⁻¹ respectivement pour M2, M1, M0. A ce niveau, M2 a permis d'obtenir une augmentation de rendements de 7% et de 43%, comparée respectivement aux traitements M1 et M0. L'ANOVA a montré que les traitements M0 et M1 n'ont pas induit de différences statistiques. Ce groupe (M0, M1) homogène est cependant statistiquement différent du traitement M2 au seuil de 5%. Pour le rendement fane, on note une différence significative entre le groupe homogène constitué par les traitements M1, M2 et le traitement M0.

3.1.3. Effets des traitements sur la fertilité chimique des sols

3.1.3.1. Les paramètres chimiques du sol après culture

Les principaux résultats obtenus des analyses des caractéristiques chimiques des sols après cultures sont consignés dans les **tableaux VI et VII**.

- Effets des traitements sur le pH

L'observation des résultats des analyses des sols indique que les valeurs moyennes des pH-eau sont comprises entre 5,18 et 6,54. Quant à celles du pH-KCl, elles oscillent entre 4,78 et 5,98, quels que soient la culture et le traitement. A l'exception des communes de Léo et Pô pour la culture de maïs et celle de Bieha pour la culture du soja, les résultats n'ont pas indiqué une différence statistiquement significative aussi bien pour le pH-eau que pour le pH-KCl entre les traitements.

- Carbone, l'azote, phosphore assimilable, potassium total et rapport C/N

Les résultats consignés dans le **tableau IV** indiquent que les valeurs moyennes du carbone varient entre 5,05 g.kg⁻¹ et 7,20 g.kg⁻¹ pour le maïs et entre 5,30 g.kg⁻¹ et 6,91 g.kg⁻¹ pour le soja. Les teneurs moyennes en N total sont comprises entre 0,43 g.kg⁻¹ et 0,63 g.kg⁻¹ et entre 0,45 g.kg⁻¹ et 0,54 g.kg⁻¹ respectivement pour le maïs et le soja. Le taux de matière organique est compris entre 1% et 1,29% avec un rapport C/N, oscillant entre 10 et 13 indépendamment des cultures. Par contre, plus de 70% ont un rapport de C/N situé entre 10 et 12,65. D'une manière générale, indépendamment de la culture et de la commune, l'analyse de variance a montré que les traitements n'ont pas induit de réponse statistiquement différent sur le carbone, N total, le potassium total, le phosphore assimilable, la MO et le rapport C/N. Sur le N total, les valeurs moyennes les plus élevées ont été obtenues avec le traitement de la dose vulgarisée en ce qui concerne la culture du maïs. Par contre, sur la culture du soja les valeurs moyennes les plus élevées sont obtenues avec le traitement de la micro-dose. Pour ce qui est du potassium total et du phosphore assimilable, les valeurs moyennes les plus élevées ont été enregistrées par le traitement de la dose vulgarisée et ce quelle que soit la culture

Tableau VI: Valeurs moyennes des paramètres chimiques du sol après culture du maïs.

Cme	Trts	pHeau	pHKCl	N-total	P-ass	K-total	Carbone	MO	C/N
				g/kg	mg/kg	g/kg	g/kg	%	
Léo	M1	6,04 ^a	5,61 ^a	0,58	10,21	1,76	6,80	1,09	11,72
	M2	5,46 ^b	5,13 ^b	0,54	10,05	1,08	6,16	1,20	11,41
	p-value	0,003	0,031	0,208	0,501	0,590	0,183	0,183	0,901
	Sign.	HS	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	CV(%)	2,9	4,4	26,5	71,6	44,3	26,6	24,3	4,4
Bieha	M1	6,54	5,98	0,63	15,90	0,94	7,20	1,35	11,43
	M2	5,93	5,62	0,59	10,74	0,89	6,86	1,18	11,63
	p-value	0,109	0,411	0,112	0,437	0,733	0,343	0,343	0,524
	Sign.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	CV(%)	7,3	9,9	12,7	65,9	23,3	17,7	17,7	9,1
Pô	M1	6,2 ^{1a}	5,79 ^a	0,46	5,14	1,99	6,62	1,14	14,38
	M2	5,60 ^b	5,17 ^b	0,43	7,12	1,82	6,15	1,23	14,30
	p-value	0,049	0,032	0,245	0,637	0,887	0,751	0,751	0,243
	Sign.	S	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	CV(%)	7,3	5,8	21,1	92,2	84,0	33,2	33,2	26,5
Tiébélé	M1	6,09	5,31	0,50	14,38	3,41	5,16	1,08	10,32
	M2	5,48	5,06	0,48	4,08	2,77	5,05	1,04	10,52
	p-value	0,448	0,728	0,914	0,382	0,603	0,934	0,934	0,784
	Sign.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	CV(%)	15,4	15,8	41,0	39,2	45,5	46,9	46,9	11,8

Tableau VII: Valeurs moyennes des paramètres chimiques du sol après culture du soja.

Cme	Trts	pHeau	pHKCl	N-total	P-ass	K-total	Carbone	MO	C/N
				g/kg	mg/kg	g/kg	g/kg	%	
Léo	M1	6,17	5,67	0,54	3,70	0,95	6,46	1,29	11,96
	M2	5,94	5,42	0,48	2,67	1,29	6,03	1,04	12,56
	p-Value	0,181	0,161	0,208	0,501	0,590	0,183	0,183	0,901
	Sign.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	CV(%)	3,5	4,1	19,9	63,6	76,8	19,9	19,9	6,5
Bieha	M1	5,70 ^a	5,40 ^a	0,45	9,04	1,59	5,82	1,00	12,93
	M2	5,18 ^b	4,78 ^b	0,51	3,06	2,19	6,91	1,19	13,54
	p-Value	0,109	0,411	0,112	0,437	0,533	0,343	0,343	0,524
	Sign.	S	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	CV(%)	4,7	5,9	16,1	59,2	65,2	17,9	17,9	55,0
Pô	M1	5,70	5,40 ^a	0,49	9,04	1,59	5,6	1,00	12,17
	M2	5,28	4,78 ^b	0,56	3,06	2,19	5,8	1,19	10,36
	p-value	0,052	0,027	0,466	0,077	0,403	0,203	0,201	0,839
	Sign.	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	CV(%)	4,5	5,9	23,4	65,4	50,0	16,9	16,9	10,0
Tiébélé	M1	6,00	5,42	0,48	6,67	1,69	5,4	0,97	11,25
	M2	5,38	4,80	0,49	3,97	2,91	5,3	1,01	10,82
	p-value	0,203	0,118	0,975	0,602	0,180	0,934	0,934	0,993
	Sign.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	CV(%)	8,7	7,5	45,6	76,5	40,0	46,3	49,3	11,6

Les valeurs affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité avec le test de Newman Keuls. S : Significatif ; HS : Hautement Significatif, NS : Non Significatif. **Sign.** : Signification **M1** : Dose vulgarisée, **M2** : Micro-dose, **Cme** : Commune, **Trts** : Traitements

3.1.3.2. Variation des teneurs en éléments nutritifs

Les résultats des variations des teneurs en éléments nutritifs sont présentés dans les **tableaux VIII et IX**. Ils sont issus de la différence entre les valeurs de N, P, K, C et pH (eau et KCl) après culture et avant culture.

Les résultats ont indiqué que les valeurs finales de certains paramètres chimiques sur cet essai notamment, le pH, le phosphore assimilable, et le carbone par rapport à leurs valeurs initiales présentent des déséquilibres (diminution des stocks) qui peuvent ainsi accentuer une dégradation chimique des sols.

Tableau VIII : Variation des teneurs en éléments chimiques du sol sous culture du Maïs

Cme	Trts	pHeau			pHKCl			N-total			K-total			P-assimilable			Carbone			MO		
		g kg ⁻¹			g kg ⁻¹			g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			g kg ⁻¹			%		
		In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ
Pô	M1	5,9	6,21	0,31	5,6	5,79	0,19	0,4	0,46	0,06	1,54	1,99	0,45	9,23	5,14	-4,1	6,3	6,2	-0,1	1,35	1,14	-0,21
	M2	5,9	5,6	-0,3	5,6	5,17	-0,4	0,4	0,43	0,03	1,54	1,82	0,28	9,23	7,12	-2,1	6,3	6,15	-0,15	1,35	1,23	-0,12
Tiébélé	M1	6,2	6,09	-0,1	5,7	5,31	-0,4	0,5	0,45	-0,05	1,2	3,41	2,21	9,6	9,2	-0,4	6,1	5,16	-0,94	1,12	1,08	-0,04
	M2	6,2	5,48	-0,7	5,7	5,06	-0,6	0,48	0,50	0,02	1,2	2,77	1,57	9,6	7,8	-1,8	6,1	5,05	-1,05	1,12	1,04	-0,08

Tableau IX : Variation des teneurs en éléments chimiques du sol sous culture du Soja.

Cme	Trts	pHeau			pHKCl			N-total			K-total			P-assimilable			Carbone			MO		
		g kg ⁻¹			g kg ⁻¹			g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			g kg ⁻¹			%		
		In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ	In	Fn	Δ
Pô	M1	5,9	5,7	-0,2	5,6	5,4	-0,2	0,4	0,49	0,09	1,54	1,59	0,05	9,23	9,04	-0,7	6,3	5,6	-0,7	1,35	1,00	-0,35
	M2	5,9	5,28	-0,6	5,6	4,8	-0,8	0,4	0,56	0,16	1,54	2,19	0,65	9,23	3,06	-6,6	6,3	5,8	-0,5	1,35	1,19	-0,16
Tiébélé	M1	6,2	6,0	-0,2	5,7	5,4	-0,3	0,5	0,48	-0,02	1,2	1,69	0,49	9,6	6,67	-2,5	6,1	5,4	-0,24	1,12	0,97	-0,15
	M2	6,2	5,38	-0,8	5,7	4,8	-0,9	0,5	0,49	-0,01	1,2	2,91	1,71	9,6	3,97	-5,2	6,1	5,3	-0,54	1,12	1,01	-0,11

In : Initiale ; **Fn** : Finale ; **Δ** : Variation, **M1** : Dose vulgarisée, **M2** : Micro-dose, Cme : Commune, Trts : Traitements

3.1.4. Evaluation agro-économique des traitements

3.1.4.1. Performance agro-économique sur le maïs

A l'exception de Pô, toutes les communes ont une valeur de RV/C du traitement M2 est supérieure à celle du traitement M1 (**Tableau X**) Pour la culture du maïs, on note la valeur la plus élevée de RV/C du traitement M2 dans la commune de Bieha (4,11) et la plus faible dans celle de Pô (1,17). Ce ratio pour le traitement M2 varie de 3 à 4. Quant au revenu partiel, dans la commune de Bieha, de Pô, et de Tiébélé, toutes les valeurs sont positives. Ainsi, les coûts engendrés par les traitements sont en général inférieurs aux gains additionnels de production. Par contre, dans la commune de Léo, le traitement M1 a un revenu partiel négatif.

L'analyse globale des moyennes de chaque traitement à l'échelle communale aboutit à ce classement quand on considère les bénéfices bruts à l'hectare : $M2 > M1 > M0$ (**Tableau X**). Ce même classement est aussi constaté avec les bénéfices bruts par heure.

Tableau X: Performance économique moyenne des traitements sur le maïs.

Cms	Trts	Valeur additionnelle Total	Coût additionnel	Revenu partiel	RVC	Bénéfice Brut Fcfa.ha ⁻¹	Bénéfice Brut Fcfa.ha ¹ .h ⁻¹
Léo	M0	0	0	0	0	111358	839
	M1	36200	81500	-45300	0,45	136719	895
	M2	173175	43875	129300	3,95	300938	1611
Bieha	M0	0	0	0	0	63125	457
	M1	127605	81500	46105	1,57	158469	978
	M2	180180	43875	136305	4,11	290656	1324
Pô	M0	0	0	0	0	60344	526
	M1	113795	81500	32295	1,40	80344	639
	M2	51355	43875	7480	1,17	171125	1152
Tiébélé	M0	0	0	0	0	55606	485
	M1	106336	81500	24836	1,30	131775	1023
	M2	160761	43875	116886	3,66	272167	1657

M0 : Pratique paysanne, **M1** : Dose vulgarisée, **M2** : Micro-dose, **h** : Heure, **F** : Franc

Cme : Commune, Trts : Traitements

3.1.4.2. Performance agro-économique sur le Soja

Lorsqu'on considère la performance économique des traitements sur le soja, le constat sur le RV/C est similaire à celui fait sur la culture du maïs. Pour le traitement M2, ce ratio varie de 2 à 7 pour le soja. Par contre, le revenu partiel est positif quelle que soit la commune considérée (**Tableau XI**). Dans le même tableau, les résultats indiquent que le traitement M2 a enregistré la valeur additionnelle totale à l'hectare la plus élevée quelle que soit la commune.

En ce qui concerne les bénéfices bruts.ha⁻¹, indépendamment des communes, le traitement M2 a obtenu la valeur moyenne la plus élevée. Il est suivi de traitement M1. Le traitement M0 a enregistré la valeur la plus faible. Ce même classement est observé avec les bénéfices bruts par heure (**Tableau XI**) obtenus sur le soja.

Tableau XI : Performance économique moyenne des traitements sur le soja.

Cme	Trts	Valeur additionnelle Total	Coût additionnel	Revenu partiel	RVC	Bénéfice Brut Fcfa.ha ⁻¹	Bénéfice Brut Fcfa.ha ⁻¹ .h ⁻¹
Léo	M0	0	0	0	0	69941	619
	M1	67720	35000	32720	1,93	121343	867
	M2	118785	25125	93660	4,73	237287	1210
Bieha	M0	0	0	0	0	63125	438
	M1	80875	35000	45875	2,31	158469	943
	M2	173535	25125	148410	6,91	290656	1303
Pô	M0	0	0	0	0	77655	611
	M1	60815	35000	25815	1,74	131674	947
	M2	112630	25125	87505	4,48	212546	1057
Tiébélé	M0	0	0	0	0	55606	438
	M1	42600	35000	7600	1,22	131775	873
	M2	95520	25125	70395	3,80	272167	1418

M0 : Pratique paysanne, **M1** : Dose vulgarisée, **M2** : Micro-dose

Cme : Commune, Trts : Traitements

3.2. Discussion

3.2.1. Pratique paysanne

L'utilisation des engrais minéraux dans les deux zones d'études est encore faible par rapport à la dose recommandée par la recherche. Les faibles doses des engrais apportés d'une manière générale semblent être liées d'une part à l'accessibilité physique des engrais minéraux et d'autre part au faible niveau de revenus des producteurs enquêtés. Par ailleurs, les doses apportées sont nettement supérieures à celle de la micro-dose. Par contre, on enregistre des rendements plus faibles avec ces quantités. Cela implique que, une utilisation rationnelle des quantités d'engrais minéraux à travers un apport localisé dans les poquets permettrait non seulement de réduire la quantité d'engrais, mais aussi d'augmenter les rendements des cultures.

3.2.2. Effets agronomiques des traitements sur les rendements des cultures

La technique de micro-dose influence considérablement la productivité et donc la production de la biomasse. L'examen des résultats obtenus au cours de cette étude montre que la fertilisation par la micro-dose a un effet positif sur le rendement en grain, paille et fane des cultures du maïs et du soja. En effet, l'application de faibles doses de NPK et d'Urée sur les variétés *Komsaya* et *Wari* du maïs et le NPK sur celle *G196* du soja se traduit par une augmentation du rendement en grain et spécifiquement de celui paille du maïs et fane du soja. Concernant le rendement en grain, les faibles doses d'engrais minéraux apportées se sont traduites par des augmentations significatives et ont largement dépassé les deux autres traitements (la pratique des agriculteurs et la dose vulgarisée). Des résultats similaires ont été obtenus par Tabo et *al.* (2006); Palé et *al.* (2009); Ibrahim et *al.* (2015). Ces auteurs estiment que cet effet positif de la micro-dose des engrais a été attribué à une meilleure exploitation des nutriments du sol en raison de la prolifération des racines latérales à l'intérieur de la couche superficielle.

Cette étude a indiqué une variation au niveau des gains supplémentaires de rendement enregistrés d'un traitement à un autre. Cela se justifie d'une part, par la fertilité initiale des sols liée aux antécédents culturels des champs et le type de sol. D'autre part, elle pourrait se justifier par l'inégale répartition des eaux de pluies d'un site à un autre ou d'une commune à une autre. Par ailleurs, selon Pieri (1989), cette variation serait liée aux effets pervers des engrais en cas d'alimentation hydrique insuffisante des cultures; d'autant plus que la campagne agricole a été influencée par une mauvaise pluviosité. La campagne s'est installée tardivement avec des poches de sécheresses et les pluies se sont arrêtées tôt.

En ce qui concerne le rendement en paille et fane, lorsqu'on considère le traitement de la micro-dose, des surplus de résidus de récolte ont été enregistré comparativement à la pratique paysanne et à la dose vulgarisée. Ces augmentations confirment effectivement la capacité de la technique a amélioré relativement la production de la biomasse. Ces résidus pourront servir soient dans l'alimentation des animaux, soient restitués au sol sous forme de composte dans une dynamique de gestion intégrée des sols.

3.2.3. Effets des traitements sur la fertilité chimique des sols

Par rapport aux valeurs initiales (avant semis), sur cet essai, il a été montré que la variation de certains paramètres chimique du sol notamment, le pH, le phosphore assimilable, et le carbone présente des déséquilibres (diminution des stocks) qui peuvent ainsi accentuer une dégradation chimique des sols.

La baisse du pH dans les parcelles ayant reçu des engrais chimiques indique un effet acidifiant de ces engrais sur le sol. Ces résultats corroborent ceux de (Kaho *et al.*, 2011) qui avaient rapporté une diminution du pH suite à l'apport des engrais minéraux azotés. Le même constat a été fait par Uyo et Elemo, (2000) sur les sols du Nigeria. Ce caractère est non seulement susceptible de modifier certaines propriétés physico-chimiques du sol, mais aussi de réduire la disponibilité en éléments nutritifs et induire des toxicités en aluminium (Al^{3+}) provoquant ainsi une baisse des rendements. Les valeurs de pH-KCl se situant autour de 5,0 dénotent une importante acidité de réserve pour ces sols.

Les résultats sur la baisse du phosphore assimilable sont conformes à ceux de (Kaho *et al.*, 2011 ; Rabi, 2013). Ce résultat serait imputable d'une part, à la faible teneur de nos sols en cet élément. Cette déficience en phosphore des sols constitue une véritable contrainte pour la production agricole. Cela a été déjà montré par (Naitormbaide *et al.*, 2010). Et d'autre part, à la mauvaise gestion des résidus après récolte. Par ailleurs, selon (Lompo, 2009), en plus de l'insuffisance de nos sols en phosphate, la variation négative pourrait être liée à une toxicité ferreuse à pH acide.

Le rapport C/N compris entre 10 et 13 indique une vitesse de minéralisation normale de la matière organique conduisant à une baisse du taux de carbone (Sédogo, 1993). Cette baisse de la teneur en carbone organique serait également imputable à la teneur faible du sol en matière organique combiné à l'effet acidifiant des engrais minéraux qui ont un effet négatif sur la minéralisation de cette matière. Ce qui entraîne une faible valorisation des engrais minéraux (Koulibaly *et al.*, 2010).

3.2.4. Evaluation agro-économique des traitements

A l'exception de la commune de Pô pour le maïs, les résultats d'analyse économique sur la performance des modes de fertilisation présentent un Ratio Valeur/Coût supérieur à 2 ($RV/C > 2$) pour les deux cultures (maïs et soja), en utilisant le traitement M2. Selon Delville (1996), cela correspond à un gain d'argent. De plus quelle que soit la culture considérée, la micro-dose a enregistré les RV/C les plus importants par rapport à ceux à la dose vulgarisée et la pratique paysanne. Ainsi, la micro-dose a la meilleure valorisation du revenu (RV/C) du producteur comparativement à la pratique paysanne et la dose vulgarisée. Les coûts additionnels engendrés par le traitement M2 sont donc inférieurs aux revenus additionnels dus à ce traitement. Cet état de fait s'expliquerait par la réduction des coûts d'achat des engrais minéraux nécessaire à la production et l'utilisation efficiente de ces derniers. Par conséquent, on peut réduire les doses d'engrais recommandées sans affecter, voir améliorer la productivité des cultures. Aune *et al.* (2007) ont montré à travers leurs tests sur la faisabilité agronomique, économique et sociale de la micro fertilisation au Mali que de petites quantités peuvent avoir un meilleur RV/C. Par ordre de valorisation croissante de la productivité de la main d'œuvre, on a : $M0 < M1 < M2$. Ainsi, quelles que soient la culture et la commune, le traitement M2 est économiquement rentable. Par conséquent, l'obtention d'une rentabilité maximale est conditionnée non seulement par la réduction de la quantité d'engrais, mais aussi celle des coûts par unité de production végétale. Ici, cela a été possible grâce à une efficacité d'assimilation des éléments nutritifs. Tous ces résultats confirment la bonne performance de la technique de microdosage des engrais chimiques. Elle apparaît comme la technique la moins coûteuse dans la production et confirme l'idée de produire plus avec peu de ressource financière. Selon Bado (2002), l'utilisation des légumineuses dans les systèmes de cultures comporte beaucoup d'avantages. En effet, les valeurs du RV/C obtenues au cours de cette étude ont démontré cela. Les fanes des légumineuses, en particulier celles du soja constituent du fourrage pour les animaux, et un fertilisant biologique pour les champs (Pouya, 2008). Cette analyse réalisée au niveau des communes absorbe les pertes occasionnées par les traitements au niveau des sites. En effet, la faible valeur du RV/C obtenue dans la commune de Pô (1,17) s'explique non seulement par des pertes liées à des attaques d'animaux dans deux sites dont les effets se sont plus ressentis sur les parcelles sous le traitement M2, mais aussi, par des arrêts précoces des pluies qui ont conduit à des faibles rendements. Mais de façon générale, les fortes valeurs de RV/C observées dans la province de la Sissili se justifient au plan technique par le fait que la micro-dose a connu ses débuts un peu plutôt dans cette province. Ainsi, les producteurs de cette zone ont eu le temps de bien maîtriser la technique par rapport à ceux du Nahouri.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'évaluation des effets de la micro-dose sur les rendements des cultures du maïs et du soja a été menée en milieu réel dans les Provinces de la Sissili et du Nahouri. A cet effet, des entretiens avec les producteurs et des tests agronomiques ont constitué les lignes directrices de cette étude. Au terme de celle-ci, il en ressort des conclusions suivantes :

1. L'apport localisé d'engrais minéral en petite dose dans les poquets permet non seulement d'économiser l'engrais minéral, mais aussi d'augmenter les rendements des cultures.
2. la micro-dose d'engrais stimule le prélèvement des éléments nutritifs par les cultures. Ce qui justifie les accroissements de rendement constatés sur les cultures.
3. L'analyse économique des résultats des essais agronomiques a indiqué la pertinence de la technique de micro-dose d'engrais dans la production agricole. En effet, cette étude montre qu'il est possible, en utilisant la micro-dose d'engrais, de multiplier au moins par 2 fois les gains issus de l'investissement dans la pratique des agriculteurs.
4. Nonobstant les avantages agronomiques et économiques de la micro-dose d'engrais, elle ne permet pas de gérer durablement la capacité productive des sols. En effet, sa capacité à stimuler les éléments majeurs initialement présents dans le sol se traduit par une baisse relative de la fertilité des sols. Ainsi, afin d'augmenter l'efficacité d'utilisation de l'engrais par les cultures dans le cadre d'une gestion durable des ressources naturelles, nous recommandons :

- Aux producteurs de la Sissili et du Nahouri de collaborer avec les services techniques et d'apporter en plus des résidus de récoltes, de la matière organique dans les champs. Cela permettrait de pallier les effets plus ou moins néfastes de la technique.

- Au ministère en charge de l'agriculture, d'œuvrer à la mise en place d'un système de conditionnement d'engrais en petites quantités, afin de répondre au faible budget des producteurs de petites exploitations et de Promouvoir le système de warrantage. Cela faciliterait l'adhésion des producteurs aux coopératives pour un engagement communautaire significatif et d'investir dans les nouvelles technologies, gage d'une amélioration de la production agricole.

- A la recherche, la mise en place d'une technique de mécanisation de la micro-dose accessible aux producteurs de petites exploitations, afin de permettre une vulgarisation beaucoup plus accrue de cette technique.

Au cours de cette campagne agricole, l'effet de la micro-dose d'engrais a été significatif sur les cultures. Le sera-t-il durablement étant donné qu'elle stimule le prélèvement des éléments

majeurs initialement présents dans le sol ? Afin de répondre à cette interrogation fondamentale, il serait très intéressant d'envisager des investigations multi-locales des arrières effets de cette pratique sur le sol et de se pencher sur une utilisation en micro-dose des engrais organo-minéraux. Cette technique permettrait d'augmenter la productivité des cultures dans l'attente de la sécurité alimentaire et d'améliorer la résilience et la durabilité des écosystèmes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR, 1981.** Détermination du pH. (Association française de normalisation) NF ISO 103 90. In: AFNOR, Qualité des sols, Paris, 339-348 p.
- Alphonse de Candolle, 1883.** L'origine des plantes cultivées, Librairie Germer Baillière et Cie, Paris, 1883, lire en ligne, sur Pl@ntUse
- Aune J. B., Doumbia M. et Berthe A., 2007.** Microfertilizing sorghum and pearl millet in Mali: Agronomic, economic and social feasibility. *Outlook Agric.* 36(3):199-203.
- Bado B. V. ; 2002.** Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Thèse de PhD de l'université LAVAL, Québec. 197 p.
- Palé S., Bagayoko M., Maman N., Sirifi S., Taonda, S. J. B., Traore S. et Mason, S. C., 2011.** Microdose et N et P taux d'application d'engrais pour le millet perlé en Afrique de l'Ouest. *African Journal of Agricultural Research* vol. 6, N°5, 1141-1150 p.
- Baudouin, J. P. et Javaheri, F., 2001.** Soja (*Glycine max* (L.) Merrill.), Agriculture en Afrique Tropicale (1634). 660-883 p.
- 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. 272 p.
- CILSS. 2012** - Bonnes pratiques agro-sylvo- pastorales d'amélioration durable de la fertilité des sols au Burkina Faso–Ouagadougou – 194p ;
- CIMMYT, 1991, CIMMYT 1989/1990.** Réalités et tendances: potentiel maïsicole de l'Afrique Subsaharienne, Mexico, Mexique, 71 p.
- CIRAD-GRET, 2002.** Mémento de l'Agronome. Ministère des Affaires étrangères. 1691p
- Delville P. L., 1996.** Gérer la fertilité des terres dans les pays du sahel. Diagnostics et conseils aux paysans. CTA-GRET. Collection << le point sur >> 397 p.
- DGESS, 2016.** Annuaire des statistiques agricoles, 227p.
- Duc G., Mignolet C., Carrouée B., et Huyghe C., 2010.** Importance économique passée et présente des légumineuses : Rôle historique dans les assolements et facteurs d'évolution. 24 p.

- FAO, 1993.** Le maïs dans la nutrition humaine, N° T0395, version 25.
- FAO, 2003.** Engrais et leurs applications. Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole. Quatrième édition. IFA 77 p.
- FAO, 2010.** Sourcebook on Climate-Smart Agriculture, MODULE 4: Soils and their management for Climate-smart agriculture, 105-124 p.
- FAO, 2012.** La fertilisation localisée au semis des cultures ou micro-dose (consulté le 07/08/2016 à 12h47min) ;
- FAOSTAT 2015.** <http://Faostat.fao.org> (consulté le 2016)
- Fausta Karaboneye, 2013.** Caractérisation de l'efficacité symbiotique de lignées africaines de soya à haute promiscuité, Mémoire de maîtrise en biologie végétale, Université Laval-Canada, inédit, 111 p.
- Hayashi K, Abdoulaye T, Gerard B Bationo A 2008.** Évaluation de moment de l'application d'engrais technologie de micro-dosage sur le mil la production au Niger, en Afrique occidentale. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 80 (3): 257- 265.
- Ibrahim A., 2015.** Assessing the potential options for improving crop yield and water use efficiency in the sahelian low input millet-based cropping system. A Thesis Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi, 177 p.
- ICRISAT. 2005.** Micro doses d'engrais et système de crédit warranté pour les petits exploitats agricoles du Sahel, 6 pages, Niamey, Niger. <ftp://ftp.fao.org/SD/SDA/SDAR/>
- ICRISAT. 2009.** Engrais microdosage : Stimuler la production des terres improductifs <http://www.icrisat.org/impacts/impact-histoires/> ICRISAT.14 / 02/2014
- John Doebley., 1980.** «The evolution of apical dominance in maize», Nature, no 386, 1997, p.485-488 (lire en ligne 2017).
- Kaho F., Yemefack M., Feujoy P. T. et Tchantaouang 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. Tropicultura, 2011, 29, 1, 39-45. 7 p.
- Kouakou C.K., 2004.** Diversité génétique des variétés traditionnelles de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) au Sénégal, mémoire de DEA en Biologie végétale à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 50 p.

- Koulibaly B., Traoré O., Dakuo D., Zombré P.N. et Bondé D., 2010.** Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso, *Tropicultura*, 28, 3, 184-189 p.
- Lof G., Tops A. et Netjes J., 1990.** Le soja. Agrodok-series N°10 ; 1^{ère} édition Française traduite par Evelyne Codazzi 1-7 p.
- 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 sur deux sols acides du Burkina Faso, Thèse de doctorat d'ETAT, université de Cocody, 254p.
- MAAHA/DGESS, 2016.** Résultats définitifs de la campagne agricole 2015/2016 et perspective de la situation alimentaire et nutritionnelle. 73 p.
- MARHAA, 2015.** Résultats définitifs de la campagne agricole 2014/2015 et perspective de la situation alimentaire et nutritionnelle
- MASA, 2013.** Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2012/2013. 49p
- Mdjimivou S. M. M., 2011.** Evaluation de l'effet insecticide et de la persistance des huiles essentielles de *Callistemon viminalis* G Don, de *Xylopiya aethiopica* Dunal et de *Lippia chevalieri* Moldenke sur *Callosobruchus maculatus* Fabricius et *Sitophilus zeamais* Motchulsky, principaux ravageurs des Stocks du niébé et du maïs. Mémoire de Master II de biologie animale. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 70 p.
- Naitormbaide M., Lompo F., Gnankambary Z., Ouandaogo N., Sedogo M. P., 2010.** Les pratiques culturales traditionnelles appauvrissent les sols en zone des savanes du Tchad. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4(4): 871-881 p.
- Observatoire National de l'Emploi et de la Formation Professionnelle (ONEF), juin 2007.** « Compte d'exploitation d'un hectare de maïs », Études sur les créneaux porteurs, Burkina Faso, 78p.
- Palé S, Mason SC, Taonda SJB. 2009.** Water and fertilizer influence on yield of grain sorghum varieties produced in Burkina Faso. *S. Afr. J. Plant Soil*, 26(2): 91- 97.
- Pieri C., 1989.** Fertilisation des terres de savanes. Bilan de trente années de recherche et de développement agricole au sud du sahara. Ministère de la coopération CIRAD. 444 p.

- Pouya B. M., 2008.** Contribution à l'évaluation des performances agro-pédologiques de formules de fumures organo-phosphatées dans la zone Est du Burkina Faso: Cas de trois villages de la province de la Tapoa (Kotchari, Pentinga et Fantou). Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 90 p.
- Rabi H. M. L., 2013.** 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. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 90 p.
- Rasolohery C. A., 2007.** Etude des variations de la teneur en isoflavones et de leur composition dans le germe et le cotylédon de la grain de soja [*Glycine max (L.)Merrill*]. Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse, option : Qualité et Sécurité des Aliments, France, 143 p.
- Rebafka FP, Bationo A, Marschner H 1993.** l'enrobage des semences de phosphore augmente l'absorption du phosphore, la croissance précoce et le rendement du mil (*Pennisetum glaucum (L.) R. Br.*) Ont été cultivés sur un sol sablonneux acide Niger, Afrique de l'Ouest. Fertil. Res. 35 (3): 151-160.
- Rienke N et Jokes N., 2005.** La culture du soja et d'autres légumineuses, *Agrodik10*. 76 p
- Roumet P., 2001.** Le soja trésor de vie : Diversité, Origine et évaluation. INRA, Station de Génétique et d'Amélioration des plantes, Montpellier. Résumé de la conférence donnée à Agropolis Museum, 10 p.
- SDR, 2004.** Stratégie de Développement Rural à l'horizon 2015, 99 p.
- Sedogo P.M., 1993.** Evolution des sols ferrugineux lessives sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité, Université nationale de Côte d'Ivoire/faculté des sciences et technique, 353p. Thèse de doctorat.
- Singh B. B. et Ajeigbe H., 2007.** Improved cowpea-cereals-based cropping systems for household food security and poverty reduction in West Africa. *J. Crop Improved*. 19(1-2):157-172. *Soil Research*, 17-22 p.
- Solanet G., Levard L., Castellanet C. et Feret S., 2011.** L'impact des importations européennes de soja sur le développement des pays producteurs du Sud de France

- Tabo R., Bationo A., Diallo M. K., Hassane O et Koala S., 2006.** Fertilizer microdosing for the prosperity of small-scale farmers in the Sahel: Final Report. Global theme on Agroecosystems Report n°23. PO Box 12404, Niamey, Niger. ICRISAT. 28 p.
- Tabo R., Bationo A., Hassane O., Amadou B., Fosu M., SAWADOGO-Kabore S., Fatondji D., Ouattara K., Abdou A. et Koala S., 2009.** Microdosage des engrais pour la prospérité des agriculteurs pauvres en ressources : Actes du Programme défi du CGIAR sur l'eau et l'atelier international de l'alimentation sur pluviales systèmes culturaux, Tamale, Ghana, eds E Humphreys et Bayot. Le Programme défi du CGIAR RS sur l'eau et de l'Alimentation, Colombo, Sri Lanka pp. 269-279 p.
- TAONDA S. J. B., COMPAORE E. et ZONGO N., 2015.** Guide de formation en technique de micro-dose 40p.
- USDA, 2000.** Oilseeds: World Markets and Trade, January 2000 to December 2000
- 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, 17-22 p.
- Zongo, 2013.** Analyse de l'impact socio-économique de l'entreprise de services et organisation des producteurs (ESOP) de Léo sur les producteurs de soja de la province de la Sissili, mémoire de master, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 106 p.

Sites internet consultés

- www.agpm.com : Histoire du maïs dans le monde consulté le 24/08/2016 à 15h38
- www.coraf.org Le couple micro-dose-micro-crédit s'avère un atout précieux des producteurs agricoles 4^e trimestres 2011 N°61, consulté le 24/08/2016 à 16h28
- www.gnis-pedagogie.org: Le maïs : Son origine et ses caractéristiques, 24/08/2016 à 15h33
- www.wacot.net: Bonnes pratiques de GDT adaptées à l'Afrique subsaharienne
- www.prolea.com le soja : de la plante a ses utilisations, 03/09/2016 à 21h31
- www.wwf.fr le boum du soja consulté le 03/09/2016 à 21h20

Annexe

Annexe 1 : Données sur le prix des produits et des intrants (FCFA/Kg).

Maïs	soja	Paille	Fane	NPK	Urée
125	190	8	25	330	300

Annexe2a : productivité approximative de la main d'œuvre familiale maïs

Commune	Traite ment	Rende ment kg ha ⁻¹	Production brute	Coûts variables (F/ha)				Total coûts variables (F/ha)	Main d'œuvre (MO) (hr)				Total MO (hr)	Bénéfice brut F.ha ⁻¹	Bénéfice brut F.hr ⁻¹	
				Semence	Engrais	sac	Transport		Labour	Semis	Sarclage 1et 2	Epancre engrais				Récolte Battage
Léo	M0	1497	187109	7500	66250	500	1500	75750	27	40	30	12	23	132	111358	839
	M1	1769	221094	7500	75000	500	1500	84375	27	40	30	17	28	153	136719	895
	M2	2813	351563	7500	41250	500	1500	50625	27	40	30	25	44	187	300938	1611
Bieha	M0	991	123875	7500	51250	500	1500	60750	27	40	30	12	29	138	63125	457
	M1	1944	242969	7500	75000	500	1500	84500	27	40	30	28	37	162	158469	978
	M2	2731	341406	7500	41250	500	1500	50750	27	40	30	46	75	217	290656	1324
Pô	M0	944	117969	7500	48125	500	1500	57625	27	40	30	12	21	115	60344	526
	M1	1319	164844	7500	75000	500	1500	84500	27	40	30	23	21	126	80344	639
	M2	1775	221875	7500	41250	500	1500	50750	27	40	30	41	28	148	171125	1152
Tiébélé	M0	897	112106	7500	47000	500	1500	56500	27	40	30	12	21	115	55606	485
	M1	1730	216275	7500	75000	500	1500	84500	27	40	30	14	24	129	131775	1023
	M2	2583	322917	7500	41250	500	1500	50750	27	40	30	22	39	164	272167	1657

Annexe2b : productivité approximative de la main d'œuvre familiale soja

Commune	Traite ment	Rende ment kg ha ⁻¹	Production brute	Coûts variables (F ha ⁻¹)				Total coûts variables (F ha ⁻¹)	Main d'œuvre (MO) (hr)					Total MO (hr)	Bénéfice brut F.ha ⁻¹	Bénéfice brut F.hr ⁻¹
				Semence	Engrais	sac	Transport		Labour	Semis	Sarclage 1et 2	Epandage d'engrais	Récolte Battage			
Léo	M0	642	121941	10000	40000	500	1500	52000	27	31	36	12	19	113	69941	619
	M1	965	183343	10000	30000	500	1500	62000	27	31	36	24	22	140	121343	867
	M2	1411	268037	10000	18750	500	1500	30750	27	31	36	39	65	198	237287	1210
Bieha	M0	991	123875	10000	51250	500	1500	60750	27	31	36	12	29	144	63125	438
	M1	1944	242969	10000	30000	500	1500	84500	27	31	36	28	37	168	158469	943
	M2	2731	341406	10000	18750	500	1500	30750	27	31	36	46	75	223	290656	1303
Pô	M0	658	125030	10000	35375	500	1500	47375	27	31	36	12	21	127	77655	611
	M1	914	173674	10000	30000	500	1500	42000	27	31	36	23	22	139	131674	947
	M2	1281	243296	10000	18750	500	1500	30750	27	31	36	39	68	171	212546	1057
Tiébélé	M0	886	112106	10000	54000	500	1500	66000	27	31	36	12	21	127	55606	438
	M1	1053	216275	10000	30000	500	1500	62000	27	31	36	23	34	151	131775	873
	M2	1338	322917	10000	18750	500	1500	30750	27	31	36	43	63	192	272167	1418

Annexe 3 : Doses d'engrais en kg par parcelle élémentaire

Sites	Engrais	Traitements	Maïs	Soja
Tous les Sites	NPK	Dose vulgarisée	150 kg ha ⁻¹	100 kg ha ⁻¹
		Micro-dose	2 g poquet ⁻¹	2 g poquet ⁻¹
	Urée	Dose vulgarisée	100 kg ha ⁻¹	0
		Micro-dose	2 g poquet ⁻¹	2 g poquet ⁻¹

Annexe 4 : Les fiche techniques

Synthèse de quelques données sur l'itinéraire technique des cultures

Cultures	Variétés	Dose semence kg.ha ⁻¹	Dose fumure organique T.ha ⁻¹ .an. ⁻¹	Dose NPK kg.ha ⁻¹	Dose Urée kg.ha ⁻¹	Rendement potentiel T.ha ⁻¹	Cycle jours
Maïs	Wari	20	2.5	200	100	6.4	91
	Komsaya	20	2,5	200	100	8 à 9.5	97
Soja	G196	30-35	2	150	50	1.5	105-115

Annexe 5 : Fiche d'entretien avec les producteurs de test du Maïs-Soja 2016

I-Généralités

Nom de l'enquêteur : _____ Date de l'enquête : _____
 Province de : _____ Code province : _____
 Commune de : _____ Code commune : _____

N° de la fiche :	Code village :	Code structure :
------------------	----------------	------------------

III- Identification du producteur

1-Nom du producteur : _____ Tel : _____ Village de : _____

2-Age : _____ Sexe : _____ Structure : _____

3-Nombre d'actifs : Hommes : _____ Femmes : _____
 4-Disposez-vous de main d'œuvre salariée? Oui Nombre : _____ Non

5- Quelle est votre activité principale? :

6-Quelle est votre activité secondaire? :

7-Disposez-vous d'une fosse fumièrè ? Oui Non

Si non pourquoi ? :

Abandon Brulage Compostage Alimentation des animaux de l'acteur lui-même Vente (précisez les prix /an /ha).

II- Identification de l'exploitation

1-La superficie totale de l'exploitation (m²) : _____ En jachère depuis : _____

2-La spéculation : _____ Origine de l'exploitation : _____

Maïs Soja Héritage Métayage Coopérative Autres (à préciser)

IV-La culture

4.1. Préparation du sol

Opérations	Outils	date	Coût (estimatif)	Quantités
Désherbage				
Labour				
Autres :				

4.2. Semis

1-Date :

Nombre de personne :

2-Semences : Traditionnelles Améliorées

La quantité :

Prix :

3-le coût estimatif du semis :

4.3. Entretien

Opérations	Quantités	La date	Outils	Coût (estimatif)	Nbre de personnes
Sarclo-binage					
fumure					
Buttage					
NPK					
Urée					
Autres					

4.4. Protection phytosanitaire

Types d'attaques	Périodes	mesures prises	Quantités	Coûts	Méthodes & Outils
1					
2					

Heure du début de l'enquête :

Heure de fin de l'enquête :