

BURKINA FASO
UNITE-PROGRES-JUSTICE

.....
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (M.E.S.R.S.I)**

.....
UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO (U.P.B.)

.....
INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (I.D.R.)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

Présenté en vue de l'obtention du
Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural
Option : Agronomie
THEME :

**« OPTIONS DE FERTILISATION POUR LA PRODUCTION
DURABLE DE MIL ET DE SORGHO DANS LES PARCS
AGROFORESTIERS DU CENTRE-SUD, BURKINA FASO »**

Présenté par : **Epiphane GUIATIN**

Maître de stage :
Dr Josias SANOU

Directeur de mémoire :
M. Bégué DAO

DEDICACE

✦ A MES PARENTS :

BILA FRANÇOIS ET DAMBRE YEMPOAKA JOSÉPHINE:
POUR LEUR AMOUR ET SOUTIEN INDÉFECTIBLES

✦ A MON ONCLE PASCAL SANOUIDI :

QUI A TOUJOURS CRU EN MOI

✦ A MES FRÈRES ET SŒURS :

POUR LEUR AMOUR FRATERNEL

JE DÉDIE CE DOCUMENT.

REMERCIEMENTS

Le présent document n'aurait pu se réaliser sans la contribution et la bienveillance de nombreuses personnes à qui nous témoignons toute notre gratitude. Nos remerciements s'adressent particulièrement :

- au Dr Ollo Théophile DIBLONI, Chef du Département Environnement et Forêt (DEF) de l'INERA qui a bien voulu nous accueillir au sein de cette structure ;
- au Dr Josias SANOU, chercheur à l'INERA, notre maître de stage, pour son suivi constant de notre travail, la fourniture des documents, sa disponibilité et ses conseils.
- à M. Bégué DAO, notre Directeur de Mémoire, pour sa disponibilité et ses conseils, pour son apport dans l'amélioration de la qualité scientifique de ce document ;
- au Dr Bernard BACYE Directeur de l'IDR et au Dr Ferdinand SANKARA Directeur Adjoint de l'IDR, pour avoir œuvré afin de nous obtenir ce stage ;
- à tout le personnel de l'I.D.R pour nous avoir inculqué le savoir et à tout le personnel de la structure de l'INERA pour leur convivialité sans oublier les étudiants stagiaires ;
- à M. Zézouma SANON et au Dr Hugues Roméo BAZIE pour leur contribution dans la documentation et les amendements apportés à ce travail ;
- à M. Paulin BAZIE et à M. Salam SAWADOGO pour tout leur soutien ;
- à M. Kibsa Roger GUIBRE et à M. Salif KINDA pour tout leur soutien ;
- à M. Fidèle GUIBRE pour son soutien tout au long de notre stage ;
- à M. Cyrille SANOU chauffeur avec qui nous avons entretenu de bonnes relations ;
- à Mme Martine SANOUIDI /NANA qui a été pour nous une mère, auprès de qui nous nous sommes toujours ressourcé grâce à ses conseils et ses encouragements ;
- à tous ceux qui, dans le silence ou dans l'anonymat, ont fait montre de soutien et de dévouement pour l'aboutissement de ce mémoire, voyez en ce document le symbole parfait de toute notre gratitude.

SIGLES ET ABREVIATIONS

CILSS	:	Comité Inter-Etat de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
DEF	:	Département de l'Environnement et de la Forêt
DGPSA	:	Direction Générale des Prévisions et des Statistiques Agricoles
ICRISAT	:	International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
IDR	:	Institut du Développement Rural
INERA	:	Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole
JAS	:	Jours Après Semis
MAHRH	:	Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
MATDS	:	Ministère de l'Administration Territoriale, de la Décentralisation et de la Sécurité
PNKT	:	Parc National Kaboré Tambi
PU	:	Parcelle Unitaire
RGPH	:	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
UDPN	:	Union Départementale des Producteurs de Nobéré
UPB	:	Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso
ZAT	:	Zone d'Appui Technique

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Fertilisant apporté en fonction de l'activité secondaire de l'exploitant	27
Tableau 2 : Désir d'adoption des options de fertilisation	27
Tableau 3 : Temps de travaux en fonction des traitements	28
Tableau 4 : Rentabilité économique des traitements sur la production du mil et du sorgho ..	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du site d'étude à Nobéré au Burkina Faso, Afrique de l'ouest.	14
Figure 2 : Evolution de la pluviométrie de la commune de Nobéré de 2004 à 2015.	15
Figure 3 : Pluviométrie mensuelle de Nobéré en 2015.	16
Figure 4 : Dispositif expérimental de l'essai du mil et du sorgho	18
Figure 5 : Hauteur des plantes du mil et du sorgho en fonction des traitements.....	21
Figure 6 : Diamètre des plantes de mil et de sorgho en fonction des traitements.....	22
Figure 7 : Surface foliaire du mil et du sorgho en fonction des traitements	23
Figure 8 : Rendements grain du mil et du sorgho en fonction des traitements	24
Figure 9 : Evolution de la production de biomasse sèche aérienne du mil et du sorgho en fonction des traitements.	25
Figure 10 : Variation du taux d'humidité pondérale en fonction des traitements	26
Planche I : Photographies montrant des étapes du compostage.....	4

RESUME

La faible fertilité des sols est une contrainte majeure à la production agricole au Burkina Faso car limitant les rendements. Combiner la biomasse des parcs agroforestiers est une alternative à l'amélioration de la fertilité des sols. L'objectif de notre étude était de comprendre comment la biomasse des arbres peut être combinée de façon optimale avec les engrais minéraux pour une intensification durable des systèmes de production de mil et de sorgho. Ainsi, un essai a été implanté en milieu paysan. Les spéculations étudiées étaient le mil avec 15 répétitions et le sorgho avec 15 répétitions. L'effet des fertilisants (compost, fumier, NPK en microdose) pris isolément et leur combinaison deux à deux a été évalué. Nous avons observé que les combinaisons de compost+NPK (T5) et de fumier+NPK (T6), comparées à la fumure organique exclusive, améliorent de façon significative la croissance des plantes de mil et de sorgho. Aussi ces combinaisons augmentent significativement les rendements grains par rapport à la fumure organique seule, soit 778 ± 118 Kg/ha en T5, 675 ± 120 Kg/ha en T6 contre $280,8 \pm 55$ Kg/ha en T1 (compost) et 259 ± 21 Kg/ha en T2 (fumier) dans le cas du mil. Dans le cas du sorgho, les combinaisons de compost+NPK (T5) et de fumier+NPK (T6) ont donné respectivement $797,5 \pm 18$ Kg/ha, 570 ± 25 Kg/ha tandis que la fumure organique seule a donné $181,67 \pm 18$ Kg/ha en T1 et 275 ± 75 Kg/ha en T2. Tenant compte du fait que seules les combinaisons compost + NPK (T5) et fumier + NPK (T6) conduisent à la fois à de meilleurs rendements et à l'amélioration du taux d'humidité du sol, nous retenons que la combinaison de matières organiques disponibles (litière des arbres et des résidus de récolte, fumier) et de microdose de NPK est un moyen accessible pour accroître de façon durable les rendements du mil et du sorgho dans les parcs agroforestiers.

Mots clés : fumier, compost, microdose, NPK, agroforesterie.

ABSTRACT

The weak fertility of the soil is a major constraint with the agricultural production in Burkina Faso but limiting the outputs. To combine the biomass of the agro forestry parklands is an alternative to the improvement of the fertility of the soil. The objective of our study was to understand how the trees biomass can be combined in an optimal way with mineral fertilizers for a sustainable intensification of the millet and sorghum production systems and to formulate recommendations for a better management of the agro forestry parklands. Thus, an on-farm fertilization test was set up. The studied speculations were millet and sorghum with fifteen replications. The effect of fertilizers (compost, manure, micro dose NPK) taken separately and their combination two by two was evaluated. We observed that the combinations of compost+NPK (T5) and manure+NPK (T6), compared with the exclusive organic manure, improve to a significant degree the growth of the plants of millet and sorghum. Therefore these combinations increase significantly the grains yield compared to the organic manure only, that is to say 778 ± 118 Kg per ha in T5, 675 ± 120 Kg per ha in T6 against $280,8\pm 55$ Kg per ha in T1 (compost) and 259 ± 21 Kg per ha in T2 (manure) in the case of the millet. In the case of the sorghum, the combinations of compost+NPK (T5) and manure+NPK (T6) gave respectively $797,5\pm 18$ Kg per ha, 570 ± 25 Kg per ha while the organic manure alone gave $181,67\pm 18$ Kg per ha in T1 and 275 ± 75 Kg per ha in T2. Based on the fact that only the combinations compost + NPK (T5) and manure + NPK (T6) lead to better yields and improvement of the soil physical properties, we retain that the combination of available organic materials (plant litter and crop waste products, manure) and micro dose NPK is an attainable mean to increase sustainably the millet and sorghum production yields in the agro forestry parklands.

Key words: organic materials, manure, micro dose, NPK, agroforestry.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
SIGLES ET ABREVIATIONS	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	iv
ABSTRACT	vi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. Définition des concepts.....	3
1.3.2. Microdose	4
1.2. Généralités sur le mil	5
1.2.1. Origine, morphologie et culture du mil	5
1.2.2. Importance du mil pour le Burkina Faso	6
1.2.3. Contraintes à la culture du mil.....	6
1.2.3.1. Conditions pédoclimatiques	6
1.2.3.2. Maladies	7
1.2.3.3. Insectes et animaux granivores	7
1.2.3.4. Mauvaises herbes	8
1.3. Généralités sur sorgho.....	8
1.3.1. Origine, morphologie et culture du sorgho	8
1.3.2. Importance du sorgho au Burkina Faso.....	10
1.3.3. Contraintes à la culture du sorgho.....	10
1.3.3.1. Contraintes pédo-climatiques	10
1.3.3.2. Maladies du sorgho	10
1.3.3.3. Autres ennemis du sorgho	10
1.4. Généralités sur la fertilisation organo-minérale.....	11
1.4.1. Fertilisation organo-minérale	11

1.4.1.1. Fertilisation des céréales (mil et sorgho).....	11
1.4.1.2. Fumure minérale	11
1.4.1.3. Fumure organique	12
1.4.1.4. Fumure organo-minérale	12
1.4.2. Fertilité des sols	12
CHAPITRE II : METHODOLOGIE.....	14
2.1. Zone d'étude	14
2.1.1. Situation géographique.....	14
2.1.2. Climat, sol et végétation	15
2.2. Matériel d'étude	16
2.2.1. Matériel végétal.....	16
2.2.2. Matières fertilisantes	16
2.3. Méthodes d'étude.....	16
2.3.1. Estimation de litière et de résidus de récolte disponibles sur les champs	17
2.3.2. Dispositif expérimental et traitements.....	17
2.3.3. Mise en place et conduite de l'essai	18
2.3.4. Collecte des données	19
2.3.5. Méthode d'analyse des données	20
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION.....	21
3.1. Résultats.....	21
3.1.1. Effet des traitements sur la croissance du mil et du sorgho.....	21
3.1.1.1. Croissance en Hauteur.....	21
3.1.1.2. Croissance en diamètre.....	21
3.1.1.3. Surface foliaire	22
3.1.2. Effet des traitements sur les productions du mil et du sorgho.....	23
3.1.2.1. Rendement grain du mil et du sorgho	23
3.1.2.2. Production de biomasse sèche aérienne du mil et du sorgho	24

3.1.3. Effet des traitements sur le taux d'humidité du sol	25
3.1.4. Etude socio-économique.....	26
3.1.4.1. Aspect social	26
3.1.4.2. Rentabilité économique des traitements sur la production du mil et du sorgho	28
3.2. Discussion	29
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	35
ANNEXES	i

INTRODUCTION GENERALE

L'agriculture, au Burkina Faso comme dans la plupart des pays de l'Afrique Occidentale, constitue la principale activité économique des populations rurales. En effet le secteur agricole occupe 80% de la population active, représente plus de 25% du PIB et contribue pour près de 80% dans les exportations du pays (Hema, 2003).

Ce secteur est cependant caractérisé par une faible productivité due notamment à la dégradation de la fertilité des sols, aux faibles apports de fertilisants et aux pratiques agricoles inadaptées qui influencent les rendements des cultures et la durabilité des systèmes de production.

Les systèmes de production les plus répandus au Burkina Faso sont des systèmes parcs agroforestiers où les arbres sont dispersés et délibérément conservés avec les cultures (Bazié, 2013). Ces parcs agroforestiers occupent près de 80% du territoire national burkinabé (Belem, 1996). Ces parcs arborés constituent une source importante de biomasse qui est brûlée par les producteurs en début d'hivernage. Ces producteurs sont pourtant confrontés à l'indisponibilité de matières organiques et au coût élevé des engrais minéraux dans la fertilisation des sols (Bado, 2002). Ce faisant, la biomasse résiduelle des parcs agroforestiers pourrait être utilisée avec des engrais minéraux à faible dose pour fertiliser le sol pour un système plus productif et durable.

En tenant compte du fait que la litière des arbres et les résidus de récoltes dans les champs sont généralement brûlés avant les semis, nous nous posons la question : à partir de cette biomasse et de la technique de microdose d'engrais, quelles formules de fumures pouvons-nous développer pour une amélioration des rendements tout en préservant la fertilité des sols ?

C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude intitulée : « **Options de fertilisation pour la production durable de mil et de sorgho dans les parcs agroforestiers du centre-sud, Burkina Faso** ».

L'objectif global était de comprendre comment la biomasse des arbres peut être combinée de façon optimale avec les engrais minéraux pour une intensification des systèmes de production de mil et de sorgho et de formuler des recommandations pour une meilleure gestion des parcs agroforestiers. Plus spécifiquement, il s'agissait :

- d'améliorer et optimiser le niveau d'utilisation de la biomasse résiduelle pour fertiliser le sol des parcs agroforestiers ;

- de comparer les effets agronomiques sur les cultures du mil et du sorgho des applications de compost de la litière des arbres et des résidus de récolte, du fumier, de la microdose d'engrais minéral NPK et leur combinaison ;
- d'évaluer la rentabilité économique de ces différentes options de fertilisation pour la production du mil et du sorgho.

Afin de conduire à bien notre étude, l'hypothèse globale suivante a été fixée : la litière des arbres et les résidus de récolte incorporés au sol augmentent sa teneur en matière organique ce qui accroît l'accès des cultures à l'engrais minéral apporté et par conséquent un meilleur rendement des cultures tout en préservant la durabilité du système de production dans les parcs agroforestiers. Pour tester cette hypothèse générale nous nous sommes fixés les hypothèses spécifiques suivantes :

- l'incorporation du compost de litière des arbres et des résidus de récolte a un effet similaire à celui de l'apport de fumier sur le rendement du mil et du sorgho ;
- la combinaison du compost de litière des arbres, des résidus de cultures et d'une microdose d'engrais NPK entraîne une augmentation des rendements des cultures comparée à leur application séparée ;
- la combinaison du compost de litière des arbres, des résidus de cultures et d'une microdose d'engrais NPK est économiquement rentable et applicable par les petits producteurs.

Le présent mémoire comprend trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique, le deuxième présente la méthodologie, enfin le troisième aborde les résultats obtenus et la discussion pour aboutir à la conclusion.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Définition des concepts

1.1.1. Parc agroforestier

Selon Boffa (2000), les parcs agroforestiers sont généralement définis comme des paysages agraires où des arbres adultes sont disséminés dans des champs cultivés ou des jachères récentes. Dans notre étude, il s'agit d'un système agricole avec des arbres parsemés dans les champs de céréales (mil, sorgho). C'est un mode qui est très répandu et même dominant au Burkina Faso. Les espèces les plus rencontrées dans les parcs agroforestiers au Burkina Faso sont *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f., *Parkia biglobosa* Jacq. Benth et *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev.

De ces espèces agroforestières, le producteur peut soutirer des produits forestiers non ligneux (les fruits du néré, les amandes de karité, ...) qui constituent une importante source de revenus, le bois comme combustible pour les femmes et comme matériaux de construction. La matière première peut provenir de ces espèces pour la médecine traditionnelle. Le fourrage est obtenu à partir de certaines espèces comme *Faidherbia albida*. De plus la présence de ces végétaux dans les champs constitue des brise-vents pour les cultures et un levier d'amélioration du sol. Les végétaux permettent une amélioration de la fertilité et l'augmentation de l'humidité de l'horizon superficiel des sols (Lafleur, 2008).

1.1.2. Compostage

Le compostage en tas est une technique de fabrication de la matière organique avec retournement périodique sans creusage de fosse afin d'obtenir un produit hygiénique et stable appelé compost. Il consiste en l'édification d'un tas de couches successives de matières végétales, de déjections animales au-dessus du sol (CILSS, 2012). Dans notre étude nous avons seulement utilisé les résidus de récolte et la litière des arbres ce qui réduit la qualité et la maturité du compost. Le compost de litière des arbres et de résidus de récolte est ainsi obtenu suivant les étapes :

1^{ère} Etape : Préparation du terrain et des matériaux

Nous avons choisi un endroit ombragé et plat pour éviter le dessèchement rapide des tas et l'écoulement de l'eau lors de l'arrosage. La proximité d'un point d'eau dans tous les champs n'a pas pu être respectée et nous avons dû compter sur la volonté des paysans à apporter l'eau pour l'arrosage du tas. Les dimensions du tas étaient de 2m de long, 1,5m de large et 0,75m de haut. Des piquets ont été disposés sur les quatre côtés pour limiter l'aire de confection. Les

matériaux que nous avons utilisés sont les feuilles des arbres (dans la majorité des champs), les résidus de récolte découpés en petits morceaux par les producteurs (planche I : A) et la cendre.

2^{ème} étape : *Montage du compost*

Le montage du compost à consister :






- d'abord à saupoudrer le sol de cendre, à étaler des branchages frais sur l'aire délimitée pour éviter les attaques des termites et puis arroser pour permettre une bonne adhésion avec le sol (planche I : B) ;
- ensuite, à constituer une première couche des débris végétaux d'un poids de 75 kg bien tassée par piétinements suivie de la cendre. Cette couche est arrosée jusqu'à ce que l'eau coule sur les côtés et on passe à la suivante. Vue les difficultés liées à l'eau chaque tas a été constitué de trois couches identiques à la première (planche I : C) ;
- enfin, à recouvrir le tas avec un film plastique noir pour conserver l'humidité et la chaleur. Cela permet aussi d'empêcher les animaux de saccager le tas (planche I : D).

3^{ème} étape : *Les retournements*

Les retournements ont eu lieu tous les dix jours. Cette opération nous permet de mélanger les substrats et de vérifier l'humidité et la température du tas.

La durée du compostage a été de deux mois (15 Mai au 15 Juillet). Le compost obtenu est de couleur grisâtre avec des débris peu dégradés. Il a été utilisé pour la fertilisation de l'essai (planche I : E).

Planche I : Photographies montrant des étapes du compostage

				
A : découpage des résidus de récolte	B : dépôt de branchage et poudrage de la cendre	C : succession des couches	D : couverture du tas à l'aide d'un sachet plastique	E : compost obtenu après deux mois

1.1.3. Microdose

La microdose aussi appelée la microfertilisation est une technique de la fertilisation localisée qui consiste à apporter de faibles doses d'engrais minéraux appropriés, pendant les semis ou

après levée dans des poquets (ICRISAT, 2004). Le microdosage est une technique accessible par les producteurs et possède de multiples effets bénéfiques pour le producteur. En effet, la microdose d'engrais permet de gérer les aléas climatiques, de limiter les pertes d'azote par volatilisation et de couvrir les besoins en phosphore des sols déficitaires (ICRISAT, 2004). En outre, elle permet une utilisation efficiente des engrais et permet, de manière durable, une augmentation des rendements à moindre investissement (CILSS, 2012).

La baisse des rendements étant due principalement à la pauvreté des sols, il est évident que l'apport des engrais est un moyen pour rehausser le niveau des rendements et de maintenir la fertilité des sols. Cependant les producteurs sont confrontés au coût élevé et à l'indisponibilité des engrais minéraux. Et même dans le cas où ces engrais minéraux seraient disponibles et accessibles, leur utilisation peut entraîner l'acidification des sols avec le temps. Il faut donc trouver une technique efficace pour produire à moindre coût et de façon durable ; technique qui soit accessible aux petits producteurs, d'où la microdose (Bationo *et al.*, 1998).

1.2. Généralités sur le mil

1.2.1. Origine, morphologie et culture du mil

Le mil serait originaire de l'Afrique de l'Ouest, dans la zone limite sud du Sahara entre le Soudan occidental et le Sénégal où en effet on trouve de nombreuses espèces à l'état sauvage (comme *P. monodii* et *P. mollissimum*) et celles cultivées (Diallo, 2012). Il est une plante herbacée annuelle des zones semi-arides chaudes qui appartient à la classe des monocotylédones, à la famille des *Poaceae*, de la Tribu des Paniceae, au genre *Pennisetum* et l'espèce considérée dans notre étude est des *typhoides* (*Pennisetum typhoides*).

Le mil est une plante à port érigé dont les tiges sont solides, pleines et constituées de nœuds et d'entre-nœuds. La hauteur de la tige varie entre 1 et 3 m voire plus. Le système racinaire est composé de racines superficielles et des racines qui peuvent s'enfoncer jusqu'à 200 cm dans le sol, ce qui explique l'adaptation de cette plante aux sols dunaires (Boubacar, 1985). Le mil possède un tallage abondant dont seulement une faible partie est productive. Les feuilles alternes engainantes et à nervures parallèles s'insèrent sur la tige au niveau des nœuds. Elles ont une longueur variant de 20 à 100 cm pour une largeur variant entre 5 et 50 mm. L'inflorescence est un épi dont la longueur varie de 10 cm à plus de 100 cm 22 selon les variétés (Memento de l'agronome, 2002). Le grain du mil est appelé caryopse. Le mil se reproduit par fécondation croisée car ce sont les styles et les stigmates qui, en s'allongeant sortent les premiers de l'épillet. Ils sont fanés quand les étamines émergent de la fleur et

s'ouvrent rendant donc la pollinisation directe impossible. En général, il y a donc quelques jours de décalage entre les floraisons mâles et femelles ; ce qui favorise une fécondation croisée. Le mil est une espèce diploïde ($2n=14$ chromosomes), sexuée, hermaphrodite (possède les organes reproducteurs mâle et femelle) (Ben, 2013).

Le mil est généralement cultivé dans les zones ayant une pluviométrie variant entre 200 à 800 mm répartie sur trois à six mois correspondant à la longueur de la saison des cultures. Le mil est très résistant à la sécheresse en cours de végétation mais une sécheresse aussitôt après la levée peut éliminer beaucoup de jeunes plants. La température optimum pour son développement se situe entre 27 et 30°C (Memento de l'agronome, 2002). Il est moins exigeant et est généralement cultivé sur des sols légers et sablo-argileux bien drainés avec un pH faible.

1.2.2. Importance du mil pour le Burkina Faso

La production nationale du mil pour la campagne 2002-2003 était de 994.700 tonnes soit 31,89% de la production céréalière totale sur une superficie totale de 1.322.953 ha (MAHRH/DGPSA, 2003). Le mil est une céréale cultivée pour son grain qui sert à l'alimentation humaine (Dabiré, 2004). En effet le mil est utilisé comme aliment de base, pour la préparation de boissons alcoolisées, de pâtes alimentaires. C'est un aliment énergétique, nutritif, particulièrement recommandé pour les enfants et les personnes âgées ou en convalescence. Les sous-produits notamment les tiges et les feuilles sont utilisées pour l'alimentation du bétail, et comme additifs pour la fertilisation des sols. Ils sont également utilisés dans la construction de murs, de barrières et de toits, et la confection de balais, de nattes, de paniers, d'ombrières ; et servent aussi de combustibles domestiques.

1.2.3. Contraintes à la culture du mil

1.2.3.1. Conditions pédoclimatiques

La pauvreté des sols est un véritable frein à la production du mil. Cette pauvreté des sols est d'une part due aux pratiques culturales traditionnelles : absence de travail préparatoire du sol, très faible apport d'intrants organiques naturels, absence de rotation des cultures entraînant l'épuisement des sols. D'autre part la baisse de la fertilité des sols est due à la pression démographique dans les pays sahéliens qui limite les périodes de jachère entraînant ainsi une diminution de la fertilité des sols et par conséquent une baisse des rendements (Bouzou, 2009).

Par ailleurs la mauvaise répartition des pluies dans le temps et dans l'espace, et les températures élevées de l'atmosphère entraînent une baisse des rendements, tout comme les vents violents en début ou en fin d'hivernage qui gênent les cultures et entraînent des pertes de rendements (Ben, 2013).

1.2.3.2. Maladies

Plusieurs maladies connues sur le mil, sont causées par des virus, des champignons et des bactéries (Bouzou, 2009). Ce sont notamment :

- le mildiou ou lèpre du mil, causé par *Sclerospa graminicola* ;
- le charbon du mil, causé par *Toliposporium penicillariae* ;
- l'ergot du mil, causé par *Claviceps fusiformis* ;
- la pyriculariose, causée par *Pyricularia satariae*.

Les moyens de lutte de ces maladies sont notamment l'utilisation de semences saines et leur désinfection, la destruction des parties infestées, l'utilisation de variétés résistantes, la pratique de méthodes culturales telles que la rotation, l'assolement, les labours profonds.

1.2.3.3. Insectes et animaux granivores

Selon Ben (2013), plusieurs espèces d'insectes sont identifiées à la culture du mil, leur grande majorité est invisible et cause d'énormes problèmes aux cultures. Les plus importantes sont :

- les lépidoptères : la chenille foreuse des tiges, *Coniesta ignefusalis* et la mineuse de chandelle, *Helicoheilus albipunctella* ;
- les coléoptères : renfermant les familles des Chynomelidae des Meloidae, des *Scaradeidae* dont *Rhinyptia infuscata* à moeurs nocturne ;
- les hétéroptères : comportant la punaise rouge, *Dysdercus volkeini* dont l'invasion se remarque au stade floraison ;
- les orthoptères dont la famille des acrididae avec *Oedaleus senegalensis*, représentent un danger de plus en plus menaçant pour les cultures.

Les oiseaux granivores comme *Ploceus cuculatus*, *Quelea-quelea*,... peuvent occasionner des pertes sévères en grains, surtout si la récolte est retardée par rapport à la maturité des grains. Les rongeurs provoquent aussi des ravages dont l'ampleur varie d'une année à l'autre (Ben, 2013).

1.2.3.4. Mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes constitue un volet important, les pertes de récoltes étant estimées à 25 %. Toutefois, il faut signaler que les mils traditionnels, grâce à leur haute taille, sont assez compétitifs face aux adventices. Parmi les mauvaises herbes on peut noter :

- *Striga hermontica* est une plante parasite qui constitue un danger redoutable pour le mil. Elle s'attache aux racines de la plante hôte et y prélève des éléments nutritifs. La plante hôte est affaiblie et, dans le cas d'infestation sévère, il n'y a pas de production d'épis. La sécheresse et la faible fertilité des sols favorisent l'infestation des parcelles par le *Striga*. Son arrachage n'est pas réalisable de façon efficace en cas d'infestation grave (Mémento de l'agronome, 2002) ;
- *Pennisetum stenostachyum* est une forme adventice du mil provenant d'un croisement entre le mil cultivé et le mil sauvage. Sa fréquence atteint parfois 20 %, avec une incidence défavorable sur la productivité des cultivars infestés. L'élimination des shibras d'un cultivar permettrait donc une augmentation significative de sa production (Tompa, 1983 ; Williams et Andrews, 1983).

1.3. Généralités sur sorgho

1.3.1. Origine, morphologie et culture du sorgho

Selon Bonzi (2013), l'origine du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) a fait l'objet de plusieurs études qui ont conduit à l'émission d'un certain nombre d'hypothèses relatives à l'origine de la plante. Parmi ces hypothèses, la plus probante semble être celle qui stipule que le sorgho serait domestiqué en l'an 1000 avant Jésus Christ (J-C). La domestication du sorgho se serait produite au Nord- Est de l'Afrique et plus précisément en Ethiopie, d'où la diffusion du sorgho s'est faite d'abord en Afrique, puis le long des voies maritimes et commerciales en Asie Orientale et en Inde. Le sorgho a été par la suite introduit en Amérique de l'Ouest par le biais du commerce des esclaves. La dispersion du sorgho va se poursuivre en Amérique du Sud puis en Australie (Bonzi, 2013). Le sorgho appartient à la Classe des Monocotylédones, à l'Ordre des Glumales, à la Famille des Poaceae (Gramineae), à la Sous-Famille des Panicoideae, à la Tribu des Andropogonées, au Genre *Sorghum* et est composé de plusieurs espèces (*Sorghum spp*).

La plante de sorgho peut être de talle unique ou multiple, avec une tige constituée de nœuds alternant avec les entre-nœuds appelée chaume. Les feuilles sont alternes, simples, de gaines de longueurs comprises entre 15 et 35 cm, d'un limbe lancéolé mesurant entre 30 et 135 cm

de long sur 1,5 à 13 cm de large (Balole et Legwaila, 2006). Le grain est un caryopse sphérique peu aplati. L'inflorescence est une panicule constituée d'un axe central appelé rachis, d'où partent des branches primaires. Celles-ci produisent des branches secondaires et même tertiaires. La ramification ultime est un racème. Il porte les épillets par paire. L'un est sessile et fertile, l'autre est pédicellé et stérile. L'épillet sessile comporte deux fleurs mais, seule la fleur supérieure est complète. Il ne produit normalement qu'un grain (Balole et Legwaila, 2006).

Plante des régions chaudes et semi-arides trop sèches, le sorgho est une plante résistante à la sécheresse en raison de ses caractéristiques morphologiques et physiologiques à savoir un système racinaire bien développé (racines nombreuses et perforantes), une force de succion (aptitude à interrompre sa croissance pendant les périodes de sécheresse et à la reprendre une fois les conditions redevenues favorables) et des mécanismes de régulation comme la capacité de réduire son métabolisme durant les périodes très sèches (la pruine des feuilles qui limite la transpiration). Les précipitations de 500-800 mm d'eau bien réparties suffisent au sorgho pour boucler son cycle (Bonzi, 2013). Le sorgho est tolérant à la température et à l'asphyxie racinaire (Balole et Legwaila, 2006). Pour ce faire, sa culture est possible dans les zones à fortes précipitations, dans les régions tempérées et sous les tropiques jusqu'à 2300 m d'altitude. Le sorgho se développe mieux sur les sols sableux légers ayant un pH compris entre 5,0 et 8,5 (Balole et Legwaila, 2006). La date de semis lorsqu'elle est précoce permet une augmentation du cycle végétatif, la date d'épiaison demeurant fixe. La densité de semis varie en fonction de la variété et de l'objectif de rendement (les écartements sont de 80 à 100 cm entre les lignes et 25 à 40 cm entre poquets). Quant à la profondeur de semis, elle est de 3 cm avec une dose de 4 à 5 graines par poquet.

Mais il existe des périodes critiques : de la germination au début de la croissance ; stade de gonflement jusqu'au stade laiteux. Le zéro de germination est de l'ordre de 12 °C avec une température optimum allant de 27 à 30 °C. À un stade jeune ou suite à une reprise de croissance après une coupe ou un stress physiologique, certaines variétés de sorgho peuvent empoisonner le bétail qui les pâture. Leur toxicité est due à un composé présent dans les parties végétatives, la durrhine, qui produit de l'acide cyanhydrique pendant la digestion. Il convient donc d'être prudent quand on alimente du bétail avec de jeunes plantes ou des repousses de sorgho. La toxicité disparaît à la floraison (Memento de l'agronome, 2002).

Concernant l'effet de la lumière, le sorgho est une plante nyctipériodique (la plante s'épanouit lorsque les jours sont de courte durée). Il existe cependant, des variétés non photosensibles. La plupart des variétés locales de sorgho, sont photopériodiques de jours courts.

1.3.2. Importance du sorgho au Burkina Faso

Le sorgho est la céréale la plus cultivée au Burkina Faso. Le sorgho est la première céréale cultivée et constitue avec le mil la base de l'alimentation des populations. La production nationale du sorgho pour la campagne 2002-2003 était de 1.373.300 tonnes soit 44,03% de la production totale en céréale sur une superficie totale de 1.478.359 ha (MAHRH/ DGPSA, 2003). Le sorgho, grâce à son grain sert à l'alimentation humaine (bouillies, semoules, etc.) et animale (volaille, bovins et ovins). Les résidus de récolte servent à l'alimentation des animaux (Dabiré, 2004). Les grains sont également utilisés dans l'industrie pour fabriquer de l'alcool, de l'huile, des biocarburants, de la bière, etc. Il existe des sorghos ayant des usages spécialisés : sorgho sucré ; sorgho fourrager ; sorgho papetier.

1.3.3. Contraintes à la culture du sorgho

1.3.3.1. Contraintes pédo-climatiques

Au Burkina Faso, les sols sont en majorité de type ferrugineux tropicaux pauvres en matière organique et souvent très compacts avec un pH acide dont la valeur varie entre 6 et 6,5 (Dabin, 1958). Même si le sorgho est une plante très peu exigeante en fertilisation et tolérante en pH, les caractéristiques des sols énumérées pourraient handicaper sa productivité (Bonzi, 2013). En outre les pluies sont insuffisantes dans la majorité des cas avec une mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace.

1.3.3.2. Maladies du sorgho

Les mycoses, les bactérioses et les viroses sont les principales maladies connues chez le sorgho. Ces maladies causent d'énormes dégâts et entraînent des pertes de rendement. Les moyens de lutte sont entre autres le traitement des semences, l'utilisation de variétés résistantes, la suppression des parties infestées, la rotation culturale,...

1.3.3.3. Autres ennemis du sorgho

Les principaux insectes ennemis du sorgho sont la Cécidomyie (*Stenodiplosis sorghicola*), la mouche de la tige (*Atherigona soccata*), les Borers. Les mauvaises herbes : *Striga hermontica* et *Striga aspera* sont deux (2) espèces de mauvaises herbes qui parasitent le sorgho. Le *Striga* est une plante parasite qui puise sa nourriture directement sur la racine du sorgho et constitue

ainsi un problème préoccupant. Par ailleurs les oiseaux n'en demeurent pas moins des ennemis lorsque la culture est isolée.

1.4. Généralités sur la fertilisation organo-minérale

1.4.1. Fertilisation organo-minérale

1.4.1.1. Fertilisation des céréales (mil et sorgho)

La fertilisation consiste à apporter des éléments fertilisants (organiques ou minéraux) au sol dans l'optique d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (Falisse et Lambert, 1994). La dose de fertilisants à apporter à une culture tient compte de la fertilité du sol, de la pluviométrie de la zone. Pour la culture du mil, le besoin en fumure organique est de 15 à 20 t de fumier à l'hectare qui sera enfouis lors de la préparation du sol (labour) (Denis, 1984). La fumure minérale est essentiellement apportée sous-forme d'azote qui est le pivot de la fumure du mil (Ben, 2013). On estime qu'il faut apporter une fumure d'entretien 100 Kg/ha de N (urée). Cet azote n'est complètement valorisé que si les quantités de phosphore (P) et de potassium (K) disponibles pour la plante sont suffisantes. A cet effet, il est important d'apporter de l'engrais sous-forme de NPK (15-15-15) avant la préparation du sol ou par microdose aux semis (CILSS, 2012).

Le sorgho est une plante qui répond à la fumure minérale. Il est donc recommandé 100 Kg/ha de NPK au 15^{ème} JAS et 50 Kg/ha d'urée au 45^{ème} JAS. Pour ce qui est de la fumure organique, la dose permettant d'obtenir des rendements acceptables est de 5 t/ha de fumier bien décomposé ou de compost tous les deux ans (Somda, 2015).

1.4.1.2. Fumure minérale

La plante peut puiser ses éléments nutritifs à partir du sol ou de l'air. Mais lorsque les besoins de la plante ne sont pas couverts, il faut nécessairement apporter à la plante des substances nutritives renfermant les éléments minéraux pour une bonne croissance de la plante et pour un bon rendement (Bado, 2002). La fertilisation minérale permet de satisfaire les besoins de la plante en vue de réaliser un bon rendement. Elle fournit une grande quantité d'éléments nutritifs immédiatement disponibles pour la plante.

La fertilisation minérale n'est accessible qu'à une minorité. En effet l'inaccessibilité et les coûts élevés des engrais minéraux limitent leur utilisation par les producteurs. Face à cette situation, la technique de la microdose permet de résoudre ce problème. L'utilisation à long terme des engrais minéraux entraîne des effets néfastes sur le sol notamment l'acidification

(Somda, 2015) et par conséquent sur les rendements (Sédogo, 1993). Il faut donc une combinaison avec de la matière organique.

1.4.1.3. Fumure organique

L'amendement organique consiste à apporter des sources de matières organiques à des degrés de décomposition divers dans les champs (Somda, 2015). Elle est l'une des plus anciennes méthodes d'amélioration de la fertilité du sol. Comme source de matière organique, l'on peut distinguer les résidus de récolte, le fumier, les déchets, le compost, les engrais verts,... La matière organique apportée au sol joue un rôle énergétique du fait que par la richesse en carbone et en hydrogène des substances organiques, elles libèrent par oxydation d'importantes quantités d'énergie pour les micro-organismes du sol (Somda, 2015). En outre, la matière organique permet la stabilité structurale du sol. Elle est source d'éléments nutritifs par le processus de minéralisation et augmente l'efficacité des engrais minéraux. La fumure organique est la base de la fertilité du sol mais elle doit être complétée par la fumure minérale.

La pratique de la fumure organique est limitée par l'indisponibilité des résidus de récolte à cause des animaux transhumants qui les consomment dans les champs durant la saison sèche (Abga, 2013). Par ailleurs, l'inaccessibilité à la matière organique est due à sa production limitée et au manque d'intégration de l'élevage à l'agriculture (Somda, 2015). Face à ces multiples contraintes, le compostage de la litière des arbres des parcs agroforestiers peut être un moyen pour rehausser le niveau d'utilisation de la matière organique.

1.4.1.4. Fumure organo-minérale

La combinaison de matières organique et minérale permet une amélioration des rendements et une gestion durable de la fertilité des sols (Zeinabou *et al.*, 2014). Plusieurs études ont montré l'effet bénéfique de cette combinaison (Somda, 2015). La matière organique, en même temps qu'elle augmente l'efficacité des engrais, améliore les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol. Par ailleurs la gestion intégrée de la fertilité des sols recommande l'utilisation maximale des ressources localement disponibles (le fumier, les résidus de récoltes, la litière des arbres) et l'adjonction des intrants organiques et minéraux, économiquement et socialement acceptables.

1.4.2. Fertilité des sols

Le concept de fertilité est une notion qui renvoie à plusieurs perceptions. La définition de la fertilité au XVII^e siècle se réduisant principalement à la texture du sol. La fertilité était donc vue comme une caractéristique intrinsèque du sol, à laquelle l'agriculteur devait s'adapter en

choisissant les cultures (Delville, 1996). Plus tard Soltner (1990) va définir la fertilité d'un sol comme la conjugaison de facteurs fonciers et de facteurs techniques (interactions entre les milieux humains, naturels et techniques). Du reste nous retenons que la fertilité d'un sol est la capacité de ce sol à produire, c'est-à-dire la capacité à fournir aux plantes cultivées les éléments nutritifs dont elles ont besoin pour se développer et produire. Laquelle capacité repose sur un ensemble des propriétés formant les caractéristiques physiques, biologiques et chimiques du sol.

La fertilité du sol est constituée de composantes physiques, chimiques et biologiques entre lesquelles il y a des interactions. Un sol ne peut offrir les conditions favorables aux productions végétales que lorsque ses propriétés physiques, chimiques et biologiques sont optimales (Naitormbaide, 2007) :

- la fertilité physique du sol : est déterminée par la structure, la texture et la porosité du sol qui conditionne la circulation d'eau, les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère ;
- la fertilité chimique du sol : est déterminée par la composition du sol en éléments nutritifs et leur disponibilité sous forme assimilable par la plante. Les éléments majeurs : l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre. Les oligoéléments ou éléments traces reconnus indispensables au développement des végétaux sont: le bore, le fer, le cuivre, le zinc, le molybdène, le manganèse et le chlore. Le calcium est souvent présent en quantité suffisante. La concentration de l'ion hydrogène H^+ du sol détermine son degré d'acidité et sa toxicité aluminique ;
- la fertilité biologique du sol : est déterminée par l'activité biologique des micro-organismes, des vers de terre (lombrics), des termites et des racines des plantes. Les micro-organismes se nourrissent de la matière organique du sol. Ce faisant, ils libèrent des éléments minéraux (nitrate, phosphate,...) absorbables par les plantes et participent à la synthèse des acides humiques.

CHAPITRE II : METHODOLOGIE

2.1. Zone d'étude

2.1.1. Situation géographique

L'étude a été menée dans la commune rurale de Nobéré. Située à environ 100 km de Ouagadougou, cette commune rurale fait partie de la région du Centre-Sud. Elle est à une trentaine de kilomètres de Manga, chef-lieu de la province du Zoundwéogo dont elle relève. La commune a une superficie de 523 km² et couvre une partie du Parc National Kaboré Tambi (PNKT).

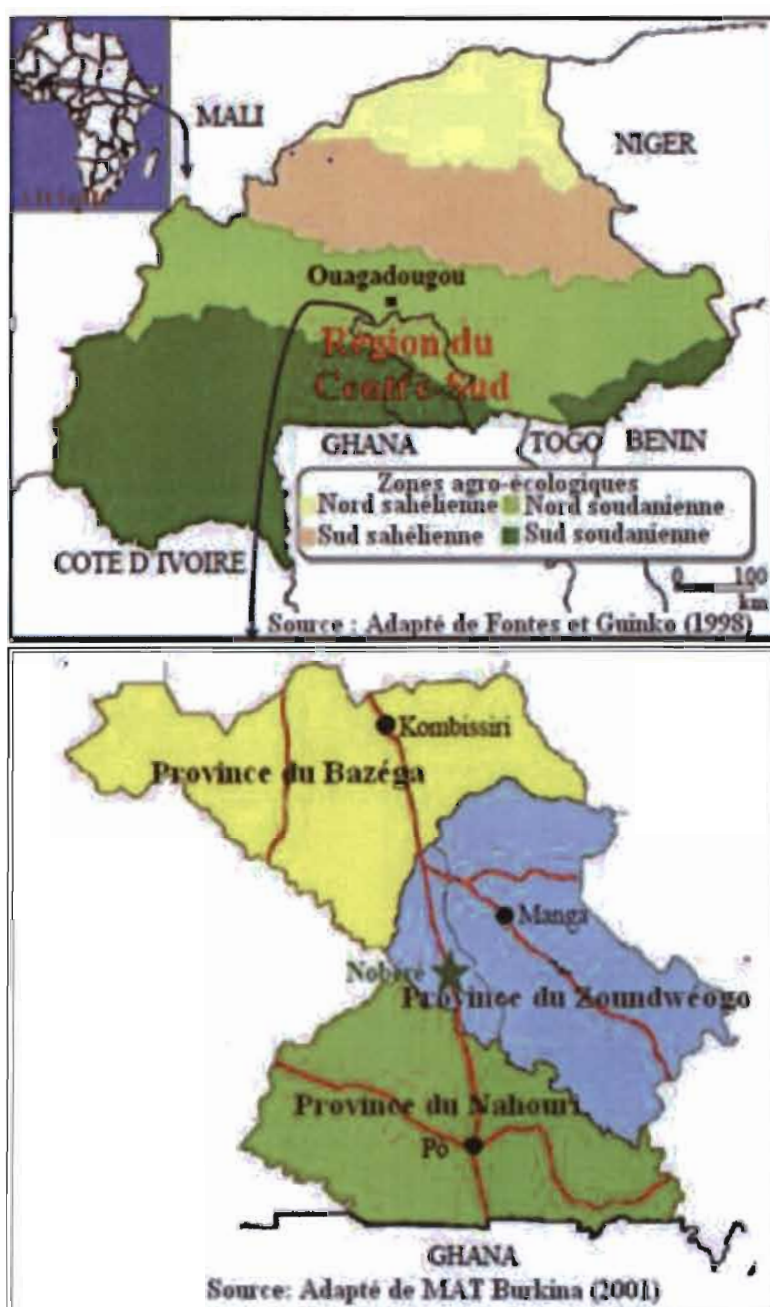
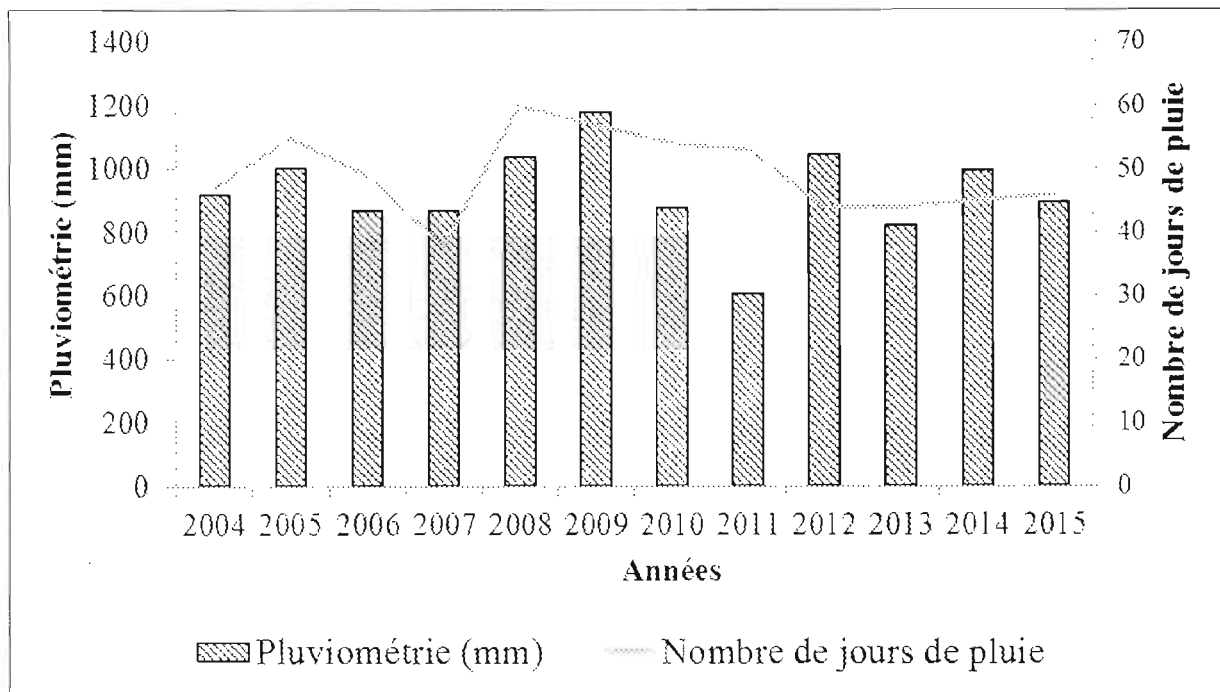


Figure 1 : Localisation du site d'étude à Nobéré au Burkina Faso, Afrique de l'ouest.

2.1.2. Climat, sol et végétation

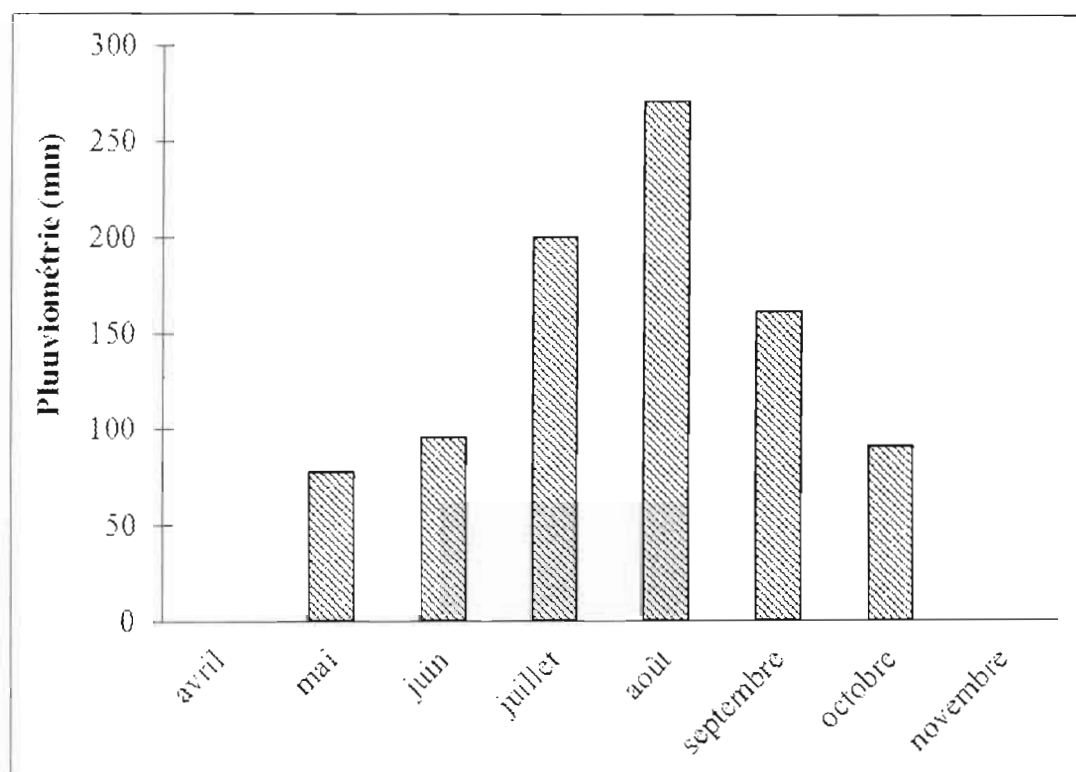
Nobéré appartient à la zone agro écologique nord soudanienne avec une pluviométrie annuelle qui varie entre 700 et 1000 mm (Guinko et Fontès, 1995). Les statistiques de la station météorologique locale des douze dernières années donnent une moyenne pluviométrique de 923,8 mm avec une moyenne journalière de 49,1 mm (figure 2). Des forêts claires, des savanes arborées, arbustives, boisées ainsi que des fourrés sont les types de formations végétales rencontrées. A cela s'ajoutent les formations anthropisées notamment les jachères (Guinko et Dilema, 1992). Pour les mêmes auteurs la strate herbacée est actuellement dominée par les espèces annuelles et la strate ligneuse est faite de parcs arborés à *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. et autres. Dans la réserve par contre, on trouve des graminées vivaces telles *Andropogon gayanus* dont les repousses attirent les éleveurs et des ligneux très appréciés comme *Pterocarpus erinaceus* Poir et *Khaya senegalensis* qui sont émondés pendant la saison sèche chaude (Guinko et Dilema, 1992). Nobéré relève de la région du Centre-Sud qui compte sept (7) types de sols, dominés par les sols ferrugineux tropicaux lessivés (64%). Les lithosols et sols peu évolués d'origine gravillonnaire occupent 17%, les vertisols et les paravertisols 5% et les sols hydromorphes 5% (Ministère de l'agriculture, 2011).



Source : Station météorologique locale de Nobéré.

Figure 2 : Evolution de la pluviométrie de la commune de Nobéré de 2004 à 2015.

La Figure 3 montre la répartition de la pluviométrie mensuelle de Nobéré en 2015.



Source : station météorologique locale de Nobéré

Figure 3 : Pluviométrie mensuelle de Nobéré en 2015.

2.2. Matériel d'étude

2.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est la semence de la variété locale du mil (kélémague en mooré) et du sorgho (Kapelga en mooré) fournis par un producteur local. Le cycle du mil est de 90 jours et celui du sorgho va de 100 à 120 jours. Le traitement de la semence a consisté en un triage pour enlever les impuretés. Il n'y a pas eu de traitement à une formule insecticide-fongicide.

2.2.2. Matières fertilisantes

Les matières organiques utilisées correspondent au compost de litière des arbres et de résidus de récolte et au fumier obtenu après tabulation à l'étable de bovins et de caprins. L'engrais minéral NPK (14-23-14) a été utilisé.

2.3. Méthodes d'étude

Notre étude a consisté en mettre en place un essai en milieu paysan. Trente (30) producteurs se sont proposés volontaires pour mettre en place le dispositif. Les producteurs sont membres de l'Union Départementale des Producteurs de Nobéré (UDPN). Pour chaque champ après

avoir enregistré le nom et le prénom du producteur, les paramètres suivants sont observés et enregistrés :

- le nombre d'arbres de chaque champ et le nom de l'espèce dominante ;
- la culture de l'année précédente ;
- le poids de la biomasse sèche disponible.

2.3.1. Estimation de litière et de résidus de récolte disponibles sur les champs

Une étude préliminaire a été faite pour déterminer la quantité de matière organique (litière des arbres et résidus de récolte) disponible en fin de saison sèche dans les trente (30) champs retenus. Ces données ont servi à fixer la quantité de matière organique à apporter dans les différents traitements. Ainsi, dans chaque champ, la biomasse sèche disponible a été rassemblée en tas puis placée dans une bâche et pesée avec un peson de 50 Kg. La biomasse sèche était composée en général de litière d'arbres (de karité en majorité) et de résidus de récolte (tige de mil et sorgho essentiellement). Le poids moyen de matière organique collectée dans les champs était 5529 Kg. La superficie cumulée des champs étaient de 13,75 ha avec une surface de 3.69 ha de sol très dégradé. L'application de cette quantité de matière organique disponible sur la superficie de sol le plus dégradé serait donc de 1500 Kg/ha. Cette valeur (1,5 t/ha) a été considérée comme la dose de matière organique applicable par les producteurs dans l'étude.

2.3.2. Dispositif expérimental et traitements

Le dispositif expérimental utilisé est un bloc Fisher de 15 répétitions. Chaque bloc comprenait six (6) parcelles unitaires (PU). Chaque PU avait une longueur de 10 m et une largeur de 2 m soit une superficie de 20 m². L'espacement entre les PU est de 1 m. La superficie de chaque bloc est de 170 m² (figure 4). Ce dispositif est utilisé pour chacune des deux cultures (Mil et Sorgho). Les traitements étudiés sont des options de fertilisation avec de la matière organique et/ou de l'engrais minéral NPK :

- le traitement T1 est l'application du compost de litière des arbres et des résidus de récolte ;
- le traitement T2 est l'apport de fumier ;
- le traitement T3 est l'application d'une microdose NPK ;
- le traitement T4 est une combinaison de compost et de fumier ;
- le traitement T5 est une combinaison de compost et de microdose de NPK ;
- le traitement T6 est une combinaison du fumier et de la microdose de NPK.

Pour les traitements T1 et T2, 1,5 t de compost et 1,5 t de fumier ont été respectivement appliqués. Trois grammes (3 g) de NPK (14-23-14) ont été déposés dans chaque poquet à proximité des jeunes plants puis on referme pour éviter les pertes par évaporation ou par ruissellement. Les doses de NPK étaient donc de 63 Kg/ha et 94 Kg/ha respectivement pour le mil et le sorgho en tenant compte de leur densité de semis. Les mêmes quantités de matière organique et de NPK ont été utilisées dans les combinaisons (T4, T5 et T6).

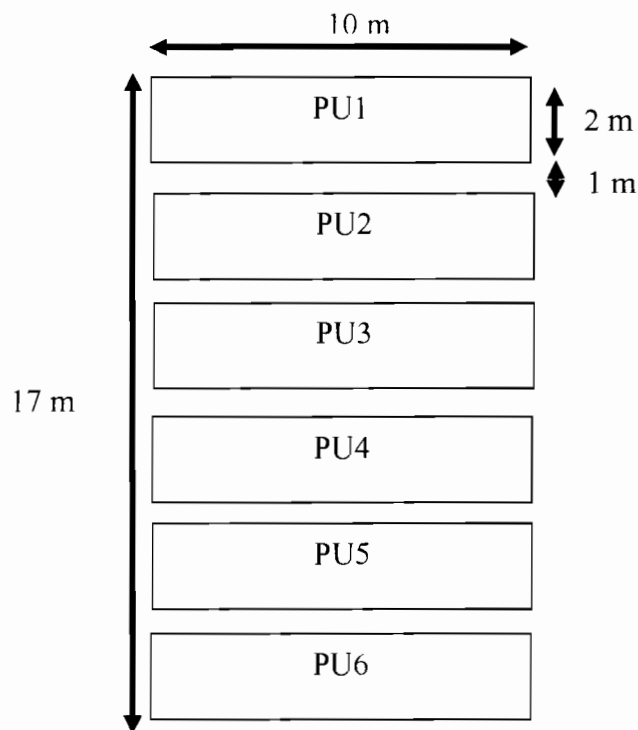


Figure 4 : Dispositif expérimental de l'essai du mil et du sorgho

2.3.3. Mise en place et conduite de l'essai

Conformément au dispositif expérimental décrit ci-dessus (figure 4) chacune des spéculations a été mise en culture suivant les différents traitements. L'ensemble des opérations suivantes ont été appliquées à l'essai du mil et du sorgho :

- la préparation du sol a consisté en un labour moyen à la traction animale ;
- le semis a été effectué à la main après le passage d'un rayonneur. Les écartements pour le mil sont de 80 cm entre les lignes et 60 cm entre les poquets tandis que pour le sorgho, les écartements de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets ont été utilisés ;
- le sarclo-binage : le premier a eu lieu au 15^{ème} jour après semis (JAS) et le deuxième au 30^{ème} JAS ;
- le buttage a eu lieu au 45^{ème} JAS ;

- la fertilisation : les différents traitements ont été appliqués au 15^{ème} JAS au moment du premier sarclo-binage.

2.3.4. Collecte des données

La collecte des données a été réalisée dans chaque parcelle unitaire des deux dispositifs (mil et sorgho). Les paramètres suivis sont les suivants :

- *mesures de la croissance des plants*

Les mesures de la hauteur des plants et du diamètre ont commencé au 50^{ème} JAS et se faisaient tous les 14 jours. Ainsi ces mesures ont été effectuées à trois dates différentes à savoir 50 JAS, 64 JAS et 78 JAS. La mesure se fait à l'aide d'un double décimètre et part de la base de la tige jusqu'au bout de la dernière feuille centrale. La mesure de diamètre des plants se fait à l'aide d'un pied à coulisse.

- *suivi de l'humidité du sol*

Les prélèvements d'échantillons de sol ont été réalisés dans chaque parcelle unitaire au niveau de trois points distincts au sein de la parcelle unitaire. Ces prélèvements sont faits après une pluie et après écoulement de l'eau gravitaire. Dans chaque parcelle unitaire, on réalise un premier prélèvement dans l'horizon 0 à 10 cm et un deuxième prélèvement dans l'horizon 10 à 30 cm à l'aide d'une tarière. Ces échantillons sont mis dans des sachets plastiques. Un premier pesage est fait au moment du prélèvement pour déterminer le poids frais de l'échantillon et un deuxième après le passage des échantillons à l'étuve à la température de 100°C pendant 48 heures pour avoir le poids sec. Le taux d'humidité pondérale est obtenu suivant le rapport :

$$\text{Taux d'humidité} = \frac{\text{Poids frais} - \text{Poids sec}}{\text{Poids frais}} \times 100$$

- *Indice foliaire*

Toutes les feuilles de la même plante sont prélevées au niveau de chaque traitement au moment de l'épiaison. Ces feuilles récoltées sont séchées à la manière de l'herbier. Après séchage, les feuilles sont scannées afin de déterminer la surface foliaire au niveau de chaque traitement. Ainsi pour chacune des spéculations mil et sorgho, la surface foliaire est déterminée selon le traitement appliqué.

- *estimation de rendements de sorgho et de mil*

Après récolte, le poids des tiges sèches et celui des épis ont été mesurés après séchage au soleil pendant deux semaines. A partir du poids des tiges sèches et de celui des épis l'on détermine le poids de la biomasse sèche aérienne. Le poids de grain a été obtenu après battage des épis de sorgho et de mil. Les rendements en biomasse sèche aérienne et en grain sont ainsi mesurés à l'aide d'un peson.

- *étude socio-économique*

Une enquête a été réalisée auprès de soixante (60) producteurs dont trente (30) producteurs membres de l'UDPN (Union Départementale des Producteurs de Nobéré) et trente 30 autres producteurs. Cette enquête venait comme complément aux données récoltées à partir de l'essai de fertilisation installé en milieu paysan. L'enquête avait pour but de faire l'inventaire le plus exhaustif possible des comportements et des attitudes des producteurs. De plus, l'enquête devrait permettre d'identifier les contraintes liées à la fertilisation des sols afin de dégager des pistes pour une fertilisation raisonnée en vue d'une rentabilité de la production agricole. Pour cela, nous avons procédé à une interview de façon individuelle pour la collecte des données à partir d'un questionnaire conçu à cet effet (annexe 1).

Pour chacune des spéculations, nous avons évalué le bénéfice en fonction des traitements. Le coût de production se résume aux coûts des fertilisants et aux coûts engendrés par la main d'œuvre depuis la préparation du champ jusqu'à la récolte.

2.3.5. Méthode d'analyse des données

Les données récoltées ont été saisies avec le logiciel Excel puis soumises à une analyse de variance à l'aide de XLSTAT Version 7.5.2 en prenant en compte, le facteur options de fertilisation. Le test de FISHER (LSD) a été utilisé pour comparer les moyennes au seuil de 5%. Le logiciel SPSS version 20 a été utilisé pour l'analyse des données de l'enquête.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Effet des traitements sur la croissance du mil et du sorgho

3.1.1.1. Croissance en Hauteur

Appliqués au mil et au sorgho, les traitements ne sont pas statistiquement différents à 50 JAS et à 64 JAS (figure 5). Néanmoins la croissance des plantes commence à se distinguer au niveau des combinaisons de compost et de NPK (T5) puis de fumier et de NPK (T6) à 64 JAS.

A 78 JAS, L'analyse de variance révèle une différence significative entre les traitements à la date de 78 JAS (probabilité=0,015) quant à la hauteur des plantes de mil. A la date de 78 JAS, les traitements T6 (fumier+ NPK), T5 (compost +NPK) et T3 (NPK) donnent les plus importantes hauteurs avec de moyennes respectives 213,67±10 cm ; 208±4 cm et 191,44±20 cm. Les hauteurs de mil sont faibles au niveau des traitements T4 (compost + fumier), T1 (compost) et T2 (fumier) soit 160,26±16 cm, 136,28±7 cm et 155,06±14 cm respectivement (figure 5.a).

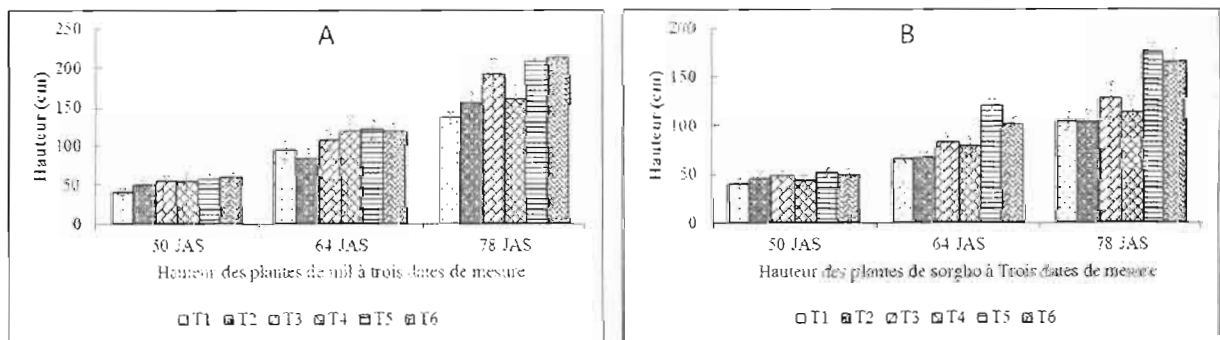


Figure 5 : Hauteur des plantes du mil et du sorgho en fonction des traitements.

Pour les plantes de sorgho, l'analyse de variance révèle une différence significative entre les traitements à la date de 78 JAS sur le paramètre hauteur (probabilité=0,019). En effet, l'on peut regrouper les traitements en trois groupes distincts. Le premier groupe est constitué de T5 et T6 qui possèdent les meilleures hauteurs 175,64±10 cm et 165,74±12 cm. Le traitement T3 est intermédiaire avec 127,96±15 cm. Le dernier groupe est constitué de T4, T1, et T2 qui sont de faibles hauteurs (figure 5.b.) avec respectivement 113,53±16 cm, 104,59±9 cm et 104,07±11 cm.

3.1.1.2. Croissance en diamètre

A 50 JAS les traitements sont similaires dans le cas du mil et du sorgho, avec une légère importance des diamètres des plantes au niveau des fumures organo-minérales (figure 6).

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les traitements à la date de 64 JAS (probabilité=0,029) quant au diamètre de mil. L'observation de la figure 7.a. montre que les traitements avec compost (T1) et fumier (T2) présentent les plus faibles diamètres. Les traitements compost + NPK (T5) et fumier +NPK (T6) présentent les meilleurs diamètres à cette date avec $13,53\pm 1$ mm et $13,31\pm 1$ mm respectivement. Les traitements T3, T4, T1 et T2 sont similaires avec les moyennes respectives $11,29\pm 1$ mm, $10,14\pm 1$ mm, $10,11\pm 1$ mm et $8,94\pm 1$ mm.

L'analyse de variance indique une différence significative entre les traitements pour ce qui est du diamètre des plantes de sorgho à la date de 64 JAS (probabilité=0,036). A cette date, les traitements T5 (compost +NPK) T6 (fumier+ NPK) et T3 (NPK) présentent les meilleures diamètres soit $14,67\pm 1$ mm, $14,31\pm 1$ mm et $13,64\pm 1$ mm respectivement ; tandis que les traitements T4 (compost + fumier), T1 (compost) et T2 (fumier) sont de faibles diamètres (figure 6.b) avec de moyennes respectives $11,1\pm 1$ mm, $9,96\pm 1$ mm et $9,21\pm 1$ mm.

A 78 JAS, l'analyse statistique ne révèle aucune différence significative pour ce qui est des diamètres de mil et de sorgho. Mais l'on observe une légère diminution de l'épaisseur des diamètres de certaines plantes.

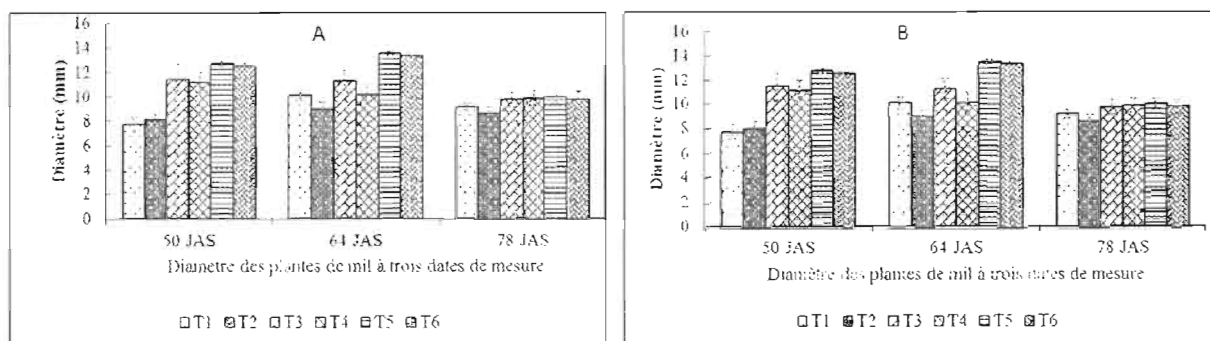


Figure 6 : Diamètre des plantes de mil et de sorgho en fonction des traitements

3.1.1.3. Surface foliaire

Pour ce qui est du mil, l'analyse de variance révèle une différence très hautement significative entre les traitements (probabilité=0,001). En effet la plus importante surface foliaire est obtenue avec le traitement compost + NPK (T5) qui vient en tête avec $728,17\pm 25$ cm². Il est secondé par le traitement T6 (fumier + NPK) avec $605,05\pm 27$ cm². Les autres traitements T3 (NPK), T4 (Fumier +compost), T1 (compost) et T2 (fumier) donnent de plus faibles surfaces foliaires (respectivement $546,16\pm 34$ cm² ; $465,67\pm 28$ cm² ; 414 ± 21 cm² ; $382,34\pm 34$ cm²) (figure 7.a).

L'analyse de variance montre une différence hautement significative entre les traitements appliqués au sorgho (probabilité=0,01). Par ailleurs le regroupement des moyennes donne trois groupes distincts (figure 7.b). Le premier groupe, constitué de T5 (compost + NPK) avec $1950,98 \pm 68 \text{ cm}^2$ et T6 (fumier + NPK) avec $1844,83 \pm 59 \text{ cm}^2$, présente de meilleures surfaces foliaires. Les surfaces foliaires des traitements T3 (NPK) avec $1350,96 \pm 114 \text{ cm}^2$ et T4 (fumier + compost) avec $1294,44 \pm 85 \text{ cm}^2$ sont intermédiaires. Les faibles surfaces foliaires sont observées au niveau des traitements T1 (compost) avec $882,42 \pm 55 \text{ cm}^2$ et T2 (fumier) avec $783 \pm 90 \text{ cm}^2$.

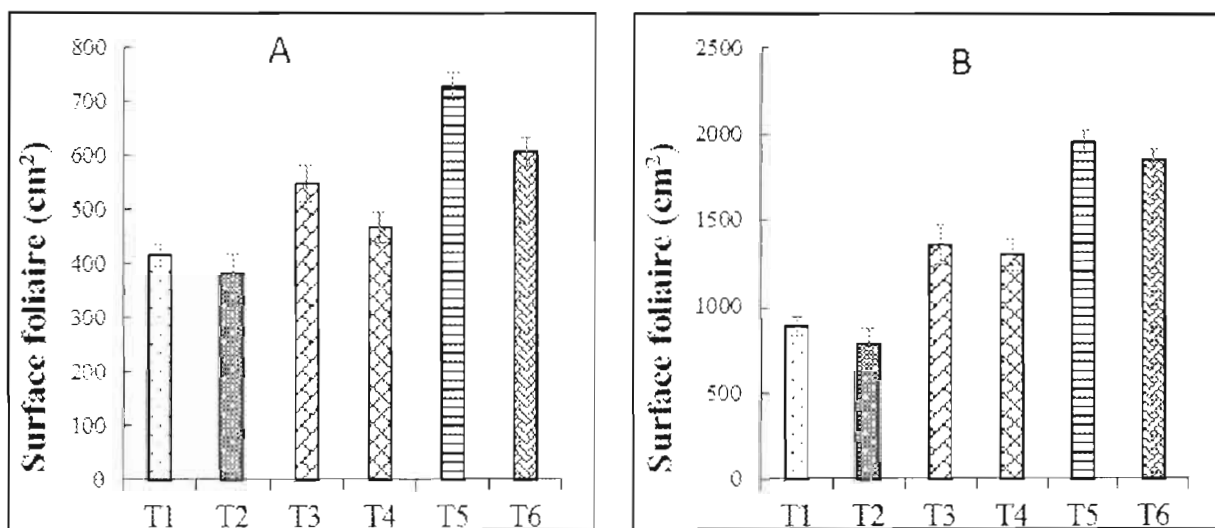


Figure 7 : Surface foliaire du mil et du sorgho en fonction des traitements

3.1.2. Effet des traitements sur les productions du mil et du sorgho

3.1.2.1. Rendement grain du mil et du sorgho

Pour ce qui est du rendement grain du mil, l'analyse de variance indique une différence très hautement significative entre les traitements (probabilité=0,004). Par ailleurs deux groupes peuvent être distingués conformément à la figure 8.a. Le premier groupe est composé des traitements T5 (compost + NPK), T6 (fumier+ NPK) et T3 (NPK) qui présentent de meilleurs rendements en grain (respectivement $778 \pm 118 \text{ Kg/ha}$; $675 \pm 120 \text{ Kg/ha}$; $573 \pm 23 \text{ Kg/ha}$). Le second groupe englobe T4 (compost+ fumier), T1 (compost) et T2 (fumier) qui donnent de faibles rendements en grain ($275 \pm 65 \text{ Kg/ha}$; $280,8 \pm 55 \text{ Kg/ha}$; $259 \pm 21 \text{ Kg/ha}$).

L'analyse de variance montre une différence significative parlant du rendement grain du sorgho (probabilité=0,047). Les trois traitements T4 (compost +fumier), T2 (fumier) et T1 (compost) sont similaires et présentent encore de faibles rendements en grain, respectivement $310 \pm 25 \text{ Kg/ha}$; $275 \pm 75 \text{ Kg/ha}$ et $181,67 \pm 18 \text{ Kg/ha}$. Par contre le meilleur rendement grain est obtenu en T5 (compost + NPK) avec un rendement moyen de $797,5 \pm 18 \text{ Kg/ha}$.

Viennent ensuite les traitements T3 (NPK) avec 590 ± 15 Kg/ha et T6 (fumier+ NPK) avec 570 ± 25 Kg/ha (figure 8.b).

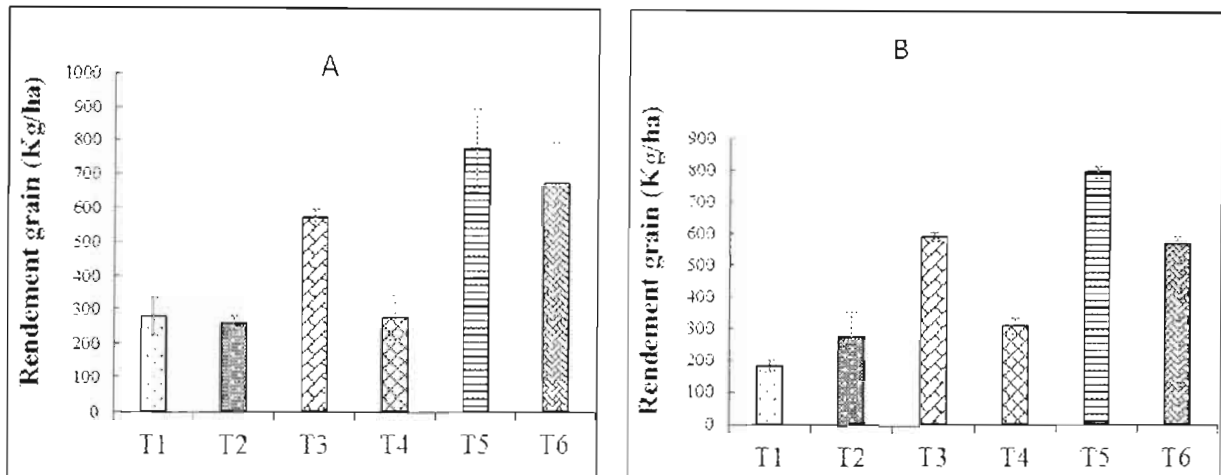


Figure 8 : Rendements grain du mil et du sorgho en fonction des traitements

3.1.2.2. Production de biomasse sèche aérienne du mil et du sorgho

L'analyse statistique montre une différence très hautement significative entre les traitements en termes de production de biomasse sèche du mil (probabilité=0,002). L'application de compost + NPK (T5), de fumier + NPK (T6) ou de NPK (T3) permet d'obtenir de meilleurs rendements en biomasse sèche avec respectivement 4261 ± 749 Kg/ha, 3992 ± 610 Kg/ha, 3139 ± 336 Kg/ha. Le traitement T1 (compost) vient ensuite avec 2295 ± 183 Kg/ha, puis les deux traitements T4 (compost+ fumier) et T2 (fumier) qui donnent de faibles rendements ($1636,67 \pm 342$ Kg/ha et 1620 ± 231 Kg/ha respectivement) (figure 9.a).

L'analyse de variance montre une différence significative entre les traitements quant à la production de biomasse sèche de sorgho (probabilité=0,015). L'observation de la figure 9.b révèle d'ailleurs deux groupes distincts. Les traitements NPK (T3), fumier +NPK (T6) et compost + NPK (T5) forment le premier groupe et présentent de meilleurs rendements (respectivement $7472,5 \pm 473$ Kg/ha ; 7055 ± 1055 Kg/ha; 6500 ± 500 Kg/ha).

Par contre le second groupe formé par les traitements compost (T1), fumier (T2) et compost+ fumier (T4), donne de faibles rendements ($3271,67 \pm 732$ Kg/ha; 2600 ± 60 Kg/ha; $2807,5 \pm 163$ Kg/ha).

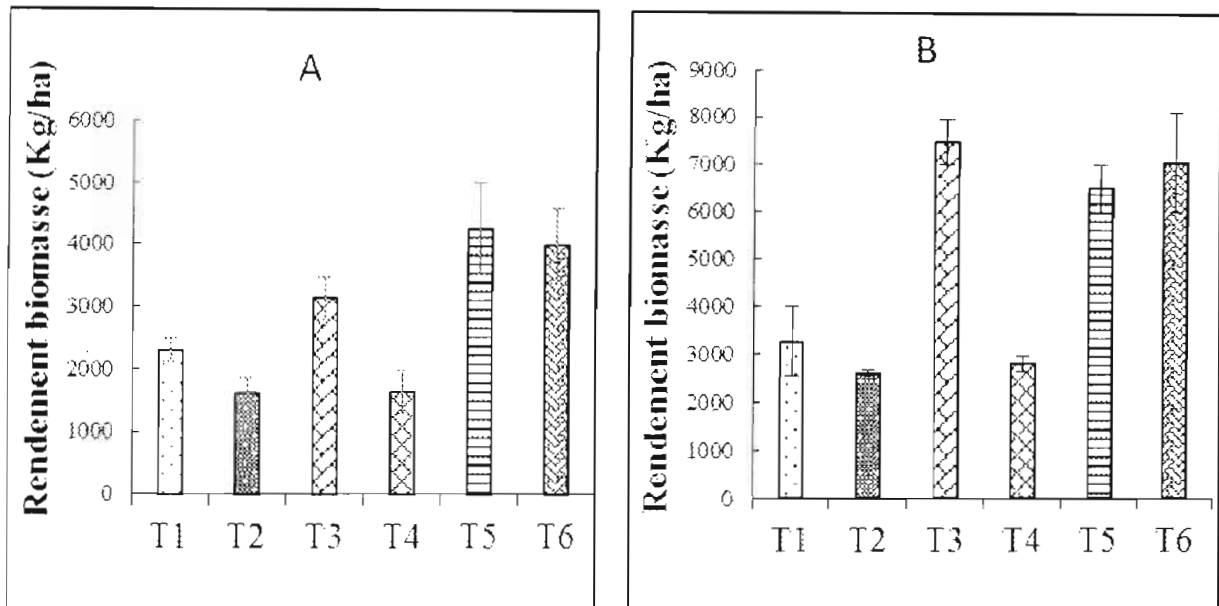


Figure 9 : Evolution de la production de biomasse sèche aérienne du mil et du sorgho en fonction des traitements.

3.1.3. Effet des traitements sur le taux d'humidité du sol

L'analyse de variance montre une différence significative ($P < 0,024$) entre les traitements au niveau de la profondeur du sol 0-10 cm. L'application des différents traitements incluant la matière organique améliore de façon générale le taux d'humidité du sol de 0 à 10 cm de profondeur. Aussi, le taux d'humidité pondérale au niveau de la profondeur 0-10 cm du sol est nettement supérieur au taux d'humidité pondérale du sol de 10-30 cm de profondeur excepté pour le traitement T3 (NPK) où il n'y a pas de différence de taux d'humidité pondérale entre les deux profondeurs ($8,14 \pm 1$ % à l'horizon 0-10 cm et $8,36 \pm 1$ % à l'horizon 10-30 cm).

Par ailleurs en considérant la profondeur du sol 0-10 cm, le taux d'humidité pondérale du sol du traitement T3 est inférieur à celui des autres traitements à savoir T4, T1, T2, T5 et T6. Ces derniers possèdent respectivement les taux d'humidité pondérale les plus importants $12,97 \pm 1$ %, $12,62 \pm 2$ %, $12,15 \pm 1$ %, $10,84 \pm 1$ % et $10,53 \pm 2$ %. Le traitement T4 donne le plus important taux d'humidité pondérale du sol de la profondeur 0-10cm (figure 10).

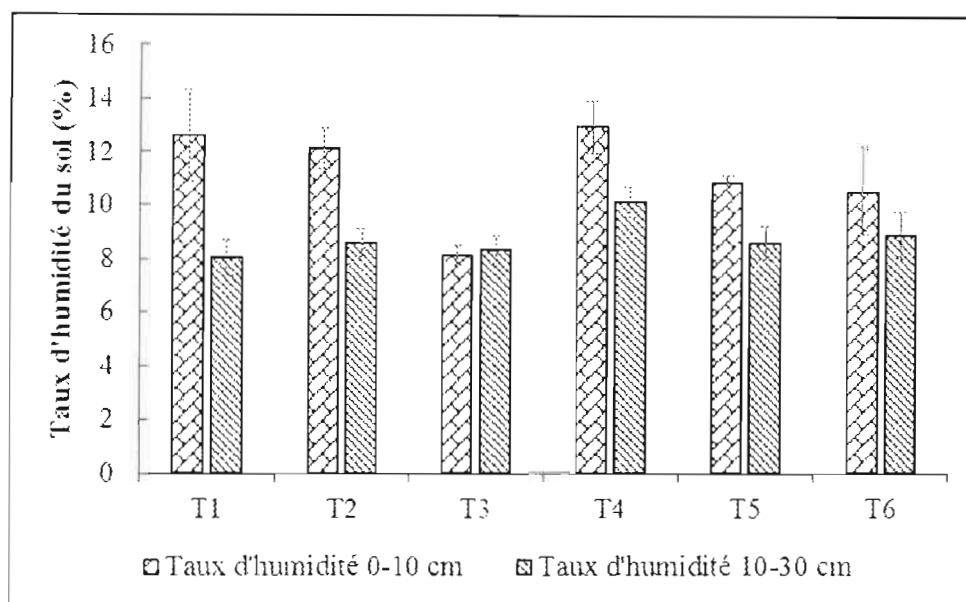


Figure 10 : Variation du taux d'humidité pondérale en fonction des traitements

3.1.4. Etude socio-économique

3.1.4.1. Aspect social

L'enquête que nous avons réalisée récemment indique un changement de paradigme par rapport aux deux dernières années. Les producteurs ont commencé à utiliser la biomasse des parcs arborés comme fertilisant. En effet parmi les trente producteurs membres de l'UDPN, 80 % des producteurs enfouissent directement la litière des arbres et les résidus de récolte par labour en début de saison et environ 10 % des producteurs entassent cette biomasse des champs pour décomposition. Néanmoins 67 % des trente autres producteurs qui ne sont pas membres de l'UDPN continuent de brûler la biomasse des champs avant les semis.

En outre l'utilisation de la matière organique de façon générale est très faible. A partir du tableau 1, nous constatons que parmi ceux qui font l'élevage, 50 % privilégient le compost comme fertilisant, tandis que 56 % des commerçants se fient plus au NPK. Parmi ceux qui n'ont pas d'activité secondaire 60 % se contentent d'apporter le NPK et 20 % n'apportent aucun fertilisant à leur champ. Cette faible utilisation des fertilisants (matières organique et minérale) est due à de multiples contraintes rencontrées par les producteurs. Le coût et la disponibilité du NPK et de l'urée sont de véritables obstacles qui entravent l'utilisation de ces

engrais. Aussi, pour ce qui est de l'utilisation du compost, la pénibilité du travail et la disponibilité des matières à composter sont des difficultés rencontrées par 70 % des producteurs. Par ailleurs à peu près 17 % des producteurs sont confrontés au manque de matériels de transport et d'épandage de fumier et de compost. L'indisponibilité des producteurs et le manque de main d'œuvre sont autant de facteurs qui limitent l'utilisation de la fumure organique à Nobéré.

Tableau 1 : Fertilisant apporté en fonction de l'activité secondaire de l'exploitant

Fertilisant apporté	Elevage (%)	Commerce (%)	Autres (%)	Sans activité secondaire (%)
Aucun fertilisant	0	13	17	20
Compost	50	7	17	7
Fumier	27	17	16	13
NPK	23	56	50	60
Urée	0	7	13	0

En dépit de ces contraintes, les producteurs expriment la volonté d'adopter les options de fertilisation pour améliorer leur production. Comme le tableau 2 l'indique, 100 % des producteurs désirent l'option fumier + NPK et 83 % des producteurs optent pour la combinaison de compost et de NPK.

Tableau 2 : Désir d'adoption des options de fertilisation

Options de fertilisation	Effectif de ceux désirant l'option parmi les 60 producteurs	Pourcentage (%)
Compost	30	50
Fumier	45	75
NPK	49	82
Compost + NPK	50	83
Fumier + NPK	60	100
Compost +Fumier	28	47

3.1.4.2. Rentabilité économique des traitements sur la production du mil et du sorgho

A l'issue d'une enquête, nous avons obtenu 1500 F CFA comme le coût moyen d'un homme-jour pour la main d'œuvre à Nobéré. Le tableau 3 résume en homme-jour la main d'œuvre dont nécessite l'activité de production selon les traitements.

Tableau 3 : Temps de travaux en fonction des traitements

Rubrique	Temps de travaux (homme-jours) en fonction des traitements					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Labour	3	3	3	3	3	3
Semis	5	5	5	5	5	5
Epandage de NPK	0	0	2	0	2	2
Epandage de Fumier	0	3	0	3	0	3
Assemblage résidus de compost	5	0	0	5	5	0
Arrosage du compost	3	0	0	3	3	0
Epandage compost	3	0	0	3	3	0
Sarclage	4	4	4	4	4	4
Récolte	3	3	3	3	3	3
Total (homme-j)	26	18	17	29	28	20

Le coût du NPK est estimé à 440 F CFA/ Kg. Le suivi du prix de vente sur le marché local de Nobéré nous a permis de déterminer un prix moyen pour la vente des produits agricoles sur toute l'année à savoir 340 F CFA/ Kg pour le mil grain et 240 F CFA/ Kg pour le sorgho grain. Selon les producteurs les tiges de mil et de sorgho si elles sont vendues en de petits tas, peuvent s'élever à 7,5 F/kg.

Pour ce qui est de la production de mil, dans le cas où le coût lié à la main d'œuvre n'est pas pris en compte, la marge brute est faible avec les traitements T2 (fumier) et T1 (compost) respectivement 71268 F CFA et 71646 F CFA sur 1 ha. Par contre elle est importante avec les traitements T5 (compost + NPK) et T6 (fumier + NPK) soit 220923 F CFA et 196658 F CFA sur 1 ha (tableau 4).

Quant à la production de sorgho, en prenant en compte le coût de la main d'œuvre, les traitements compost (T1) et fumier (T2) ont conduit à une marge brute également avec respectivement 27855 F CFA à l'ha et 56438 F CFA à l'ha (tableau 4). L'adjonction de ces

fertilisants (compost et fumier) à la microdose de NPK en T5 et T6 ont conduit à une marge brute plus élevée soit sur 1 ha, 164569 F CFA en T5 et 127718 F CFA en T6 .

Tableau 4 : Rentabilité économique des traitements sur la production du mil et du sorgho

Spéculation	Traitement	Valeur de la production à l'ha (F CFA)	Coût des fertilisants NPK à l'ha (F CFA)	Coût de la main d'œuvre à l'ha (F CFA)	Marge brute à l'ha sans coût de la main d'œuvre (F CFA)	Marge brute à l'ha (F CFA) avec coût de la main d'œuvre
Mil	T1	110646	0	39000	110646	71 646
	T2	98268	0	27000	98268	71 268
	T3	214065	27720	25500	186345	160 845
	T4	103713	0	43500	103713	60 213
	T5	290643	27720	42000	262923	220 923
	T6	254378	27720	30000	226658	196 658
Sorgho	T1	66855	0	39000	66855	27 855
	T2	83438	0	27000	83438	56 438
	T3	193219	27720	25500	165499	139 999
	T4	93131	0	43500	93131	49 631
	T5	234289	27720	42000	206569	164 569
	T6	185438	27720	30000	157718	127 718

De façon générale, la marge brute devient encore plus importante lorsque le coût engendré par la main d'œuvre n'est pas considéré.

3.2. Discussion

Les résultats de l'analyse ont montré que les combinaisons de compost ou de fumier avec le NPK en microdose, comparées à la fumure minérale exclusive, ont amélioré de façon significative la croissance végétative des plantes notamment la croissance en hauteur, en diamètre et la surface foliaire. Cette performance de la combinaison pourrait s'expliquer par le fait que la fumure organo-minérale permet une amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et une disponibilité simultanée des éléments nutritifs dont la plante a besoin pour sa croissance. En effet, la fumure organo-minérale favorise non seulement une meilleure porosité, perméabilité, et capacité de rétention en eau du sol et mais aussi une présence du complexe absorbant qui rend disponibles les éléments nutritifs. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Soma (2010) qui a montré qu'une combinaison de compost ou de fumier avec des engrais minéraux permet une amélioration de la croissance du sorgho comparés à la fumure minérale seule.

D'une manière générale, les rendements de mil et de sorgho obtenus sont faibles comparés à ceux des campagnes agricoles précédentes à Nobéré. Cela pourrait s'expliquer d'une part par une faiblesse de la pluviométrie de la campagne qui a été inférieure à la moyenne de la pluviométrie des dix dernières années et d'autre part par un faible niveau de fertilité des sols utilisés. En effet, selon Belemviré et *al.* (2008), plusieurs facteurs interagissent de sorte que les rendements obtenus en milieu paysan sont généralement plus bas que ceux dans les stations de recherche ou en milieu semi-contrôlé. En dépit de la faiblesse des rendements, la combinaison de compost de litière des arbres, de résidus de récolte et de NPK en microdose et la combinaison de fumier et de NPK en microdose ont augmenté significativement les rendements de mil et de sorgho par rapport à l'apport exclusif de compost ou de fumier. Cela pourrait être dû à l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol et simultanément à la satisfaction des besoins de la plante en éléments nutritifs. Ces résultats sont similaires à ceux de Gnankambary (2007) et de Traoré (2012) qui ont noté des hausses significatives de rendements dues à la fumure organo-minérale en milieu paysan. Aussi, Somda (2015) a montré qu'une combinaison de fumier et de NPK favorise une augmentation des rendements de sorgho à partir d'un essai en vase de végétation. Ici, l'utilisation de biomasse des arbres compostée, combinée au NPK pour améliorer les rendements constitue un plus. Cela constitue une nouvelle piste pour le producteur de pouvoir améliorer ses rendements agricoles face à l'indisponibilité de matières organiques. Par ailleurs, cette hausse des rendements serait due au mode d'apport (localité) de l'engrais NPK. En effet l'enfouissement d'engrais minéraux à proximité des racines de la plante permet de limiter les pertes d'éléments nutritifs par ruissellement et par volatilisation. Cela permet ainsi d'élever la teneur en éléments nutritifs dans le sol immédiatement disponibles pour la plante. Ce résultat confirme celui de Doumbia et *al.* (2005) qui ont montré que la microdose d'engrais permet une augmentation de rendement par rapport au témoin de 42 à 71 % sur le sorgho et de 56 à 133 % sur le mil. De même le CILSS (2012) a montré que l'application de la microdose conduit à un gain additionnel de rendement par rapport à zéro-fertilisation de 110% sur le sorgho et de 100% sur le mil. Toutefois, l'emploi exclusif de l'engrais minéral est à proscrire du fait que l'application des engrais minéraux sans apport organique peut conduire à terme à la dégradation de la fertilité des sols (Delville, 1996 et Morel, 1996). L'adjonction de matière organique et de NPK en microdose est donc un moyen efficace pour booster la production agricole des céréales de façon durable. Il est d'ailleurs conseillé d'utiliser 5 t/ha de matière organique tous les deux ans (Somda, 2015). Mais, il se pose un problème de disponibilité surtout pour les petits producteurs. Il est donc nécessaire d'augmenter la quantité de matière

organique en gérant mieux les résidus de récolte et la biomasse des arbres et arbustes sur les parcs agroforestiers.

L'apport de compost de litière des arbres et de résidus de récolte et celui de fumier permet une amélioration significative du taux d'humidité du sol comparé à l'application exclusive d'engrais NPK. Cette situation serait due au fait que la matière organique favorise l'infiltration et une bonne rétention en eau du sol. Aussi, la matière organique permet une conservation de l'humidité du sol. Ce résultat confirme celui de Jemai et *al.* (2011) qui ont montré que l'amendement par fumier et par compost a augmenté la porosité totale du sol et la réserve en eau du sol.

Une comparaison des données des deux enquêtes révèlent un impact positif du projet dans la commune de Nobéré car les producteurs ont commencé à limiter l'utilisation du feu en début de campagne agricole. L'on pourrait dire que le niveau d'utilisation de la biomasse végétale dans les parcs agroforestiers a connu une nette amélioration. Par conséquent le niveau de la fertilité des sols connaîtra une amélioration due à la valorisation des résidus de récolte et de la litière des champs. En ce qui concerne la rentabilité économique, les traitements de compost (T1) et de fumier (T2) ont donné un bénéfice très similaire dans le cas du mil en prenant en compte le coût de la main d'œuvre. Avec l'ajout de NPK en microdose à ces traitements soit T5 (compost + NPK en microdose) et T6 (fumier + NPK en microdose), le bénéfice connaît une hausse de 67,57% et 63,75% respectivement. Cela est observé avec le sorgho où nous avons une hausse de 83,07% en T5 et 55,81% en T6. Cette hausse s'explique par le fait que la combinaison de matières organique et minérale a permis d'optimiser la production du mil et du sorgho. Ce résultat corrobore celui obtenu par Somda (2015). En effet, Somda (2015) parvient à la conclusion selon laquelle la formule organo-minérale est rentable. Par ailleurs, dans le cas du sorgho, le traitement NPK en microdose (T3) a donné un bénéfice considérable et cela est imputable à la technique de la microfertilisation. Cette technique utilise juste la dose d'engrais nécessaire de façon à limiter les pertes par évaporation et par ruissellement. Elle permet donc de produire à moindre coût.

De façon générale les combinaisons de compost + NPK en microdose et de fumier + NPK en microdose sont rentables, dans notre étude, du fait que le compost obtenu à base des résidus de récolte et de la litière des arbres tout comme le fumier n'engendrent pas de coûts supplémentaires pour le producteur excepté le coût de la main d'œuvre. Aussi, la technique de microdose nécessite moins d'engrais minéraux, ce qui permet de produire davantage à

moindre coût. En prenant en compte tous ces facteurs, les petits producteurs peuvent de façon durable produire le mil et le sorgho dans les parcs agroforestiers en dépit de leur manque de moyens financiers.

Toutefois notre analyse est seulement basée sur les résultats d'une campagne. Elle ne permet donc pas d'apprécier véritablement l'effet des différents traitements à long terme car la décomposition de la matière organique se poursuit de même que le développement de la microfaune.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le faible niveau de fumures organique et minérale limite la production agricole au Burkina Faso. L'indisponibilité de la fumure organique, le coût élevé des intrants (engrais minéraux) expliquent cette faible utilisation des fertilisants. L'utilisation de la litière des arbres des parcs agroforestiers et la technique de microdose contribuent à résoudre ces difficultés. L'objectif global était de comprendre comment la biomasse des arbres peut être combinée de façon optimale avec les engrais minéraux pour une intensification durable des systèmes de production de mil et de sorgho afin de dégager des possibilités pour une meilleure gestion des parcs agroforestiers.

Les résultats indiquent :

- une amélioration du taux d'humidité pondérale du sol par les traitements de matières organiques, compost en T1 et fumier en T2. Ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle l'incorporation de compost de litière des arbres et des résidus de récolte a un effet similaire à celui de l'apport de fumier ;
- une amélioration des rendements agricoles au niveau des traitements de combinaison de matières organiques et d'engrais minéraux (T5 et T6). D'où la confirmation de l'hypothèse selon laquelle la combinaison du compost de litière des arbres, des résidus des cultures et d'une microdose d'engrais NPK entraîne une augmentation des rendements des cultures comparée à leur application séparée ;
- une rentabilité de la matière organique combinée à la microdose de NPK et leur accessibilité par les petits producteurs. Ce résultat confirme aussi l'hypothèse selon laquelle la combinaison du compost de litière des arbres, des résidus de récolte et d'une microdose d'engrais NPK est économiquement rentable et applicable par les petits producteurs.

En perspectives, il est important :

- de reconduire l'essai sur plusieurs années en vue de pouvoir déterminer l'effet à long terme et la rentabilité de chaque traitement ;
- de déterminer l'effet des traitements sur les propriétés chimiques et biologiques du sol ;
- de comparer l'effet de différents composts provenant d'espèces ligneuses différentes des parcs agroforestiers ;

- d'appliquer les fertilisants, la matière organique comme les engrais minéraux, à différentes doses pour évaluer leur effet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abga P. T., 2013. Détermination des options de fertilisation organo-minérale et de densité de semis pour une intensification de la production du maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle, Option: Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols, IDR/UPB, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 73 p.

Bado B. V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université Laval Québec, 184 p.

Balole T.V. et Legwaila G.M., 2006. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. (Editeurs). PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. In: Brink, M. and Belay, G. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Pays Bas.

Bationo A., Lompo F., et Koala S., 1998. Recherche sur le flux de nutriments et les soldes en Afrique de l'Ouest: État de l'art. *Agric. Ecosyst. Environ.* 71: 19-35.

Bazié H. R., 2013. Interactions arbres-cultures et rôles des parcs agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* (c.f. gaertn.) sur les paramètres du bilan hydrique au Burkina Faso. Thèse de doctorat /Option : Sciences Appliquées ; Spécialité : Ecophysiologie Végétale. Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 146 p.

Belem O.M., 1996. Etude floristique et structure des galeries forestières de la Réserve de la Biosphère de la Mare aux Hippopotames, projet RCS/IRBET/CNRST, 90 p.

Belemviré A., Maïga A., Sawadogo M. et Ouégraogo S., 2008. Evaluation des impacts biophysiques et socioéconomiques des investissements dans les actions de gestion des ressources naturelles au nord du plateau central du Burkina Faso. Rapport de synthèse, Étude Sahel, Ouagadougou, 94 p.

Ben S. O. A., 2013. Effets de la coupe des feuilles et de la transplantation des jeunes plants sur la consommation hydrique et la croissance du mil (*Pennisetum glaucum* [L.] R.Br.) au Niger. Mémoire de fin de cycle, Master 2 en Biodiversité et Gestion de l'Environnement Soudanien et Sahélo-Saharien (M2 BGE/ SSS), Université de Maradi Centre Régional Agrhymet (CRA). Faculté des Sciences et Techniques (FST). Niger, 51 p.

Boffa J. M., 2000. Les parcs agroforestiers en Afrique de l'Ouest: clés de la conservation et d'une gestion durable, Unasylva : Les arbres hors forêts, no 200, vol 51, p. 11-17.

Bonzi S., 2013. Evaluation de la mycoflore des semences de sorgho et de *Poaceae* sauvages : Analyse de la variabilité des isolats de *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema Dorenbosch et Van Kest. et recherche de méthodes de lutte alternatives. Thèse de doctorat de l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 136 p.

Boubacar B. I., 1985. Suivi de la croissance et du développement d'une gamme de variétés de mil (*Pennisetum typhoides*) dans les conditions pluviométriques de l'Ouest Nigérien. Rapport de stage, ICRISAT / Niamey juin 1985, 46 p.

Bouzou I. M., 2009. Evaluation de l'effet du compost enrichi avec des urines hygiénisées sur la culture du mil. Mémoire de fin de cycle des ingénieurs techniciens agricoles /Option productions végétales. Université Abdou Moumouni de Niamey. Niger, 47 p.

CILSS, 2012. Bonnes pratiques agro-sylvo- pastorales d'amélioration durable de la fertilité des sols au Burkina Faso. – Ouagadougou – 194 p.

Dabin B., 1958. Sols tropicaux acides, cah.O.R.S.T.O.M, sér, pédol, 21 (1) : 7-19.

Dabiré T. G., 2004. Effet de l'efficacité d'extraits végétaux contre les agents pathogènes fongiques transmis par les semences de mil et de sorgho. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural / Option Agronomie. IDR/UPB. Burkina Faso, 65 p.

Delville L. P., 1996. Gérer la fertilité des terres dans les pays du sahel, 397 p.

Diallo S., 2012. Caractérisation des cycles de développement de dix variétés de mil de diverses origines sur trois sites situés le long d'un gradient latitudinal. Mémoire de fin de cycle. Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture/ Université de Thiès. Mali, 43 p.

Doumbia M., Berthe A. et Aune J.B., 2005. La Gestion Intégrée de Nutriments Végétaux au Mali. GCoZA Rapport No. 36 B, 37 p.

Falisse A. et Lambert J., 1994. Fertilisation minérale et organique. In : TAYEB AMEZIANI: E.H.: PERSOONS E. Agronomie moderne : Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Hatier-AUPELF-UREP, pp 377-398.

Fontés J. et Guinko S., 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Institut de la Carte Internationale de la Végétation. Université Toulouse France; Institut du Développement Rural, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 66 p.

- Gnankambary Z., 2007.** Minéralisation de compost et d'engrais sur le sol et production dans les systèmes parcs agroforestiers dans la zone Sud-Soudanienne du Burkina Faso. Thèse de Doctorat. Université Suédoise des sciences agronomiques, 48 p.
- Guinko S. et Dilema S., 1992.** Etude des ressources forestières de la province du Zoundwéogo. Rapport final, tome I, 96 p.
- Hema A., 2003.** Contraintes liées à la production de la fumure organique dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso: cas des régions cotonnières de N'dorola, de Dédougou, de Houndé et de Banfora. Mémoire de fin d'étude, IDR, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- ICRISAT, 2004.** Atelier de formation sur la transposition à grande échelle de la technologie de la fertilisation par microdose, Ouahigouya, Burkina Faso, 26 p.
- Jemai I., Guira S. B., Aissa N. B., Jedidi N. et Gallali T., 2011.** Effet de l'amendement par fumier de ferme et par compost d'ordures ménagères sur la restauration d'un sol argileux de plaine sous climat semi-aride tunisien. Etude et gestion des sols, Volume 18, (4) : page 271-285.
- Lafleur M., 2008.** Recherches et documentation des meilleures pratiques pour la gestion durable des parcs à karité en Afrique de l'Ouest. Rapport de stage, Montréal, 110 p.
- MAHRH/DGPSA, 2003.** Campagne agricole 2002 - 2003: Résultats définitifs et perspectives alimentaires. BF. 22 p.
- Mémento de l'Agronome, 2002.** Ministère de la coopération Française, Paris, 1136 p.
- Ministère de l'agriculture, 2011.** Rapport sectoriel régional, bilan d'exécution au 31 décembre 2010.
- Morel R., 1996.** Les sols cultivés. Ed Lavoisier, 378 p.
- Naitormaide M., 2007.** Effets des pratiques paysannes actuelles de gestion de la fertilité sur les caractéristiques physico-chimiques et la productivité des sols de savanes du Tchad: cas de Nguétté I et Gang. Mémoire de DEA en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles, Spécialité : Production végétale, option : Sciences du sol. IDR/UPB. Burkina Faso, 71 p.
- Sedogo P. M., 1993.** Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doctorat Es-sciences, FAST, Abidjan, 295 p.
- Soltner D., 1990.** Les bases de la production végétale. Tome I : sol 18 è édition. Collection Science et Technique Agricole, 467 p.

Soma D. M., 2010. Effets répétés des apports de diverses sources d'amendements organiques dans un sol ferrugineux tropical lessivé (Saria, Burkina Faso) sur la biodisponibilité du phosphore et la production du sorgho. Mémoire de DEA en gestion intégrée des ressources naturelles. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. 60 p.

Somda B. B., 2015. Détermination des doses optimales combinées de matière organique et d'engrais minéraux appliqués en microdose sur la production du sorgho et du fonio au cours d'essais en vase de végétation. Mémoire de DEA en gestion intégrée des ressources naturelles/ Option Production Végétale. IDR/ UPB. Burkina Faso, 48 p.

Tompa T., 1983. Etude du problème des chibras. a. Evaluation des pertes de rendements liées aux chibras. 2. Elaboration d'une méthodologie d'épuration des cultivars locaux. Mémoire de fin d'études. Institut polytechnique rural, Katibougou, Mali, 50 p.

Traoré A. Y., 2012. Impacts des pratiques agricoles (rotations, fertilisation et labour) sur la dynamique de la microfaune et la macrofaune du sol sous culture de sorgho et de niébé au centre ouest du Burkina Faso. Thèse de doctorat unique à l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso. 169 p.

Williams R. J. et Andrews D. J., 1983. Breeding for disease and pest resistance in pearl millet. *FAO Plant Production Bulletin* 31(4): 136-158.

Zeinabou H., Mahamane S., Nacro H. B., Bado B. V., Lompo F. et Bationo A., 2014. Effet de la combinaison des fumures organo-minérales et de la rotation niébé-mil sur la nutrition azotée et les rendements du mil au sahel. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(4): 1620-1632.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'enquête : Questionnaire sur les options de fertilisation dans les parcs agroforestiers à Nobéré

Section 1 : Caractéristiques de l'exploitant

Code	Nom et prénom	Sexe	Age	Statut matrimonial	Niveau scolaire	Activité principale	Activité secondaire	Adhésion aux Organisations paysannes	Encadré (Services techniques, projets)
		1=M 2=F		1=marié, 2=célibataire 3=veuf (ve) 4=divorcé (e)	1= primaire, 2= Secondaire 3= supérieur 4= coranique,, 5aucun niveau 6=alphabétisé, 7=Autre	1=agriculture, 2=élevage, 3=Travaux ménagers, 4=commerce, 5=Artisan, 6=ouvrier, 7=néant, 8=élève/écolier , 9=pêche 10=autre (spécifier)	1=agriculture, 2=élevage, 3= commerce, 4=Artisan, 5=orpailleur, 6=néant, 7=élève/écolier , 8=autre (spécifier)	0= non 1= oui	0= non 1= oui

Commentaires/remarques :

.....

Section 2 : Caractérisation des parcelles de production

méro celle	Localisati on de la parcelle	Relief de la parcelle	Niveau de fertilité du sol (selon le paysan)	Site anti- Erosif	Superficie de la parcelle	Type de sol	Nombre d'années d'exploitati on
	1 : Case 2 : Village 3 : Brousse)	1 Plaine/Plate au 2 : Basfonds 3 : Versant	1= Riche 2= moyennement riche 3=Pauvre	0 = Aucun 1= Cord. Pierreux 2= Diguette en terre 3= Demi-lune 4= Zaï 5= Bande enherbée 6= Haie morte/vive 8=Autres (à préciser		1=Argileux 2 = Sableux 3= Gravillonaire 4=Limoneux	

Commentaires/remarques :

.....

Section 3 : Spéculations produites dans les champs

Numéro parcelle	Spéculation de l'année dernière	Spéculation de cette année	Spéculation de l'année prochaine	Rendement moyen	Apport de fertilisant réalisé sur la spéculation	Meilleur fertilisant pour la spéculation
	0 = Aucun 1= Mil 2= Sorgho 3= Mais 4= Coton 5= Niébé 6= Arachide 8=Autres	0 = Aucun 1= Mil 2= Sorgho 3= Mais 4= Coton 5= Niébé 6= Arachide 8=Autres	0 = Aucun 1= Mil 2= Sorgho 3= Mais 4= Coton 5= Niébé 6= Arachide 8=Autres		0 = Aucun 1= Compost 2= Fumier 3= NPK 4= Urée 5= Autre	0 = Aucun 1= Compost 2= Fumier 3= NPK 4= Urée 5= Autre

Commentaires/remarques :

.....

Section 4 : Gestion actuelle de la fertilité du sol

Options de gestion de la fertilité du sol	Amélioration de la fertilité du sol	Conservation de l'humidité du sol	Disponibilité	Application	Contraintes	Effets néfastes
	0=Non 1=Oui	0=Non 1=Oui	1= Très disponible 2= Moyennement disponible 3= Peu disponible 4= Pas disponible	1= Effective et fréquente 2= Effective occasionnellement 3= Pas appliqué	1=Cout 2=Travail 3=Equipement 4=Autre (préciser)	1= Aucun 2= Augment l'enherbement 3= Appauvri le sol 4= Autre
Compost						
Fumier						
NPK						
Irrigée						
Autres						

Commentaires/remarques :

.....

Section 5 : Evaluation des options de fertilisation du sol testées

Options de fertilisation testées	Disponibilité	Cout	Travail	Faisabilité	Préférence des options	Déjà pratiqué	Désir d'adoption de l'option
	1=Forte 2=Moyenne 3=Faible 4=Nulle	1=Elevé 2=Moyen 3=Faible 4=Nul	1=Très pénible 2=Moyen 3=Faible 4=Nul	1=Forte 2=Moyenne 3=Faible 4=Nulle	Rang de 1-6	0=Non 1=Oui	0=Non 1=Oui
NPK =1 ;							
Fumier =2							
Compost =3							
NPK& fumier =4							
NPK & Compost =5							
Fumier & compost=6							
NPK&Fumier & compost=7							

Commentaires/remarques :

.....

Section 6 : Arbres et litière

Litière et résidus de récolte en début de saison	Utilité des arbres dans les champs	Nuisance des arbres dans les champs
Brulé	Fruit	Ombre
Enfouie par labour	Bois	Concurrence aux cultures
Entassé pour décomposition	Ombre	Herbes
Pas de litière ou résidu	Fertilise le sol	Insectes
Autre	Autre	Autre

Commentaires/remarques

:

.....
