



CENTRE REGIONAL AGRHYMET



DEPARTEMENT FORMATION ET RECHERCHE

===***===

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DE DIPLOME DE MASTERE EN GESTION DURABLE DES TERRES

Promotion : 2014

Présenté par : **Mahamat Abdellatif IDRIS OUCAR**



IMPACT DES MICRODOSES ORGANIQUE ET MINERALE SUR LE RENDEMENT DU MAÏS EN ZONE SOUDANIENNE DU TCHAD

Soutenu le 14 Novembre 2014 devant le jury composé de :

Président : **Pr Jean M. Karimou AMBOUTA**, Université Abdou Moumouni, Niamey
(Niger)

Membres : **Dr Karmadine HIMA**, Université Abdou Moumouni, Niamey (Niger)
M. Mamane N. LAWALI, Centre Régional AGRHYMET

Maitre de stage : **Dr. NAITORMBAIDE Michel**, Institut Tchadien de Recherche
Agronomique pour le Développement (ITRAD)

Directeur de mémoire : **Dr NACRO H. Bismarck**, Centre Régional AGRHYMET

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

☞ *La mémoire de Hawa BALLÉ, qui nous a quitté ce jour 11 Octobre 2014. Tu as été comme une seconde mère pour moi. Tu n'as jamais cessé de nous rappeler d'être solidaire, humble et courtois. Que ton âme repose en paix, que la terre te soit légère et que le Seigneur t'accueille dans son paradis.*

☞ *Mon père Idriss OUCHAR et ma mère Khadija YAKHOUB, Pour les multiples sacrifices consentis à mon égard depuis mon enfance jusqu'à ce jour, ainsi que tous ces enseignements qui témoignent de votre cœur très vertueux, seront pour moi une source intarissable de recettes pour la vie.*

A toi papa, tu as appris à tous tes enfants le sens de la responsabilité et d'humilité.

A toi maman, tu as été une femme brave, courageuse avec un cœur vertueux rempli de joie, de tendresse et d'amour pour tes enfants.

Même du plus profond de mes moments difficiles, je n'ai pas cessé de voir en vous les parents dont je suis fière d'avoir. Votre bravoure, votre sens de responsabilité me sont d'une grande utilité pour affronter la vie. Voyez en ce travail, un symbole de vos sacrifices, une action que vous avez accomplie. Que le Seigneur vous donne la longévité afin que vous puissiez bénéficier des fruits de vos efforts.

☞ *Tous les paysans africains qui ne cessent de se battre pour avoir de quoi manger malgré les caprices climatiques de ces dernières années. Nous serons là pour vous écouter, vous aider et apporter notre savoir-faire pour qu'ensemble nous puissions relever le défi.*

REMERCIEMENTS

Grâce soit rendue à Dieu, Le Miséricordieux, de m'avoir accordé vie et santé pour finir à bien ce travail.

Au terme de ce parcours, il est de mon devoir de témoigner toute ma gratitude et mes sincères remerciements à l'administration du Centre Régional AGRHYMET (CRA), au Dr Kouamé Guy Marcel BOUAFOU, Directeur Général du CRA et à l'ensemble du personnel pour l'accueil chaleureux et convivial qu'ils nous ont réservé durant notre séjour et pour la qualité de la formation qui nous a été offerte.

Je tiens aussi à remercier l'Union Européenne et la Banque Africaine de Développement à travers le Projet ISACIP pour avoir financées cette formation.

Mes remerciements vont aussi à l'encontre de l'Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD) à travers son Directeur Général Dr DJONDANG Koye pour m'avoir accueilli en tant que stagiaire et m'avoir facilité ce stage.

Ce mémoire a été réalisé grâce à l'appui de plusieurs personnes auxquelles je voudrais exprimer ma gratitude.

Je tiens à remercier particulièrement :

- ☞ Pr NACRO Hassan Bismarck, Chef du Département, Coordonnateur du Mastère Gestion Durable des Terres, qui, malgré ses multiples occupations a accepté de m'encadrer. Vous avez été d'un grand soutien pour moi à travers les conseils et les suggestions que vous me faites afin que ce mémoire puisse se réaliser. Vous avez éveillé en nous le désir et la passion de la recherche agronomique. Que Dieu vous prête longue vie afin qu'on puisse en bénéficier toujours de votre sagesse et conseils. Trouvez ici, l'expression de ma très profonde gratitude et reconnaissance ;*
- ☞ Dr NAÏTORMBAIDE Michel, Chef de Centre et Station de Bébédjia. Malgré vos multiples occupations, vous avez accepté de m'accueillir à la Station, m'encadrer et m'apporter tout le soutien nécessaire pour faire un bon stage. Vous avez été d'une grande sympathie pour moi. Vos remarques, vos suggestions m'ont vraiment permis d'aller de l'avant. Je vous serais reconnaissant et pour toujours ;*
- ☞ Mme ALI BEIDARI Amina, Secrétaire du Département pour sa sympathie, son assistance et sa disponibilité ;*
- ☞ Aux Responsables des différentes filières, aux enseignants chercheurs et tous ceux qui ont contribué tant soit peu à la réussite de notre formation au CRA ;*

- ☞ *MM. Mahamat Ali ADAM YAKHOUB, Tahir DOUDJA, Abdelmahmoud MADANI et Mahamat MOUSTAPHA MALLOUM ainsi que leurs familles respectives pour l'accueil chaleureux que vous m'avez réservé et le bon moment qu'on a passé ensemble durant mon séjour à Bébédjia ;*
- ☞ *Les techniciens et observateurs NGARYALEM Riadingam, NETOLOUM Belengar, DINGAMBEYE Justin, MBAINAIDARA Romain. Vous avez été d'un grand soutien pour moi du début jusqu'à la fin de mon stage ;*
- ☞ *A tout le personnel du Centre et Station de Bébédjia pour leur collaboration ;*
- ☞ *Mes frères et sœurs de peur d'oublier certains. Vous avez été toujours là pour moi et vous avez cru en tout ce que je fais. Vous n'avez jamais cessé de m'encourager dans mes études ;*
- ☞ *Mes neveux et nièces pour la joie que vous me procurez. Vous êtes jeunes mais plein de talents, de courage et d'abnégation. Je vous exhorte de continuer dans ce sens pour qu'un jour, vous puissiez assurer la relève de la famille ;*
- ☞ *Nouroudine PEREIRA et sa famille pour l'entente, la cohésion et la familiarité qui existe entre nous. Tu as été comme un second père pour moi. Tu n'as cessé de me conseiller, de m'apporter ton soutien sous toutes les formes. Je te dis infiniment merci ;*
- ☞ *Famabo BIAMPAMBE Irène pour le sacrifice que tu as consenti à mon égard. Tu as été toujours présente pour tes conseils, ton soutien sous toutes les formes malgré toutes les difficultés. Je te dis merci du fond de mon cœur ;*
- ☞ *Monique DUSSOCHAUT pour tes conseils qui me sont précieux et pour tous les services que tu me rends ;*
- ☞ *A toutes les promotions des étudiants en Mastères CCDD, GIRE, PDCE, SAN et plus particulièrement ceux de la GDT pour la parfaite cohésion et le bon moment qu'on a passé ensemble durant ce laps de temps. Désormais nous formons une famille et nous devons nous battre pour sauver notre terre qui ne fait que se dégrader de jour en jour ;*
- ☞ *A tous celles et ceux qui ne sont pas nommément cités ici qu'ils trouvent en ce travail l'expression de ma profonde gratitude pour leurs aides et contributions diverses.*

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Superficie, production et rendement du maïs dans les pays du CILSS en 2013 ..	32
Tableau II : Exportation des nutriments par le maïs.....	33
Tableau III : Caractéristiques de la variété « 2009 TZEE-W-STR »	42
Tableau IV : Caractéristiques chimiques du sol avant la mise en place de l'essai	36
Tableau V : Composition taxonomique de la macrofaune identifiée.....	37
Tableau VI : Indices de Shannon et d'équitabilité de la macrofaune du sol	38
Tableau VII : Hauteur des plants au 30°, 60° JAL et à la récolte	38
Tableau VIII : Dates d'apparition des 50% floraisons mâles et femelles	40
Tableau IX : Diamètre des tiges au collet.....	42
Tableau X : Hauteur d'insertion des épis.....	43
Tableau XI : Effet des traitements sur les rendements paille, grains et sur l'indice de récolte	44
Tableau XII : Coût total de la main d'œuvre.....	45
Tableau XIII : Coût total de la main d'œuvre pour la pratique paysanne	46
Tableau XIV : Coût total des engrais pour un hectare de culture de maïs	47
Tableau XV : Effet des traitements sur la rentabilité économique de la culture du maïs	48
Tableau XVI : Revenu monétaire	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Morphologie du maïs.....	29
Figure 2 : Evolution de la production et des superficies du maïs en zone soudanienne du Tchad de 1996 à 2014	33
Figure 3 : Carte de la zone d'étude	35
Figure 4 : Cumuls pluviométriques de 1995 à 2014 à la Station de Bébédjia	38
Figure 5 : Distribution de pluies au cours de l'essai en 2014 à la Station de Bébédjia	39
Figure 6 : Evolution des températures au cours de l'essai en 2014 à la Station de Bébédjia.	39
Figure 7 : Plan de masse de la parcelle	26
Figure 8 : Disposition des points de prélèvement sur la placette	28

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Application de la fumure organique	27
Photo 2 : Prélèvement des échantillons du sol	28
Photo 3 : Triage du sol collecté	30
Photo 4 : Marquage des plants pour les mensuration	32
Photo 5 : Mesure de la hauteur des plants aux 30 ^e et 60 ^e JAL	33
Photo 6 : Attaque des pucerons verts (Photo à gauche) et cas d'hermaphrodisme (Photo à droite)	41

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACF : Action Contre la Faim

BAD : Banque Africaine de Développement

CCDD : Changement Climatique et Développement Durable

CEC : Capacité d'Echange Cationique

CIRAD/CA : Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement/Cultures Annuelles

CRA : Centre Régional AGRHYMET

DPISA : Direction de la Production et de la Statistique Agricole

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

GDT : Gestion Durable des Terres

ICRISAT : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales Semi Arides)

IFDC : International Fertilizer Development Center (Centre International pour la Fertilité des sols et le Développement Agricole)

INRAN : Institut de Recherche Agronomique du Niger

IR : Indice de Récolte

IRCT : Institut de Recherche sur le Coton et Textiles Exotiques

ITRAD : Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement

JAL : Jours Après Levée

JAS : Jours Après Semis

ONDR : Office National du Développement Rural

PDCE : Protection Durable des Cultures et de l'Environnement

PIB : Produit Intérieur Brut

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

RVC : Ratio Valeur sur Coût

SAN : Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle

TSBF : Tropical Soil Biology and Fertility

Table des matières

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES PHOTOS	v
SIGLES ET ABREVIATIONS	vi
RESUME.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCTION.....	19
CHAPITRE I : ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA FERTILISATION DES CULTURES ET LE MAÏS	23
1.1. Généralités sur la fertilisation des cultures.....	23
1.1.1. Définitions	23
1.1.2. Types d'engrais	23
1.1.3. Importance de la fumure organique dans la fertilisation.....	24
1.1.4. Fertilisation organo-minérale	24
1.1.5. Technologie d'application d'engrais au poquet (Microdose).....	25
1.1.6. Conclusion partielle	27
1.2. Généralités sur le maïs	28
1.2.1. Origine et aire de culture	28
1.2.2. Caractéristiques botaniques.....	28
1.2.3. Exigence écologique du maïs	30
1.2.4. Macrofaune du sol.....	30
1.2.5. Importance de la culture du maïs dans le monde.....	31
1.2.6. Importance de la culture du maïs au Tchad.....	32
1.2.7. Fertilisation du maïs.....	33
1.2.8. Conclusion partielle	34
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	35
2.1. Présentation de la zone d'étude	35
2.1.1. Situation géographique du site d'étude.....	35
2.1.2. Démographie	36
2.1.3. Milieu physique	36
2.1.4. Pluviométrie	38
2.1.5. Température	39

2.1.6. Activités économiques	40
2.2 Matériel	42
2.2.1 Matériel Végétal	42
2.2.2 Les fertilisants utilisés	42
2.2.3 Le matériel technique	42
2.3 Méthodes	43
2.3.1 Facteurs étudiés	43
2.3.2 Traitements	43
2.3.3 Dispositif expérimental	44
2.3.4 Application de la fumure organique et de l'engrais minéral	27
2.3.5 Echantillonnage du sol	27
2.4 Paramètres analysés	29
2.4.1 Sur le sol	29
2.4.2 Variables observées/mesurées sur la plante	32
2.4.3 Analyse économique de la technologie de microdose	34
2.5 Traitement et analyse statistique des données	35
CHAPITRE III : RESULTATS	36
3.1 Caractéristiques chimiques du sol	36
3.2 Détermination de la macrofaune	37
3.3 Effet du facteur étudié sur les paramètres observés	38
3.3.1 Hauteur des plants au 30 ^e , 60 ^e JAL et à la récolte	38
3.3.2 Nombre des jours d'apparition de 50% des floraisons mâle et femelle	40
3.3.3 Diamètre des tiges au collet	42
3.3.4 Hauteur d'insertion des épis	42
3.3.5 Effet des traitements sur le rendement en paille, en grains et sur l'indice de récolte	44
3.4 Analyse économique de la technologie de microdose	45
3.4.1 Coût de la main d'œuvre	45
3.4.2 Coût total de l'engrais utilisé	47
3.4.3 Ratio valeur sur coût (RVC)	48
3.4.4 Revenu monétaire	49
CHAPITRE IV : DISCUSSION	50
4.1 Caractéristiques chimiques du sol	50
4.2 Détermination de la macrofaune	50
4.3 Effets du facteur étudié sur les paramètres observés	51
4.3.1 Hauteur des plants au 30 ^e , 60 ^e JAL et à la récolte	51

4.3.2 Dates d'apparition de 50% des floraisons mâle et femelle	51
4.3.3 Diamètre des tiges au collet	52
4.3.4 Hauteur d'insertion des épis	53
4.3.5 Effets des traitements sur le rendement en paille et en grains	53
4.4 Rentabilité économique de la microdose.....	56
4.4.1 Coût de la main d'œuvre	56
4.4.2 Ratio valeur sur coût (RVC).....	56
4.4.3 Revenu monétaire	57
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	58
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	60
ANNEXES	xii

RESUME

Le maïs est la céréale dont la zone de culture est la plus vaste. Au Tchad, le maïs occupe le quatrième rang après le mil, le sorgho et le riz. En termes de consommation, il vient en tête avec 41% dans l'approvisionnement de la ville de N'Djaména en céréales, devant le sorgho, le mil et le riz. Malgré un fort potentiel de rendement, la culture du maïs est caractérisée par une faible productivité, liée à des contraintes physiques (faible fertilité des sols) et socio-économiques (coût élevé des engrais minéraux) entravant la production.

L'objectif de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la productivité du maïs par une gestion optimale de la matière organique et minérale afin de garantir la sécurité alimentaire au Tchad. L'étude a été conduite à la station de Bébédjia au Tchad, selon un dispositif en bloc de Fisher avec douze (12) traitements à 4 répétitions, en vue d'évaluer l'effet de la combinaison de microdose organique et/ou minérale sur les paramètres du rendement du maïs. Une analyse économique de la technologie microdose a également été effectuée.

Les résultats ont montré que l'apport de la seule fertilisation organique ou minérale ne permet pas d'accroître le rendement du maïs. En revanche des meilleurs rendements en grains et en pailles sont obtenus avec la fertilisation organo-minérale. En effet, le traitement **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée) apporté en microdose, est celui qui a révélé les meilleurs rendements en grain (3 008 kg/ha) et en pailles (5 039 kg/ha) ainsi qu'un meilleur revenu monétaire (187 576 francs CFA). L'apport unique de la fumure organique ou minérale engendre une perte de revenu.

La microdose organo-minérale est donc une option de fertilisation qui permettra d'améliorer le rendement du maïs au Tchad. Toutefois, il s'agit d'une technique nouvelle très peu appliquée dans la recherche agricole au Tchad, qui nécessite donc que des études complémentaires soient conduites.

Mots clés : Maïs, microdose, fertilisation organo-minérale, analyse économique, Tchad.

ABSTRACT

The corn is the cereal whose zone of culture is vastest. In Chad, the corn occupies the fourth rank after the millet, the sorghum and rice. In terms of consumption, it comes at the head with 41% in the supply from the town of cereal Djaména, in front of the sorghum, the millet and rice. Despite a high yield potential, corn is characterized by low productivity, due to physical constraints (low soil fertility) and socio-economic (high cost of mineral fertilizers) hampering production.

The objective of this study is to contribute to improving maize productivity through optimal management of organic and inorganic material in order to ensure food security in Chad. The study was conducted at the station Bébédjia in Chad, according to a complete block of Fisher with twelve (12) treatments 4 replications, in order to assess the effect of the combination of microdose organic and / or mineral on yield parameters of maize. An economic analysis of the microdose technology was also performed.

The results showed that the addition of organic or mineral fertilizers alone does not improve the yield of corn. Indeed, the best yields of grain and straw have been obtained with the organo-mineral fertilizer. **T9** treatment (160 g manure + NPK + 4 g 1 g urea) brought in microdose is the one who revealed the best grain yield (3008 kg/ha) and straw (5039 kg/ha) and better cash income (187,576 CFA francs). The unique contribution of organic or inorganic fertilizer results in a loss of income.

The organo-mineral microdose is an option fertilization that will improve the yield of maize in Chad. However, there is a new technique applied very little in agricultural research in Chad, which therefore requires that further work be conducted.

Keywords: Corn, microdose, organo-mineral fertilization, analysis economic, Chad.

INTRODUCTION

Le maïs est la céréale dont la zone de culture est la plus répandue dans le monde.

Selon la FAO (2012), la superficie mondiale cultivée en maïs en 2012 était de 176 991 927 ha pour une production de 875 098 631 tonnes soit un rendement moyen de 4,94 t/ha. Les plus grands pays producteurs au monde en 2012 étaient les USA, la Chine, le Brésil, le Mexique et la France. SMITH *et al.* (1997) prédisent que le maïs deviendra une culture commerciale et assurera la sécurité alimentaire mieux que toute autre culture.

Dans les pays du CILSS, le maïs a suivi une forte croissance au cours des dernières années (plus de 5 % par an). Les pays qui ont les plus importantes productions sont les pays cotonniers (Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali et Tchad), l'utilisation d'engrais pour le maïs étant directement liée à celle du coton. Le boom de la production est par ailleurs imputable au développement de la demande de la filière avicole (AFD, 2011). L'évolution de la demande, outre la croissance de la consommation humaine, sera également liée au développement des filières avicoles, fortement utilisatrices de grains (BRICAS *et al.*, 2009).

En 2025, la demande en produits transformés à base de maïs dépassera 12 millions de tonnes, dont la moitié pour la consommation urbaine. La demande pour la consommation animale dépassera alors 1 million de tonnes (BRICAS *et al.*, 2009).

Au Tchad, le maïs occupe le quatrième rang après le mil, le sorgho et le riz. Selon la Direction de Production et Statistique Agricole (DPSA, 2014) du Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement, la production nationale de maïs grain a diminué entre les campagnes agricoles 2012/2013 et 2013/2014 par rapport aux années précédentes. Elle est passée de 455 965 tonnes en 2012 à 417 986 tonnes en 2013. Cependant, pendant la même période, une augmentation importante de productions a été observée dans la zone soudanienne. En effet, la production est passée de 83 825 tonnes en 2012 à 142 246 tonnes en 2013. En termes de consommation, le maïs vient en tête avec 41% dans l'approvisionnement de la ville de N'Djaména en céréales, devant le sorgho, le mil et le riz (DJONDANG, 2007).

Dans la zone soudanienne, la culture du maïs a été longtemps pratiquée autour des cases et par quelques exploitations seulement. Il est désormais cultivé par environ 70 000 exploitations (moyenne sur 15 ans) (DJONDANG, 2007). Ce passage des champs de case en grands champs de la culture du maïs dans cette zone cotonnière s'explique, certes par l'accès des agriculteurs aux engrais coton, mais également par l'utilisation de la fumure organique provenant essentiellement des cheptels bovins acquis par les agropasteurs grâce à la culture du coton qui leur procure des revenus substantiels.

Selon AFD (2011), la production de maïs se heurte à plusieurs contraintes, dont la sensibilité à la sécheresse lors de l'induction florale, sa vulnérabilité à plusieurs virus, et le faible développement (ou l'absence) de secteur privé semencier en Afrique francophone. En outre, la mécanisation est incomplète et les équipements disponibles sont relativement chers, au regard des ressources financières des paysans.

Malgré un fort potentiel de rendement, la culture du maïs est caractérisée par une faible productivité, liée à des contraintes physiques et socio-économiques entravant la production. Une des contraintes majeures est l'utilisation abusive des engrais minéraux sans apport organique entraînant la dégradation des sols et qui a un impact direct sur la production. L'utilisation d'engrais chimiques, de par leur coût élevé, présente un risque majeur de dépendance pour les petits producteurs. Si le maintien de leur capacité de production est largement corrélé à l'utilisation d'engrais chimiques, celle-ci ne fait qu'entretenir un « cercle vicieux » : les sols sont épuisés par une surexploitation, les rendements sont donc faibles et les exploitants peinent à dégager un revenu, ce qui ne leur permet pas d'acheter assez d'engrais pour ré-enrichir le sol en profondeur, entraînant davantage de mauvais rendements (ACF, 2013).

Face à ces contraintes de coût des engrais minéraux et aux conséquences d'une utilisation exclusive de ces derniers sur les cultures et les sols, l'utilisation des matières organiques associées aux engrais minéraux est nécessaire (KABRAH *et al.*, 1996 ; SEDEGO *et al.*, 1997). Les matières organiques ont des effets bénéfiques sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol et jouent un rôle très important dans la fertilisation minérale (SEDOGO, 1981 ; KABRAH *et al.*, 1996). Les matières organiques constituent une importante source d'éléments nutritifs pour les plantes (SEDOGO, 1981). De nombreuses études ont montré en effet, l'importance de la fumure organique associée à la fumure minérale dans la gestion de la fertilité des sols (DELVILLE, 1996). Ainsi, l'utilisation de la fumure minérale et de la fumure organique a été vulgarisée auprès des producteurs dans l'optique d'améliorer la productivité des sols et des cultures.

Selon SEDEGO *et al.*, 1997, l'amélioration de la fertilité du sol par des apports d'éléments nutritifs sous formes minérales ou organiques permet d'augmenter les rendements des cultures. D'autres auteurs ont aussi confirmé que l'apport d'engrais permet d'améliorer la productivité des sols (PICHOT *et al.*, 1981 ; BADO *et al.*, 1997 ; BATIONO *et al.*, 1998). Un des avantages des engrais est qu'ils n'améliorent pas seulement les rendements, mais aussi les résidus des récoltes qui sont utilisés comme engrais organique par la culture succédant (TABO *et al.* 2006).

Dans ces conditions relativement difficiles de production, l'utilisation optimale des engrais minéraux et organiques peut être une alternative en vue de restaurer la fertilité des sols et accroître les rendements des cultures et préserver ainsi l'environnement. Cependant, l'application de ces intrants est extrêmement limitée dans le Sahel à cause de leur faible disponibilité, de la faible capacité d'investissement de la plupart des paysans et les risques économiques dûs aux aléas climatiques (TEME et *al.*, 1995 ; DUGUE, 1993 ; ANDERSON, 1992). En conséquence, des technologies efficaces et accessibles aux producteurs à faibles revenus sont nécessaires pour accroître la production agricole.

Dans certaines contrées, les paysans ont initié la pratique de l'utilisation localisée de l'engrais en petite quantité (BANDOUM, 2005). Cependant, cette pratique longtemps utilisée, ne répondait à aucune norme et techniques susceptibles de favoriser une optimisation de rendement. C'est ainsi que les institutions de recherche agronomiques, en collaboration avec différents projets et ONG ont, sur des bases des études expérimentales en cours, amélioré cette pratique devenue actuellement « **technologie de fertilisation par microdose** ».

C'est pour explorer cette piste de solution au Tchad que l'étude intitulée « **Impact des microdoses organique et minérale sur le rendement du maïs en zone soudanienne du Tchad** » a été initiée. Les questions scientifiques qui ont guidé notre travail, ont été les suivantes :

- ☞ Quel est l'impact de la microdose organo-minérale ?
- ☞ Quelle est la ou les meilleure (s) combinaison (s) de microdose organo-minérale (s) qui permet (tent) d'obtenir un meilleur rendement du maïs ?
- ☞ La technologie de microdose est-elle économiquement rentable pour les producteurs ?

L'objectif général de notre étude est de contribuer à l'atteinte de la sécurité alimentaire au Tchad.

A travers la présente étude, les objectifs spécifiques sont les suivants :

- ☞ Evaluer l'impact de la microdose organique et minérale ;
- ☞ Déterminer la combinaison de microdose organique et minérale qui induit le meilleur rendement du maïs ;
- ☞ Evaluer la rentabilité économique de la microdose pour les producteurs.

Notre démarche scientifique a été bâtie autour des hypothèses de recherche suivantes :

Hypothèse 1 : La microdose organo-minérale améliore les paramètres chimique et biologiques de la fertilité du sol ;

Hypothèse 2 : La combinaison 160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée est celle qui permet d'obtenir un meilleur rendement du maïs ;

Hypothèse 3 : La technologie de microdose est économiquement rentable pour les producteurs.

Ce présent mémoire comprend deux grandes parties en plus de cette introduction :

- un état des connaissances sur la fertilisation des cultures, sur le maïs, la macrofaune du sol ainsi qu'un aperçu des technologies d'application d'engrais au poquet ;
- une partie qui traite le matériel et méthodes ;
- une partie où les résultats sont présentés ;
- une discussion ;
- une conclusion et des recommandations sont proposées à la fin du document.

CHAPITRE I : ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA FERTILISATION DES CULTURES ET LE MAÏS

1.1. Généralités sur la fertilisation des cultures

1.1.1. Définitions

1.1.1.1 Fertilisation

C'est l'opération consistant à apporter au sol des éléments nutritifs nécessaires au développement des plantes (SOLTNER, 1994).

La fertilisation est aussi l'action qui consiste à effectuer des apports d'engrais organique ou minéraux, nécessaires au bon développement des végétaux. Elle peut donc être réalisée sous forme d'amendements humifères (organique) ou minéraux (chimique) (FERTIAL, 2012).

1.1.1.2. Engrais

C'est une substance destinée à fournir aux plantes, le plus souvent par l'intermédiaire du sol, un ou plusieurs éléments nutritifs, pour satisfaire leur besoin physiologique (SAGNA et MARCHAL, 1992). Les engrais sont des substances, le plus souvent des mélanges d'éléments minéraux, destinées à apporter aux plantes des compléments d'éléments nutritifs, de façon à améliorer leur croissance, et à augmenter le rendement des cultures et la qualité des produits (FERTIAL, 2012).

1.1.1.3. Fertilité d'un sol

Dans la communauté scientifique, des écologistes, agronomes, pédologues et économistes, etc., des nombreux auteurs (SEBILLOTE, 1982 ; PIERI, 1989 ; SOLTNER, 1994), ont proposé plusieurs définitions de la fertilité du sol mais la plus consensuelle est : « la qualité d'un sol vue sous un angle agricole, décrit sa capacité à fonctionner dans les limites d'un écosystème aménagé ou naturel, afin de soutenir la production animale ou végétale, de maintenir voire d'améliorer la qualité des systèmes auxquels il est lié ».

1.1.2. Types d'engrais

Il existe deux grands types d'engrais ; les engrais minéraux et les engrais organiques.

1.1.2.1. Engrais minéraux

Les engrais minéraux sont obtenus par synthèse ou par transformations industrielles de roches éruptives, sédimentaires ou salines. Ils participent rapidement à la nutrition des cultures en fournissant un ou plusieurs éléments minéraux essentiels.

Ces engrais peuvent apporter un seul élément fertilisant, et dans ce cas on parle d'engrais simples. Les engrais composés, au contraire, contiennent au moins deux éléments fertilisants majeurs. Un engrais composé peut être binaire s'il ne contient que deux éléments majeurs, et ternaire s'il en contient trois. Un engrais composé complet contient, par définition tous les éléments essentiels mais désigne habituellement un engrais contenant les trois éléments principaux N, P et K (SAGNA et MARCHAL, 1992).

1.1.2.2. Engrais organiques

Les engrais organiques sont constitués, par des matières d'origine végétale et animale. Ils fournissent des nutriments aux plantes et ajoutent de la matière organique au sol. Selon leur mode d'obtention, les engrais organiques peuvent être regroupés en trois grandes catégories : les engrais organiques naturels (les fumiers, les purins etc.), les engrais organiques industriels ou artificiels (les composts, le sang et la viande séchée, les os, les débris de poissons, les tourteaux, les résidus d'industries agricoles) et les engrais verts (les légumineuses etc.) (ARSIKE, 2001).

1.1.3. Importance de la fumure organique dans la fertilisation

La fertilisation organique ou amendement, c'est l'incorporation au sol de matières organiques plus ou moins décomposées, tels que les fumiers. Elle permet d'améliorer la structure du sol et d'augmenter la capacité du complexe argilo-humique à stocker les éléments nutritifs. Les engrais organiques sont précieux, non seulement parce qu'ils apportent aux plantes des éléments nutritifs, mais aussi parce qu'ils ont un effet favorable sur l'état du sol en général. La matière organique améliore la structure, diminue l'érosion du sol, et produit un effet régulateur sur sa température et l'aide à emmagasiner davantage d'eau. Grâce à ces propriétés, les engrais organiques sont souvent la base même du succès des engrais minéraux (YARO et al., 1997 ; SEDOGO, 1981).

1.1.4. Fertilisation organo-minérale

La matière organique, est le paramètre fondamental de la fertilité du sol à long et à court terme. A long terme, elle représente un stock d'éléments chimiques, N, P, K, véritable réserve d'éléments nutritifs qui conditionne significativement la fertilité à venir (NACRO, 1997). Les types des matières organiques utilisées à long terme dans la fertilisation des sols sont de nature et de formes variées (fumier, résidus de cultures et du compost, etc.). Elles subissent une série de transformations qui les décomposent en éléments minéraux, et en humus. Ces transformations sont assurées par les micro-organismes (DIALLO, 2002). C'est à cause de ces

transformations, qu'elles représentent un stock d'éléments nutritifs qui conditionne significativement la fertilité à venir. A court terme, la fumure minérale est la source quasi exclusive du flux de nutriments, qui contraint fortement la croissance des plantes à chaque instant (NACRO, 1997).

Les apports du fumier seul, ne suffisent pas pour des rendements immédiats et pour garantir la stabilité. Ils retardent l'augmentation des rendements tout comme s'ils retardaient l'évolution des processus chimiques dans le sol. Le fumier ne peut bloquer tout l'aluminium échangeable qui pourrait à long terme provoquer la baisse des rendements. Selon SEDOGO (1981) et BADO *et al.* (1997), le complément de fumure organique est nécessaire pour éviter une forte baisse du carbone et de la capacité d'échange cationique (CEC) du sol. Il joue efficacement ce rôle et améliore l'efficacité de l'engrais. Il atténue les effets acidifiants de l'engrais. Cette acidité entraîne par lixiviation des pertes importantes des bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+) et par conséquent, une diminution globale de la CEC. Elle entraîne en outre la baisse du taux de saturation, le pH et une augmentation de concentration des ions aluminium (Al^{3+}) qui sont toxiques s'ils dépassent 30 % (NAITORMBAIDE, 2012).

Les études de PIERI (1989) et SEDOGO (1993), ont montré également que l'emploi d'engrais azoté favorise la minéralisation des matières organiques, et fait chuter rapidement la teneur du sol en matières organiques si aucun apport organique n'est fait. Lorsque cette teneur est inférieure à 0,6%, l'activité biologique du sol est réduite. En conséquence, la parcelle est exposée au ruissellement, à l'érosion et à la lixiviation des éléments minéraux (NAITORMBAIDE, 2012). Donc, le maintien ou l'augmentation des rendements à un niveau élevé et à moindre coût dans une agriculture intensive, passe par l'adjonction de la fumure organique à la fumure minérale (SEDOGO, 1981). En effet, cette utilisation conjointe permet d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol. Aussi pourrait-elle augmenter les rendements (BADO *et al.*, 1997) et par conséquent réduire le coût de la fertilisation, d'où la nécessité de faire une combinaison de fumures organique et minérale afin de garder l'équilibre de la fertilité à longue durée et conserver l'environnement (ZANGRE, 2000).

1.1.5. Technologie d'application d'engrais au poquet (Microdose)

1.1.5.1 Définition de la microdose

La technique de fertilisation localisée au semis des cultures ou le « microdosage » consiste à appliquer de petites quantités (doses) d'engrais minéraux appropriés dans les poquets au moment du semis, ou à côté des jeunes plants après la levée pour augmenter les rendements

tout en réduisant l'investissement en engrais. Cette technique remplace la pratique de l'épandage (application de l'engrais à la volée ou lignes) sur toute la superficie du champ (FAO, 2012a).

Selon TABO et *al.*, (2006), cette technique fait revivre les régions dont les sols sont dégradés et permet aux agriculteurs de reprendre en mains leur destin dans les régions où les engrais sont trop chers ou rares. Cette technique, communément appelée le « microdosage » est le fruit de plusieurs années de recherches menées par le Centre International pour la Fertilité du Sol (IFDC), le Programme de l'ICRISAT sur les zones en marges du désert, en collaboration avec les chercheurs de l'Institut de Recherche Agronomique du Niger (INRAN) et la FAO via le Projet Inputs au Niger.

1.1.5.2 Procédure d'utilisation de microdose

Lorsque les racines de la jeune pousse commencent à se développer, une petite quantité d'engrais composé NPK (15-15-15) est posée dans un endroit un peu éloigné (de 5 à 10 cm) des racines. Après ce premier apport d'engrais, une petite quantité d'urée est épandue en tant qu'engrais supplémentaire environ un mois plus tard. A ce moment-là, il est préférable d'apporter cette dose après avoir procédé au désherbage et au démariage afin que les engrais ne profitent qu'aux cultures. Dans le cas de la culture des légumineuses, comme le niébé et les arachides, seul l'apport de NPK (15-15-15) ou DAP convient.

1.1.5.3 Avantages de la microdose

En termes d'agriculture durable, l'application de la technique de microdose permet :

- Au niveau technique et environnemental :
 - une augmentation substantielle des rendements des cultures avec un très faible investissement en fumure minérale ;
 - une amélioration des rendements des sols dégradés ;
 - une utilisation des engrais de façon plus efficace ;
 - une couverture des besoins en phosphore des sols déficitaires ;
 - un « coup de pouce » aux plantes au démarrage et maturité plus précoce protégeant de la sécheresse de fin de saison ;
 - une limitation des pertes d'azote par volatilisation ;
 - une limitation des impacts sur l'environnement et la santé.
- Au niveau économique et social :
 - un investissement financier moindre (réduction des coûts d'intrants) pour les producteurs ;

- une augmentation des revenus par la hausse de la production ;
- une accessibilité de la technique aux producteurs et productrices les plus démunies vu son faible coût ;
- simple à mettre en œuvre et se combine bien avec le système de crédit de « warrantage ».

1.1.5.4 Limites de la microdose

La microdose est une nouvelle technologie qui a aussi ses limites, entre autres :

- demande assez de temps ;
- difficulté pour les exploitants à évaluer la bonne dose d'engrais pour chaque plante.

1.1.6. Conclusion partielle

En définitive nous pouvons dire que l'engrais minéral améliore les rendements, mais pour une courte période de 3 ans maximum (BADO et *al.*, 1997). L'engrais minéral seul n'est pas suffisant et n'est pas recommandé pour une production à long terme car il conduit à l'acidification des sols (BADO et *al.*, 1997). Un complément de fumure organique est nécessaire pour éviter une forte baisse du carbone du sol et sa capacité d'échange cationique (SEDOGO, 1981).

Le maintien ou l'augmentation des rendements à un niveau élevé dans une agriculture intensive, passe par des apports combinés de fumures organique et minérale (SEDOGO, 1981). Selon SEDOGO (1981 et 1993), BATIONO et MOKWUNYE, (1991) et BADO et *al.*, (1997), une gestion rationnelle des engrais minéraux et des amendements organiques permet d'augmenter les rendements des cultures et de maintenir durablement la fertilité des sols. Cependant, l'utilisation combinée de fumures organique et minérale nécessite des moyens financiers assez élevés. C'est pourquoi il est important de penser à la microdose, qui, pourrait être une meilleure solution pour nos agriculteurs.

1.2. Généralités sur le maïs

1.2.1. Origine et aire de culture

Le maïs est une céréale largement cultivée pour ses grains riches en amidon. L'origine du maïs a longtemps été sujette à des controverses. De nombreuses théories ont été émises à propos de l'évolution qui a conduit au maïs. Celle du maïs sauvage, qui existait avant l'arrivée de l'homme et qui repose sur la téosinte (*Teosinte euchlaenas*), l'ancêtre du maïs cultivé sur les plateaux mexicains dont le maïs serait issu, paraît la plus probable (MOULE, 1980 ; ROUANET, 1984). Le maïs est de ce fait considéré comme originaire du Mexique (MALIKI, 1997), bien que certains botanistes le croient venu d'Afrique ou d'Asie. Malgré les controverses de la part de spécialistes, plusieurs s'accordent sur le fait que son évolution vers les formes utiles s'est déroulée en Amérique centrale depuis 15.000 ans avant notre ère (ROUANET, 1984), et son introduction en Europe dans le XVI^e siècle. Le maïs est devenu le symbole de l'agriculture intensive en Europe de l'Ouest, aux États-Unis et en Chine, mais sa propagation en Afrique fut l'œuvre des navigateurs portugais du XVI^{ème} au XVII^{ème} siècle. Le maïs ne fut considéré comme culture importante en Afrique qu'après 1900 lors de l'introduction par les Hollandais de différents types de maïs en Afrique du Sud (MALIKI, 1997). Il constitue aujourd'hui la seconde céréale cultivée au monde après le blé.

1.2.2. Caractéristiques botaniques

Le maïs (*Zea mays* L.) est une plante monocotylédone diploïde annuelle ($2n=20$) qui appartient à la famille des Poacées. Il constitue la seule espèce cultivée du genre *Zea* (LAMBONI, 2003). La tige unique et de grand diamètre est formée de plusieurs entrenœuds d'une vingtaine de centimètres séparés par autant de nœuds. Au niveau de chaque nœud, est insérée une feuille alternativement d'un côté et de l'autre de la tige. Les feuilles, typiques des Poacées, mais de grande taille (jusqu'à 10 cm de large et un mètre de long), ont une gaine enserrant la tige et un limbe allongé en forme d'un ruban à nervure parallèle. A la base du limbe se trouve la ligule qui a quelques millimètres de haut. Contrairement aux autres Poacées, le pied de maïs ne talle pas. Le système racinaire comprend un très grand nombre de racines adventives qui naissent sur les nœuds situés à la base de la tige, formant des couronnes successives, tant sur les nœuds enterrés que sur les premiers nœuds aériens, dans une zone où les entrenœuds sont très courts. Ces racines forment un système fasciculé qui peut atteindre une profondeur d'un mètre. Ce système racinaire est caractérisé par des racines traçantes (dites racines de surface), qui prélèvent l'eau et les nutriments nécessaires à la plante dans les couches les plus superficielles du sol.

Le maïs est une plante monoïque. Les fleurs sont unisexuées et regroupées en inflorescences mâles et femelles. Les fleurs femelles sont groupées en épis insérés à l'aisselle des plus grandes feuilles (SOULEY, 2012). L'axe de l'épi appelé rafle, porte 10 à 20 rangées de fleurs femelles. Il est entouré de feuilles modifiées, les spathes qui sont desséchées à la maturité.

Les fleurs mâles sont groupées dans une panicule terminale qui apparaît après la dernière feuille. Elles fleurissent avant les fleurs femelles ; la fécondation est croisée et on compte normalement 95% d'allogamie et 5% d'autogamie (MARTY, 1992). Le fruit à une seule graine est appelé caryopse ou grain. Par la fécondation, les deux parties du grain se constituent, c'est-à-dire l'embryon qui deviendra la nouvelle plante et l'endosperme amylacé qui sert de réserve nutritionnelle. Dans des conditions normales, le grain arrive à maturité approximativement 50 jours après la fécondation (ROMAIN, 2001).

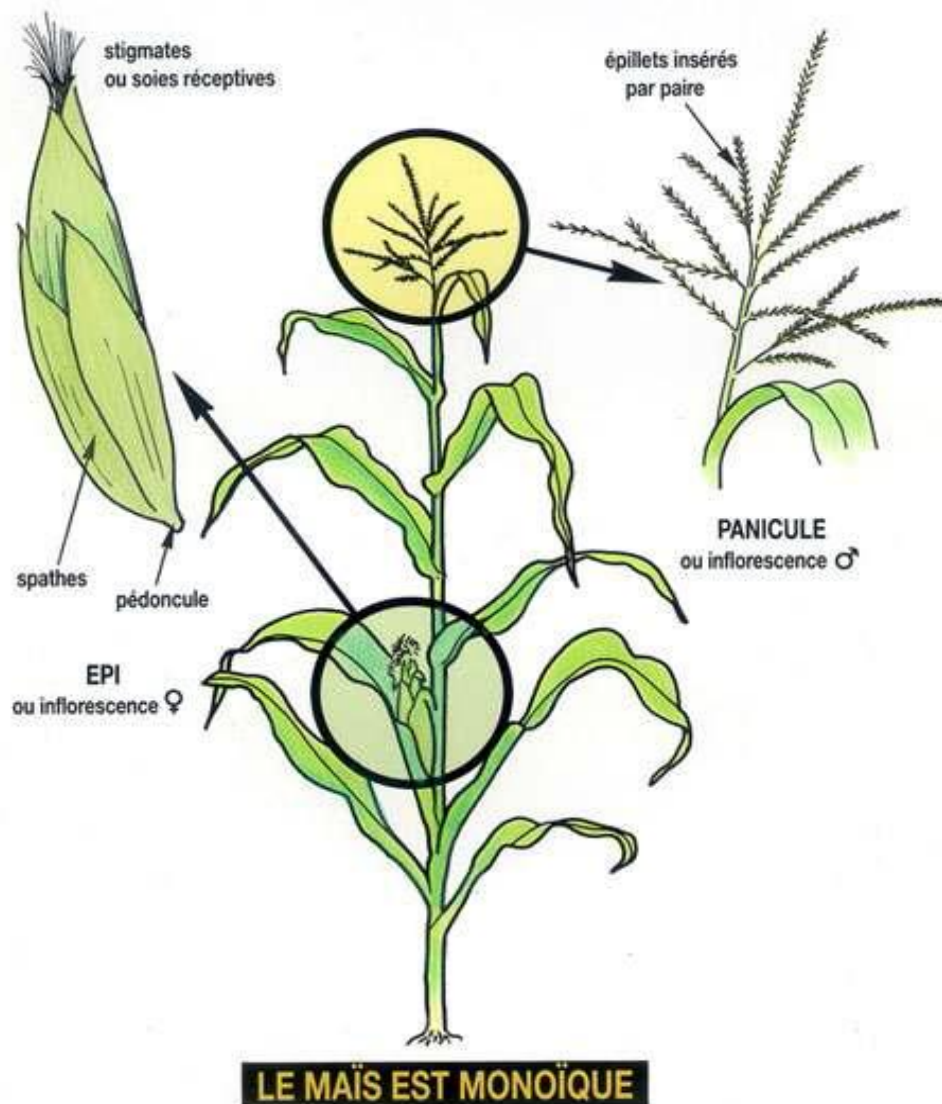


Figure 1 : Morphologie du maïs (Source : INRAN, 2002)

1.2.3. Exigence écologique du maïs

1.2.3.1. Insolation et température

Le maïs est une plante exigeante en lumière. Ses mécanismes d'assimilation chlorophyllienne lui confèrent de grandes possibilités dans la synthèse de l'amidon (ROUANET, 1984). Le manque de luminosité peut entraîner des limitations au rendement. Les températures doivent être élevées et régulières. La température favorable, de la germination à la végétation et à la formation de la panicule se situe entre 20 à 28°C et de 28 à 32°C durant la floraison, mais la fécondation du maïs est perturbée dès que la température dépasse 35°C quand l'air est sec (ROUANET 1984).

1.2.3.2. Régime hydrique

Les besoins en eau varient avec la durée du cycle de la variété et selon les diverses phases du cycle cultural. Le maïs est particulièrement sensible à un déficit hydrique dans une période de 30 à 40 jours encadrant la floraison (ROUANET, 1984). La période de sensibilité maximale est centrée sur la floraison (ROBELIN, 1983). Les déficits en eau, particulièrement à la floraison réduisent le rendement du maïs. Les excès d'eau réduisent généralement la croissance et le développement des plantes et ces effets augmentent avec la durée de l'inondation (DUTHION, 1982).

1.2.3.3. Sol

Du point de vue pédologique, le maïs préfère un sol profond, bien ameubli, bien drainé, sablo-limoneux, riche en éléments fertilisants et ayant un pH variant entre 6-7 (LAMBONI, 2003). Les sols acides ou salés limitent fortement son rendement. Le maïs est très sensible à l'amélioration des propriétés physiques et aux variations de fertilités du sol (ROUANET, 1984). Le maïs peut s'accommoder à des conditions beaucoup plus difficiles, comme des sols sableux ou argileux, voire calcaires, sous réserve de lui assurer les apports d'eau et d'éléments nutritifs nécessaires (GALINAT, 1979).

1.2.4. Macrofaune du sol

De manière globale, GOBAT *et al.* (1998) définissent la faune du sol comme l'ensemble des animaux qui passent une partie importante de leur cycle biologique dans le sol (faune endogée) ou sur sa surface immédiate (faune épigée), ceci incluant la litière. La macrofaune se rapporte à des animaux d'une longueur de 4 à 80 mm environ (diamètre de 0 à 2 mm). Les arthropodes ici sont appelés macro-arthropodes. Pour des mesures pratiques, d'autres définitions différentes suivant les auteurs, ont été attribuées à cette catégorie.

Il en ressort que la macrofaune regroupe les invertébrés qui passent une partie importante de leur cycle biologique dans le sol ou sur sa surface immédiate (ceci inclut la litière) et qui :

- 1) sont visibles à l'œil nu ;
- 2) ont une longueur > 1 cm (WALLWORK, 1970) ;
- 3) ont une largeur > 2 mm (SHIFT *et al.*, 1979) et
- 4) ont 90 % de leurs individus visibles à l'œil nu (EGGLETON *et al.*, 2000).

Les organismes du sol fournissent un large éventail de services indispensables à la fonction durable de tous les écosystèmes et plus particulièrement celle des agroécosystèmes.

Ils sont les éléments moteurs fondamentaux de la fertilité des sols, concept duquel ils semblent indissociables (HÄBERLI *et al.* 1991). D'après cet auteur, la perte de fertilité d'un sol entraîne des baisses de rendement des cultures avec ses répercussions sociales et économiques.

Le facteur prépondérant selon ROOSE (1994) est l'appauvrissement du sol en matière organique et corrélativement la diminution de la faune du sol, l'amoindrissement du complexe argilo-humique et donc de la capacité d'échange cationique (CEC) et de la stabilité structurale.

Tous ces facteurs de dégradation du milieu ont aussi une grande influence sur la vie du sol à travers la réduction de l'activité de sa faune. L'action prépondérante de la macrofaune sur l'amélioration de certaines propriétés physico-chimiques du sol se voit ainsi réduite (ROOSE, 1994). Cette dégradation des propriétés organo-minérales et physico-chimiques (fertilité) nécessite l'introduction de nouvelles stratégies visant à maintenir le capital foncier de la zone.

1.2.5. Importance de la culture du maïs dans le monde

Le maïs est actuellement cultivé dans deux catégories des pays :

Dans les pays Développés : le maïs constitue une matière première pour l'alimentation de bétail, l'industrie de la semoule et celle de l'amidon. Cette dernière est en pleine expansion en Europe et aux USA et représente près de 20% des utilisations domestiques du maïs. Ses débouchés sont très diversifiés en produits agroalimentaires (isoglucose, pectine), chimiques (biocarburants, plastique), pharmaceutiques, textiles, papetiers. Les germes de maïs donnent de l'huile qui sert pour l'alimentation humaine (pour la fabrication de margarines, des savons, de vernis, de textiles artificiels etc.).

Dans les pays en voie de développement, le maïs est surtout réservé à la consommation humaine directe, sous forme d'épis immatures, de farine ou de semoule.

Le tableau I donne la superficie et la production de maïs dans les pays du CILSS en 2012 (www.faostat.org)

Tableau I : Superficie, production et rendement du maïs dans les pays du CILSS en 2013

Pays	Superficie (ha)	Production (t)	Rendement (kg/ha)
Bénin	818 000	1 175 000	1 435,4
Burkina Faso	850 000	1 556 000	1 830,6
Cap-Vert	32 000	6 000	187,5
Côte d'Ivoire	335 000	654 738	1 954,4
Gambie	26 000	29 000	1 115,4
Guinée	490 000	641 000	1 308,2
Guinée-Bissau	12 000	10 000	833,3
Mali	598 833	1 713 729	2 861,8
Mauritanie	22 000	19 000	863,6
Niger	8 500	7 400	870,6
Sénégal	150 240	240 878	1 603,3
Tchad	200 000	200 000	1 000,0
Togo	600 000	807 000	1 345,0

Source: www.faostat.org

1.2.6. Importance de la culture du maïs au Tchad

Au Tchad, le maïs (*Zea mays* L.) occupe la quatrième place des céréales cultivées après le sorgho, le mil et le riz. La production sert principalement à l'autoconsommation des producteurs, mais aussi de source de revenus. D'une manière générale, la culture du maïs pluvial est pratiquée au Tchad dans les zones soudanienne et sahélienne. Sa production particulière sur les périmètres irrigués est localisée dans le Lac Tchad à l'Ouest du pays. En effet, l'augmentation spectaculaire des superficies emblavées ces dernières décennies (Figure 2), montre que la culture du maïs est en expansion. Il présente, de plus, l'avantage de pouvoir être récolté précocement dès le stade grain laiteux, et constitue ainsi la première céréale disponible permettant de traverser la période de soudure. Il constitue par ailleurs, la première source de revenu pour les producteurs par la vente d'épis frais destinés à être grillés ou bouillis. Au Tchad, la superficie cultivée en maïs au niveau national est passée de 333 325 ha en 2012 à 340 565 ha en 2013. En zone soudanienne (Figure 2), elle est passée de 95 186 ha à 121 728 ha pendant les mêmes années (DPSA, 2014).

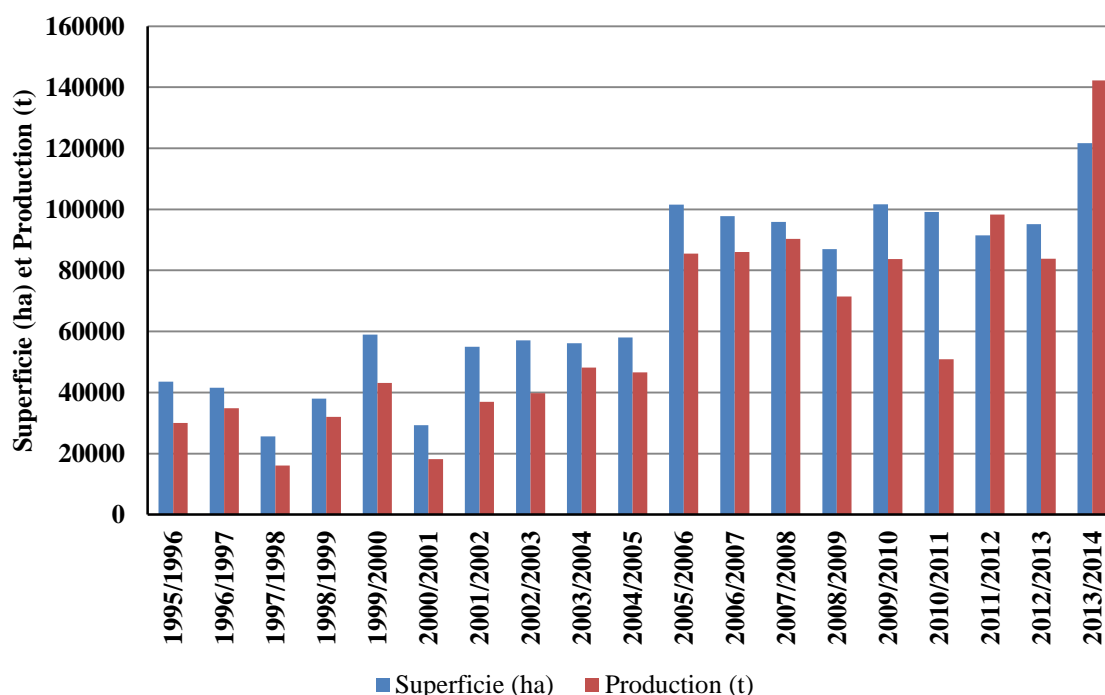


Figure 2 : Evolution de la production et des superficies du maïs en zone soudanienne du Tchad de 1996 à 2014 (Source : DPSA/Ministère de l’Agriculture et de l’Irrigation, 2014)

1.2.7. Fertilisation du maïs

1.2.7.1. Fertilisation minérale du maïs

Le maïs a besoin d’un apport régulier et équilibré en substances minérales. En raison de ces caractères de développement rapide, sa productivité est étroitement liée à la présence d’une vaste réserve d’éléments nutritifs, notamment d’azote (N), de phosphore (P), et de potassium (K). Pour des rendements de 5 à 6 t/ha, le maïs prélève 100 à 150 kg d’azote (N), 40 à 60 kg d’acide phosphorique (P₂O₅) et de 100 à 150 kg d’oxyde de potassium (K₂O) à l’hectare (BRANDJES *et al.*, 1989).

Les besoins en éléments minéraux pour produire 5 tonnes de maïs sur un hectare, sont donnés dans le tableau II.

Tableau II : Exportation des nutriments par le maïs

Nutriments	Azote (kg/ha)	Phosphore (kg/ha)	Potassium (kg/ha)
Prélèvement			
Dans la plante entière	105	50	75
Uniquement dans les 50 quintaux de grains	70	35	25

Source : ROUANET, 1984

Le maïs présente une exigence particulière en azote avant la floraison pour permettre une formation normale de l'épi (ROUANET, 1984). Les sols ne peuvent généralement assurer qu'un peu plus de 20 à 35 % des besoins en N, P et K. Par conséquent, un apport substantiel de ces éléments s'avère indispensable pour une production soutenue (BRANDJES *et al.*, 1989).

1.2.7.2. Fertilisation organique du maïs

La teneur en matière organique du sol est très importante pour la culture du maïs. Les apports de fumier sont recommandés car le maïs réagit très positivement à la fumure organique, même à faible dose. Cet effet est particulièrement net dans les sols épuisés. Dans tous les cas, la restitution des résidus de récolte, transformés ou simplement broyés et enfouis, est recommandée pour enrichir le sol en matière organique et limiter les exportations. Des doses de 30 à 40 t/ha de fumier sont souhaitables, l'enfouissement des tiges peut apporter 6 à 12 kg d'azote par tonne (TEGUERA, 2008).

1.2.8. Conclusion partielle

Les organismes vivants du sol jouent un rôle important dans la dégradation des matières organiques. La macrofaune notamment les termites et les vers de terre jouent un rôle prépondérant dans la fragmentation de la matière organique. Ces derniers appelés encore « *ingénieurs* » de l'écosystème occupent une position clé au sein de l'écosystème en influençant la diversité et l'activité des autres groupes fonctionnels. D'après OUEDRAOGO *et al.*, (2004), la décomposition de la matière organique est lente en absence de la macrofaune. Le maïs signifiant littéralement « ce qui maintient en vie » dans les langues indiennes d'Amérique est d'une grande importance. En effet, il occupe une bonne part des rations alimentaires des populations. Après le blé et le riz, c'est la céréale la plus répandue dans le monde (FAO, 1993). SMITH *et al.*, (1997) prédisent que le maïs deviendra une culture commerciale et assurera la sécurité alimentaire mieux que toute autre culture. Le maïs représente un enjeu de plus en plus important, non seulement pour l'alimentation humaine mais aussi pour l'alimentation animale.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

La présente étude s'est déroulée à la Station de Bébédjia située dans le Département de la Nya au Tchad, Région de Logone Oriental (Figure 3).

2.1.1. Situation géographique du site d'étude

La Station de Bébédjia couvre une superficie de 400 ha. Elle est située entre 16°30' et 16°35' de longitude Est et 8°38' et 8°44' de latitude Nord. Créée en 1940 comme poste agricole, elle devient ensuite une station de l'Institut de Recherche sur le Coton et Textiles Exotiques (IRCT) en 1946, puis celle du Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement/Cultures Annuelles (CIRAD-CA) en 1982. La station a été rétrocedée en 1998 à l'Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD).

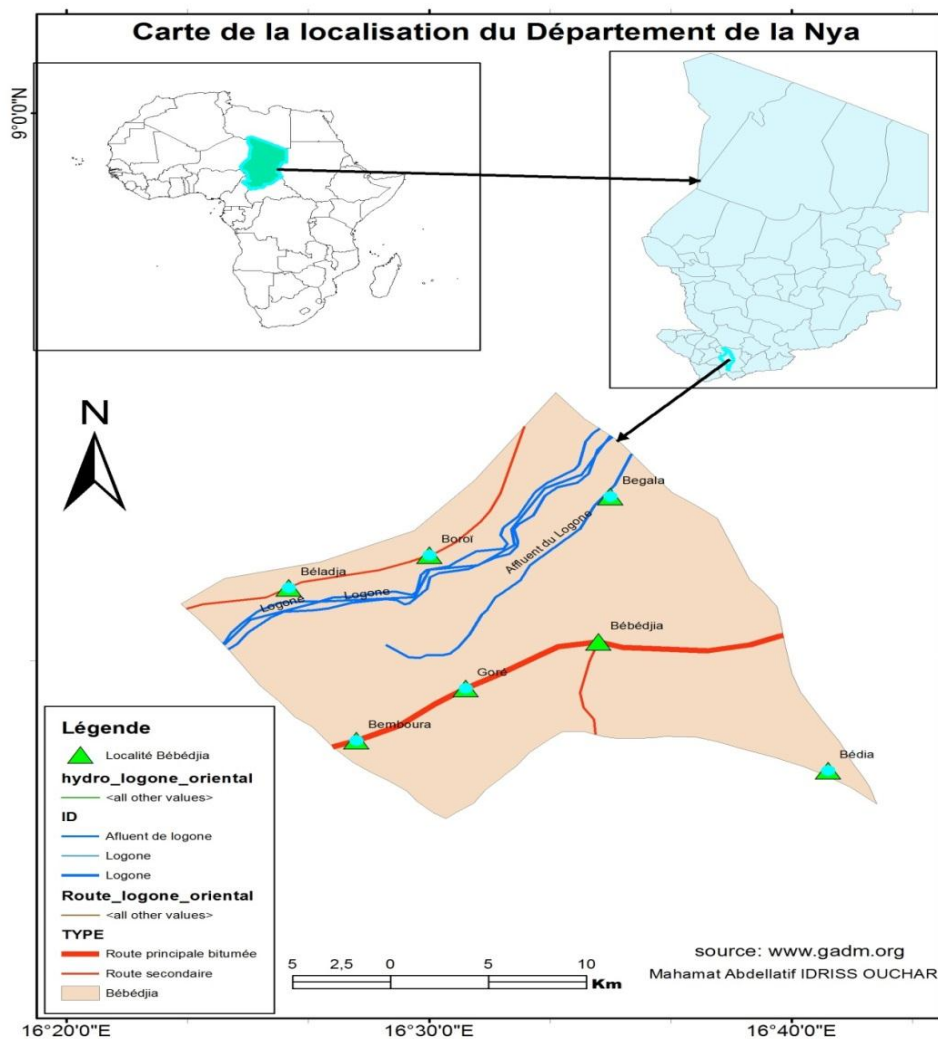


Figure 3 : Carte de la zone d'étude

La ville de Bébédjia est le chef-lieu du département de la Nya, Région du Logone Oriental. Elle est située à 35 km de Doba, chef-lieu de ladite région. La ville est traversée par l'axe routier Moundou-Doba. Bébédjia est limité au Nord par le département de Ngourkoussou de la Région du Logone Occidental, au Sud par la sous-préfecture de Donia du département de la Nya-Pendé, à l'Est par le département de la Pendé et à l'Ouest par la sous-préfecture de Mbaikoro du département des Monts de Lam.

2.1.2. Démographie

La commune de Bébédjia compte environ 45 000 habitants avec une superficie de 12 km² et une densité de 3 750 habitants/km² (recensement de la population, commune de Bébédjia, Mai 2012). Cette population est majoritairement jeune et constitue une force pour les actions (activités agro-pastorales) de développement. Toutefois, elle est confrontée à beaucoup de maux : la pauvreté, l'alcoolisme, le chômage, la pandémie du SIDA, le vagabondage sexuel, le parasitisme social, l'exode rural.

Avec l'exploitation du pétrole, la population de Bébédjia a sensiblement augmenté à cause de l'arrivée des personnes à la recherche de l'emploi et de débouchés économiques. Cette concentration humaine n'est sans conséquences sur la gestion de l'espace et des relations humaines. Ainsi on note des conflits fonciers de tout genre : les conflits agriculteurs/éleveurs, les conflits interpersonnels, les conflits intercommunautaires, les conflits conjugaux, les conflits qui opposent ESSO aux communautés locales en lien avec la gestion des terres.

Plusieurs ethnies coexistent et l'ethnie autochtone Ngambay prédomine. La langue de communication la plus véhiculaire est le Ngambay, mais le français et l'arabe tchadien sont aussi fréquemment utilisés.

2.1.3. Milieu physique

2.1.3.1. Sols et végétation

La station de Bébédjia est caractérisée par une coexistence d'une formation végétale soudanienne qui s'étale de la savane arbustive à la forêt claire, et la végétation herbacée qui pousse en saison pluvieuse. La végétation se compose d'une strate arborée formée principalement de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br., *Daniella oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalz., *Terminalia avicennoides* Guill. & Perr., *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn. A celles-ci s'ajoutent quelques espèces fruitières telles que *Mangifera indica* L., *Citrus limon* (L.) Burm. f., *Carica papaya*, *Psidium guajava*, *Musa sp.* La strate herbacée est dominée par *Digitaria horizontalis* Willd., *Pennisetum pedicellatum* Trin, *Eulecine indica*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Andropogon gayanus* etc. (NAITORMBAIDE, 2012).

La structure du sol est à dominance limono-sableuse avec une couleur allant du beige au rouge. On rencontre les sols exondés et les sols inondés sur lesquels se répartissent les différents types de sol. Les sols sont généralement ferrugineux, hydro morphes et ferralitiques. Ils montrent des signes d'appauvrissement dans les zones de concentration humaine, de culture de coton et d'exploitation pétrolière.

- Les sols ferralitiques sont favorables à la culture de sorgho, de soja, du niébé, de sésame et du penicillaire ;
- Les sols hydro morphes, très propices à la culture du riz, de manioc, du sorgho, de maïs, de l'arachide...
- Les sols ferrugineux tropicaux, plus ou moins cuirassés, propices à toute culture tropicale.

Le sol du site qui a abrité la parcelle de l'essai a connu une jachère de 2 ans.

2.1.3.2. Climat

Le climat de la zone d'étude est de type tropical avec alternance des saisons : une saison sèche et une saison des pluies.

- ✓ La première saison qui commence de novembre à mars est marquée par une période fraîche (de novembre à février) et une période chaude (de mars à l'arrivée des pluies).

La seconde saison qui va du mois d'avril à celui d'octobre est caractérisée par des précipitations qui varient, pendant "les années normales", de 900 à 1200 mm/an (SAMA, 2003). Ces conditions sont favorables aux activités agropastorales avec une production plus ou moins bonne en céréales (mil, sorgho, maïs), de manioc, des légumes, d'arachide et de coton.

On note deux (2) vents prédominants dans la zone : la Mousson et l'Harmattan.

- ❖ la Mousson est un vent humide qui souffle du Sud-ouest au Nord-est, du mois d'avril à celui d'octobre ;
- ❖ l'Harmattan est un vent sec qui souffle du Nord-est au Sud-ouest, du mois de novembre à celui de mars.

2.1.3.3. Hydrographie

Il existe des cours d'eau permanents et temporaires dans la zone d'étude.

- ☞ Les cours d'eau permanents : le Logone et la Pendé.
 - le Logone, principal affluent du fleuve Chari, est long de 1000 km et prend sa source dans les Monts de l'Adamaoua, au Cameroun. Ses affluents sont : la

Pendé sur sa rive droite en aval de Moundou ; la Tandjilé, sur sa rive gauche en amont de Lai.

- La Pendé prend sa source en République Centrafricaine (RCA).

☞ Les cours d'eau temporaires : la Nya et quelques mares alimentées par les eaux des pluies.

2.1.4. Pluviométrie

La station de Bébédjia connaît une alternance de saisons : une saison humide s'étendant d'avril à octobre et une saison sèche de novembre à mars.

La figure 4 montre les quantités des pluies enregistrées de 1996 à 2014. Au cours de ces années, la pluviométrie annuelle a varié de 1 086,6 mm en 1996 à 932,8 mm en 2014. Par ailleurs, ce sont les années 2008, 2010 et 2012 qui ont été les plus pluvieuses avec des quantités d'eau supérieures à 1 200 mm.

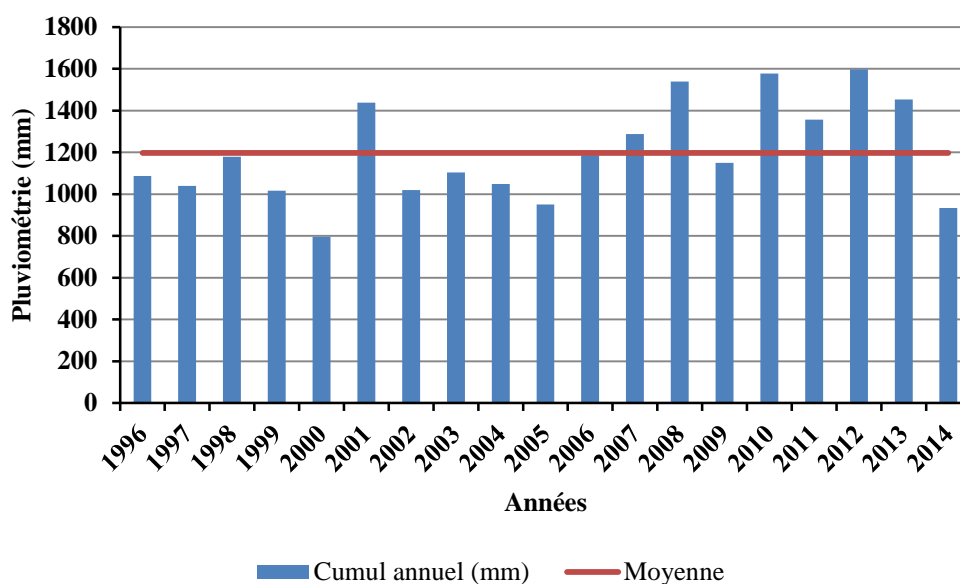


Figure 4 : Cumuls pluviométriques de 1995 à 2014 à la Station de Bébédjia

En 2014, durant la période d'expérimentation, la répartition spatio-temporelle de la pluviométrie a été mauvaise dans l'ensemble. Il a été enregistré un cumul pluviométrique de 932,8 mm en 75 j de pluies jusqu'au mois d'octobre (Figure 5). Le mois de juin a été peu pluvieux au cours de cette campagne. La pluie a véritablement commencé en juillet, donc tardivement. Les quantités d'eaux reçues durant toute la saison ont été en dessous de la moyenne normale de la zone. En somme, ces conditions pluviométriques pourraient avoir des

répercussions négatives sur la production du maïs, notamment des problèmes d'épiaison et de remplissage des grains.

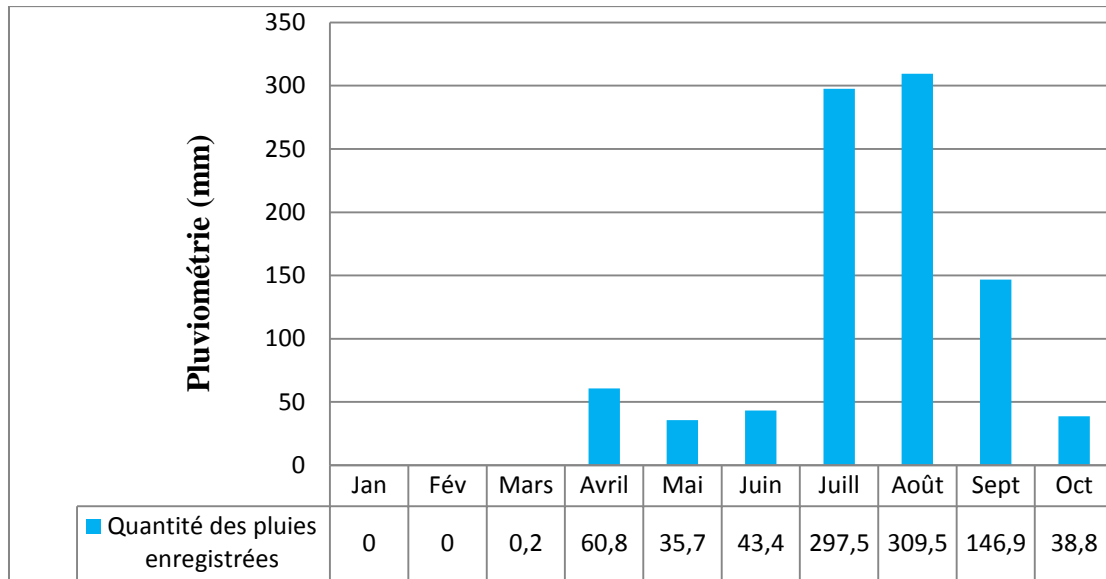


Figure 5 : Distribution de pluies au cours de l'essai en 2014 à la Station de Bébédjia

2.1.5. Température

En saison sèche, la température oscille entre 22,8° et 39°C. En saison sèche, elle varie entre 20,5° et 33,9°C. On distingue deux types de vents qui dominent, la mousson qui souffle de Mai à Septembre et le harmattan soufflant le reste de l'année.

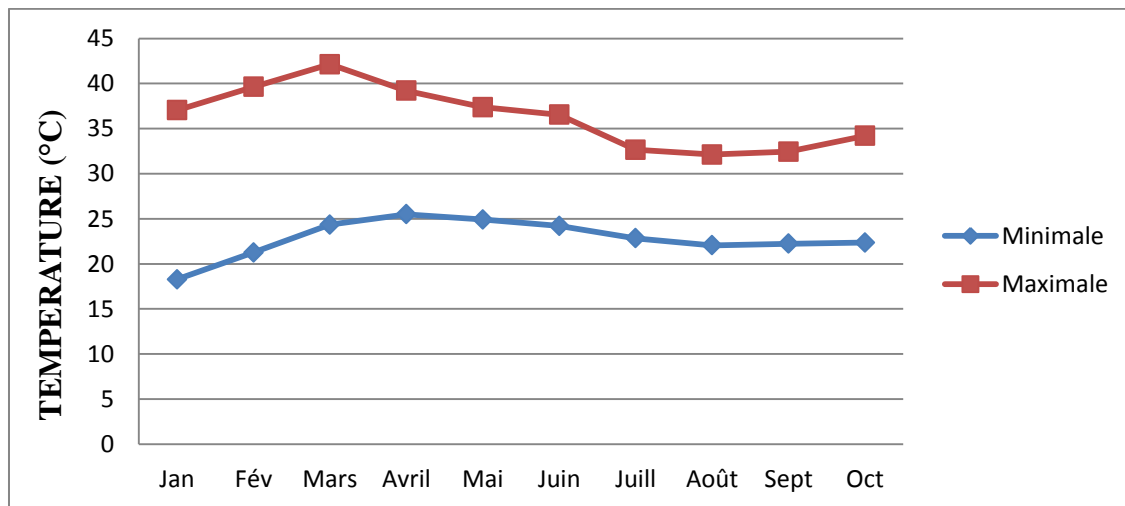


Figure 6 : Evolution des températures au cours de l'essai en 2014 à la Station de Bébédjia.

Les températures minimales mensuelles pendant la période de culture sont passées de 18,27°C en janvier à 22,35 °C en octobre (Figure 6). Durant l'expérimentation, les mois les plus chauds ont été juillet et octobre avec des températures respectives de 32,66 et 34,20°C.

2.1.6. Activités économiques

Elles regroupent essentiellement l'agriculture, l'élevage et le commerce.

2.1.6.1. Agriculture

Elle constitue la principale activité économique des populations de la zone. En effet, elle occupe plus de 83 % de la population active. Les types de cultures sont imposés par les conditions générales du milieu. Il y a les cultures vivrières : les céréales, les oléagineux, les légumineuses, les plantes à tubercules et à racines, les produits maraichers et les cultures de rente : le coton, sésame et l'arachide.

Dans ce secteur, la faible productivité est liée à l'utilisation des techniques culturales et d'élevages extensives, à l'insuffisance des matériels agricoles, aux aléas climatiques, à la mauvaise organisation du monde rural, ainsi qu'à la dégradation de l'environnement. Les techniques culturales sont encore, pour l'essentiel, traditionnelles. Dans la plus part des cas, les matériels agricoles utilisés demeurent rudimentaires et ne permettent pas d'accroître la production.

On note en ces derniers temps, un engouement d'une frange importante de la population dans la production des vergers. Ceci, avec deux objectifs : compléter l'alimentation et commercialiser le surplus pour l'augmentation du revenu. Cette pratique commence à se reprendre dans les localités où l'arboriculture fruitière est favorable.

Du point de vue d'appui technique, il existe dans la zone, des services de l'Etat comme l'ITRAD qui produit des technologies pour le développement agricole et l'ONDR qui assure la vulgarisation de ces technologies. Malheureusement les actions de ces différents services techniques sont limitées à cause de l'absence ou de l'insuffisance des moyens et équipements, ainsi que des compétences requises.

2.1.6.2. Elevage

L'élevage est pratiqué de manière rudimentaire par les sédentaires, même si, de manière périodique, on note la présence des éleveurs nomades dans la zone. Les espèces animales les plus élevées sont les bovins, les ovins, les caprins, les porcins et la volaille. L'élevage des bovins n'est pratiqué que pour la culture attelée, assez rependue dans la zone.

Cette façon traditionnelle de pratique d'élevage subit d'énormes pertes à cause de certaines épizooties (charbon bactérien, charbon symptomatique, etc.) et des cas de vol. En plus, sa pratique extensive est souvent source de conflit lié à la divagation et a comme conséquence la dévastation des champs et récoltes.

2.1.6.3. Commerce

Les échanges commerciaux s'organisent et se déroulent autour des produits agro-alimentaires, pastoraux et manufacturés dans le marché dit "moderne", situé au centre-ville et les petits marchés à travers les quartiers. Ces échanges commerciaux occupent une frange importante de la population mais demeurent l'apanage des femmes. La vente se fait souvent au détail et le prix n'est pas souvent fixé par le producteur. Il est à noter que les échanges se font également dans d'autres villages et villes voisins et ce, à travers les marchés hebdomadaires limitrophes. La pratique des échanges actuels mérite qu'une attention soit portée pour la rendre performante et profitable à tous.

L'organisation des paysans à prendre leur place dans les échanges commerciaux reste un défi à relever pour la conquête de leur pouvoir.

2.2 Matériel

2.2.1 Matériel Végétal

Le matériel végétal utilisé a été la variété précoce de maïs « **2009 TZEE-W-STR** », dont le potentiel de rendement est situé entre 3 et 5,5 t/ha avec un cycle de 75 à 80 jours (Tableau III).

Tableau III : Caractéristiques de la variété « 2009 TZEE-W-STR »

Paramètre	Caractéristique
Nature Génétique	Composite
Obtenteur, année de création	IITA/Kano/Nigéria (2009)
Pays, mainteneur et date d'introduction	ITRAD/Tchad (2011)
Cycle (jours)	75 - 80
Hauteur (cm)	120 à 180
Recouvrement de l'épi	Moyen
Couleur de grains	Blanche
Texture des grains	Cornée
Dureté des grains	Vitreuse
Poids de 100 grains (g)	150
Utilisation	Consommation à sec sous forme de farine (boule, bouillie, beignet) ; Consommation frais ou grillé
Rendement potentiel grain (t/ha)	3 à 5,5
Rendement potentiel biomasse (t/ha)	2,5 à 5
Autres caractéristiques	variété tolérante à la rouille, à l'helminthosporiose et à la virose ; résistance au Striga et à la sécheresse, à la verse et à la casse ; sensible aux foreurs des tiges

Source : FAO, 2012b

2.2.2 Les fertilisants utilisés

Pendant la période expérimentale, les fertilisants suivants ont été utilisés :

- la fumure organique sous forme de fumier bovin ;
- l'engrais composé NPK (20-10-10) ;
- l'urée (46%N).

2.2.3 Le matériel technique

Le matériel technique utilisé est composé d'une tarière pour les prélèvements des échantillons du sol, de mètre-ruban, d'une corde, de piquets pour la délimitation des parcelles, des plaques pour la distinction des parcelles, des sacs pour le séchage et la conservation des épis de maïs, de balances mécanique et électronique pour les différentes mesures de poids, des règles graduées pour les mensurations.

2.3 Méthodes

2.3.1 Facteurs étudiés

Deux facteurs combinés pris chacun à 2 niveaux de variation ont fait l'objet de notre étude.

- *la microdose de fumier de bovin* prise à 2 niveaux de variation :
 - 96 g de fumier par poquet soit 3t/ha ;
 - 160 g de fumier par poquet soit 5t/ha.
- *la microdose de fumure minérale* prise à 2 niveaux de variation :
 - 2 g de NPK par poquet + 1 g d'urée par poquet soit 62,5 kg/ha (NPK) + 31,25 kg/ha (urée) ;
 - 4 g de NPK par poquet + 1 g d'urée par poquet soit 125 kg/ha (NPK) + 31,25 kg/ha (urée).

D'autres facteurs ont été pris en compte tels que le témoin absolu, la dose vulgarisée au Tchad (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), les différentes pratiques paysannes : 5t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée et 10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée.

2.3.2 Traitements

Douze (12) traitements constitués de la combinaison de microdose organique et minérale plus le témoin absolu, les pratiques paysannes au Tchad ont été mises en compétition. Ces traitements sont :

T1 : Aucune fertilisation

T2 : 96 g de fumier par poquet

T3 : 160 g de fumier par poquet

T4 : 2 g de NPK par poquet + 1 g d'urée par poquet

T5 : 4 g de NPK par poquet + 1 g d'urée par poquet

T6 : 96 g de fumier par poquet + 2 g de NPK par poquet + 1 g d'urée par poquet

T7 : 96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK par poquet + 1 g d'urée par poquet

T8 : 160 g de fumier par poquet + 2 g de NPK par poquet + 1 g d'urée par poquet

T9 : 160 g de fumier par poquet + 4 g de NPK par poquet + 1 g d'urée par poquet

T10 : 5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée

T11 : 5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée

T12 : 10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée

2.3.3 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est en blocs de FISHER à quatre (04) répétitions (Figure 7) avec 12 traitements. Les parcelles élémentaires ont une superficie de $16,32 \text{ m}^2$ (5,1 m x 3,2 m), et sont séparées par des allées de 1 m. Chaque parcelle élémentaire compte 4 lignes de semis, et 12 poquets par ligne ; l'écartement est de 0,80 m entre les lignes, et 0,40 m entre poquets sur la ligne. Les blocs d'une superficie de $251,94 \text{ m}^2$ (49,4 m x 5,1 m) sont séparés par des allées de 2 m.

La superficie totale de la parcelle de l'essai est donc de $1\ 623,36 \text{ m}^2$: $(49,4 \text{ m} + 4 \text{ m}) \times (20,4 \text{ m} + 10 \text{ m})$.

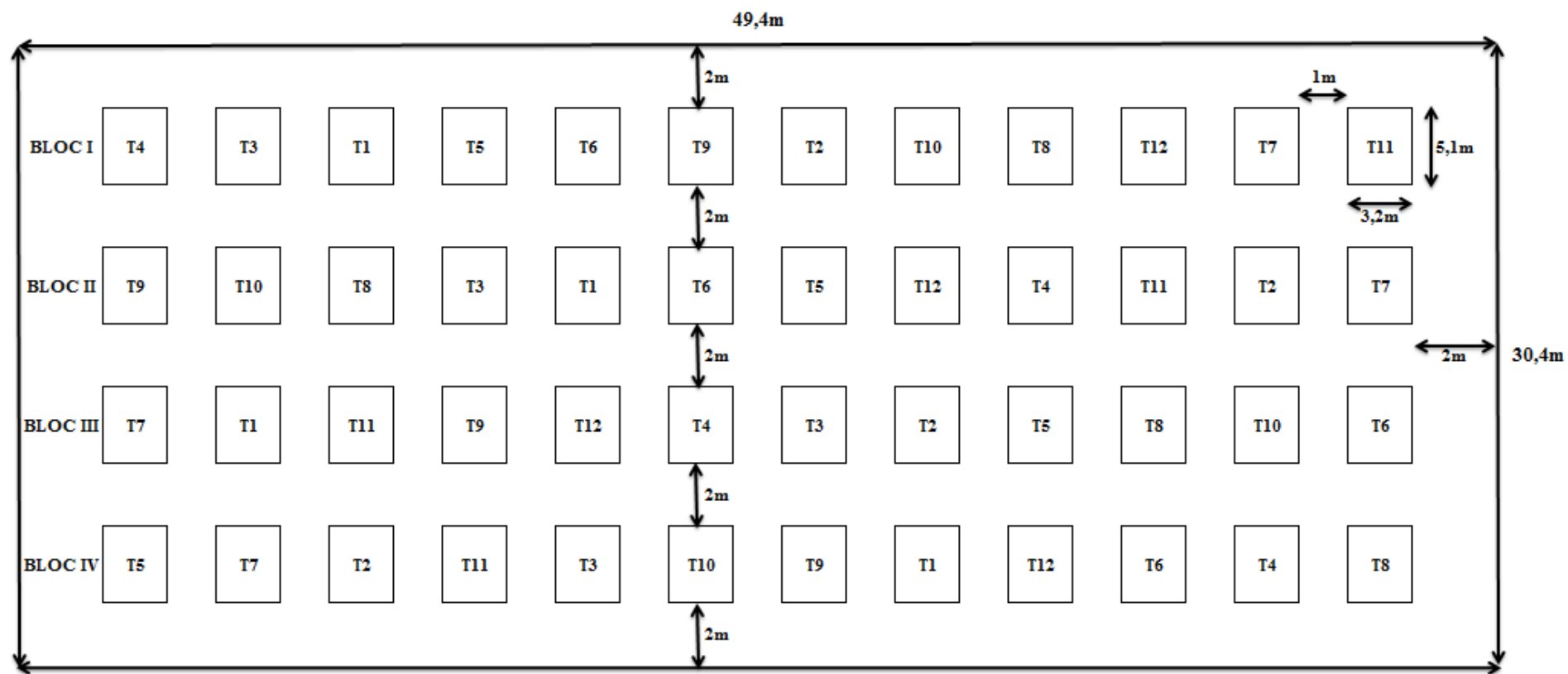


Figure 7 : Plan de masse de la parcelle

2.3.4 Application de la fumure organique et de l'engrais minéral

La fumure organique est collectée et appliquée au moment du semis comme fumure de fond au pied des poquets pour la microdose, et épandue sur toute la parcelle élémentaire pour les pratiques paysannes (Photo 1).



Photo 1 : Application de la fumure organique (Romain, 2014)

L'engrais minéral (NPK) a été appliqué 2 semaines après semis au pied des plants. L'apport d'urée a été effectué en début de montaison comme fumure d'entretien par apport localisé au pied des plants. A chaque application, l'urée est incorporée au sol pour éviter son lixiviation par une éventuelle pluie. L'urée a été appliqué après le désherbage et le démariage afin qu'elle ne soit profitable qu'aux cultures.

2.3.5 Echantillonnage du sol

Le prélèvement des échantillons de sol avant la mise en place de l'essai a été effectué en diagonale sur chaque parcelle élémentaire dans les 4 blocs (Figure 8).

Les échantillons ont été prélevés à l'aide d'une tarière sur une profondeur de 0 - 20 cm (Photo 2). Pour prendre en compte l'hétérogénéité de chaque bloc, les prélèvements ont été effectués en 5 points dans les placettes (5,1 m × 3,2 m) installées dans chaque parcelle élémentaire. Les échantillons ont été ensuite mélangés pour être homogénéisés.

Les échantillons de sol ainsi obtenus ont été séchés à l'air ambiant, émiétés et tamisés à 2 mm en vue des analyses au laboratoire.

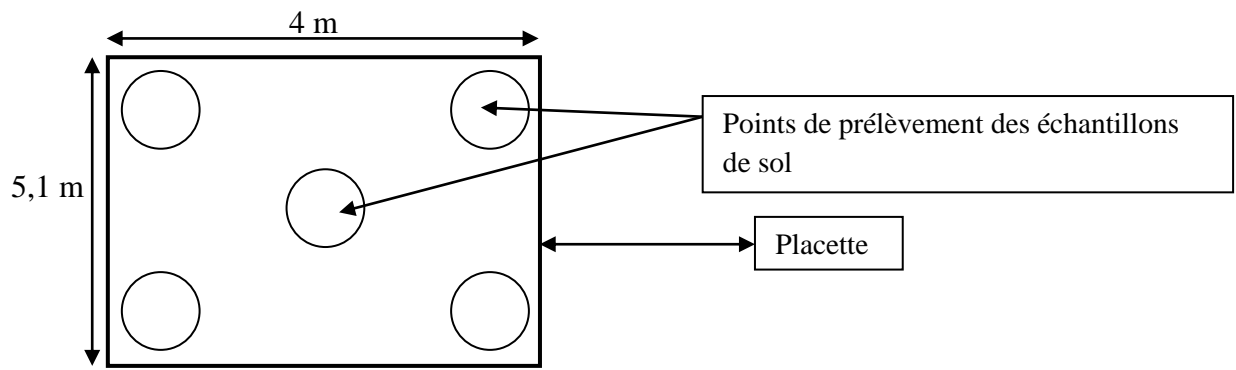


Figure 8 : Disposition des points de prélèvement sur la placette



Photo 2 : Prélèvement des échantillons du sol (Romain, 2014)

2.4 Paramètres analysés

2.4.1 Sur le sol

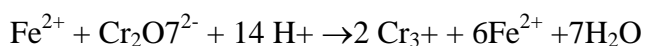
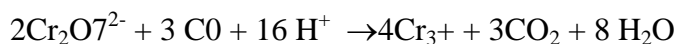
Les analyses des sols ont porté sur les échantillons prélevés avant la mise en place de l'essai. Elles ont concerné : le pH_{eau}, le carbone organique (C_{org}), l'azote total, le phosphore total (P_{tot}) et le potassium total (K_{tot}).

☞ pH

Les mesures du pH ont été faites par la méthode électro-métrique utilisant un pH-mètre à électrode en verre et à lecture directe. Pour déterminer le pH_{eau} du sol, 2g de terre de chaque échantillon ont été pesés et mélangés à 50 ml d'eau distillée. L'ensemble a subi une agitation pendant 5 mn à l'aide d'un agitateur électrique. Après repos, le pH_{eau} est déterminé sur le pH-mètre après un étalonnage avec les solutions tampons de pH4 et de pH7 (AFNOR, 1999).

☞ Carbone organique

La mesure de carbone organique est effectuée selon la méthode de Walkley-Black (1934, cité par TRAORE, 2008). C'est une méthode qui consiste en une oxydation à froid de l'échantillon du sol par une solution de bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique. L'excès de bichromate est dosé en retour au spectrophotomètre à 650 nm, avec une solution standard de Fe²⁺ (dans du sulfate d'ammonium ferreux : sel de Mohr dont la formule chimique est FeSO₄(NH₄)₆ pour déterminer la quantité qui a réagi. Les équations de réaction sont les suivantes :



☞ Azote total (Méthode de KJELDAHL)

La méthode KJELDAHL (HILLEBRAND et al., 1953, cité par DOAMBA, 2007) est utilisée pour doser l'azote total. Les échantillons de sol ont subi une minéralisation totale avec un mélange d'acides sulfurique-sélénium-salicylique et pendant un chauffage progressif de 100 à 340°C. Après cette minéralisation, la solution aqueuse est mélangée au carbone actif. Les éléments azotes ont été directement déterminés à l'auto-analyseur.

☞ **Phosphore total (Méthode KJELDAHL)**

Les échantillons ont été soumis à une minéralisation KJELDAHL avec l'acide H_2SO_4 et $C_7H_6O_3$ en présence de H_2O_2 et du sélénium qui est utilisé comme catalyseur. Après cette minéralisation, la solution aqueuse est mélangée à du carbone actif pour ensuite doser l'azote ammoniacal analyseur. La méthode de DABIN, consistant en une attaque par l'acide perchlorique (60%) à chaud, est utilisée pour le dosage de phosphore par colorimétrie automatique

☞ **Détermination de la macrofaune du sol**

Pour déterminer la macrofaune du sol, un échantillonnage suivant la norme ou le standard TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), utilisé par DECAËNS *et al.* (2004) a été mis en œuvre. Ainsi, à chaque point de prélèvement, un bloc de sol de 25 cm x 25 cm sur 30 cm de profondeur est collecté à un intervalle de 5 m dans la partie centrale de la parcelle, 60 jours après semis. Au total, 9 blocs de terre ont été fouillés. Le sol ainsi collecté, est trié soigneusement à la main sur un sac en polyéthylène (Photo 3). Les individus repérés à l'œil nu sont capturés à la main et préservés dans de l'alcool à 75%. Les individus collectés sont observés et dénombrés au laboratoire, à l'aide d'une loupe binoculaire.



Photo 3 : Triage du sol collecté (Justin, 2014)

La biomasse est déterminée pour sept (07) grands groupes taxonomiques, à savoir : les Oligochètes, les Isoptères, les Hyménoptères (principalement les Formicidae), les Coléoptères, les Arachnides, les Myriapodes et d'autres invertébrés.

Les données obtenues se présentent sous la forme d'effectifs par bloc de terre fouillée. Elles permettent de calculer la diversité (facteur qualitatif) évaluée à partir des indices de Shannon-Weaver (H') et d'équitabilité (E).

L'indice de Shannon-Weaver et l'indice d'équitabilité ont été calculés à l'aide du logiciel Excel pour l'évaluation de la diversité des espèces dans la parcelle.

L'indice de shannon : prend en compte le nombre de groupes rencontrés car il est indépendant de la taille de la population étudiée. Il est calculé par la formule suivante :

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

avec $P_i = r_i / r$ où r_i désigne le nombre d'individus d'une espèce i et r le nombre total d'individus dans la parcelle (MAGURRAN, 2006) et H est l'indice de Shannon.

L'indice d'équitabilité (1966) permet quant à lui d'évaluer le poids de chaque espèce dans l'occupation de l'espace. Il permet donc d'apprécier la régularité de la distribution des espèces dans la communauté. Un indice d'équitabilité inférieur à 0,60% caractérise un environnement perturbé (GANABA, 2008).

Il est d'autant plus élevé qu'un grand nombre d'espèces participe au recouvrement. Son expression générale est la suivante :

$$Eq = \frac{H}{H_{max}} \quad \text{avec} \quad H_{max} = \log_2 S$$

où Eq correspond à l'indice d'équitabilité, H à l'indice de Shannon et S la richesse spécifique.

2.4.2 Variables observées/mesurées sur la plante

Les observations agronomiques ont été réalisées sur dix (10) plants repérés au hasard sur les deux lignes centrales de chaque parcelle élémentaire (à raison de cinq plants par ligne). Ces plants ont été marqués à l'aide d'un fil rouge attaché au pied de la plante (Photo 4). Les observations ont porté sur :



Photo 4 : Marquage des plants pour les mensurations (Romain, 2014)

☞ La hauteur des plants

Les mesures de la taille des plants ont été effectuées au 30^e, 60^e jours après levée (JAL) et à la récolte. Ces mesures sont faites de la base du plant jusqu'au sommet (Photo 5).



Photo 5 : Mesure de la hauteur des plants aux 30^e et 60^e JAL (Romain, 2014)

☞ Nombre des jours d'apparition des panicules mâles et femelles

C'est le nombre des jours à laquelle les panicules de 50% des plants de la parcelle ont atteint les inflorescences mâles et femelles. La connaissance de ce nombre des jours nous a permis de déterminer l'effet du facteur étudié sur la durée du cycle allant du semis aux stades floraisons mâle et femelle. La détermination de ce nombre des jours a consisté en un dénombrement quotidien des plants fleuris sur les deux lignes d'observation de chaque parcelle élémentaire, au démarrage de chaque type de floraison jusqu'à la date à laquelle 50% des plants ont émis des fleurs mâles (date 50% floraison male) et des fleurs femelles (date 50% floraison femelle).

☞ Diamètre des tiges au collet

Le diamètre des tiges au collet a été mesuré au stade floraison femelle à l'aide d'un mètre ruban.

☞ Hauteur d'insertion des épis

La hauteur d'insertion des épis est un indicateur important de la sensibilité du maïs à la verse. Plus l'épi est placé haut sur la tige, plus la sensibilité à la verse est grande. La hauteur d'insertion des épis est mesurée à l'aide d'une règle graduée.

☞ Le rendement grain

Il consiste à évaluer la production en grains des parcelles par unité de surface.

Le rendement grain à l'hectare a été estimé en extrapolant le rendement de la parcelle utile par la méthode suivante :

$$Rdt \text{ grain (kg/ha)} = \frac{\text{Poids corrigé du produit de la parcelle élémentaire (kg)}}{\text{Superficie de la parcelle utile (3,84 m}^2\text{)}} \times 10\,000 \text{ m}^2$$

☞ Le rendement paille

Il consiste à évaluer la production de la biomasse des parcelles par unité de surface.

Le rendement paille à l'hectare a été estimé par extrapolation du rendement de la parcelle élémentaire (3,84 m²) par la méthode suivante :

$$Rdt \text{ paille (kg/ha)} = \frac{\text{Poids corrigé du produit de la parcelle élémentaire (kg)}}{\text{Superficie de la parcelle utile (3,84 m}^2\text{)}} \times 10\,000$$

☞ Calcul des indices de récolte (IR)

L'indice de récolte mesure le rapport entre le rendement en grains et la biomasse totale produite. La méthode suivante a été utilisée :

$$IR = \frac{Rdt \text{ grain (kg/ha)}}{Rdt \text{ grain (kg/ha)} + Rdt \text{ paille (kg/ha)}}$$

2.4.3 Analyse économique de la technologie de microdose

La rentabilité d'une technologie est un facteur très important dans la décision d'adoption de cette technologie par les producteurs. Aujourd'hui les producteurs parlent en termes de coût (LAMBONI, 2003). Il s'avère donc nécessaire de procéder à une analyse économique.

☞ Coût de la main d'œuvre

L'application de la technologie de microdose nécessite une main d'œuvre adéquate. Le coût des opérations culturales telles que : le sarclage, le démariage, l'apport des doses sous différente forme, etc., jusqu'à la récolte a été pris en compte. Le coût de la main d'œuvre a été calculé en fonction du nombre d'heure de travail par jour et selon le taux monétaire journalier octroyé à un manœuvre à la station de Bébédjia. Ce taux journalier est de 1 514 francs CFA.

☞ **Ratio valeur sur coût**

Le ratio valeur sur coût (RVC) permet d'évaluer la rentabilité financière des fumures (TRAORE, 2009). Il s'agit du rapport entre l'augmentation de gain monétaire due à l'utilisation d'engrais, et le coût engendré par cette fumure. Sa formule est la suivante :

$$RVC = \frac{[Rdt\ avec\ engrais - Rdt\ sans\ engrais] (kg/ha) * Prix\ du\ maïs (FCFA/kg)}{Coût\ total\ des\ engrais (FCFA)}$$

Un facteur de production est dit économiquement rentable lorsque son RVC est supérieur à 2.

☞ **Revenu monétaire**

Le calcul du revenu monétaire s'obtient en ôtant de la valeur de la production due aux engrais, le coût total de ces engrais, par la formule suivante (SOKPOH, 1997) :

$$Revenu = [(Rdt\ parcelle\ fertilisée - Rdt\ témoin (kg/ha) \times Prix\ maïs (FCFA/kg)] - Coût\ engrais$$

Le prix du kg de maïs qui a été retenu pour déterminer le ratio valeur sur coût (RVC) et le revenu monétaire a été celui de la mi- campagne (mois de mars). Le prix en ce mois est ni trop bas, ni trop élevé.

2.5 Traitement et analyse statistique des données

Les données collectées ont été d'abord saisies dans un tableur Microsoft Excel 2010 et analysées à l'aide du logiciel GenStat 12th Edition. Suite à l'analyse de variance, le test *Student-Newman-Keuls* a permis de comparer les moyennes des traitements au seuil de signification 5%.

CHAPITRE III : RESULTATS

3.1 Caractéristiques chimiques du sol

En ce qui concerne les paramètres chimiques, les résultats sont consignés dans le tableau IV.

Tableau IV : Caractéristiques chimiques du sol avant la mise en place de l'essai

Traitements	pH_eau	C (%)	N (mg/l)	P_tot (mg/l)	K_tot (mg/l)
T1	7,83	0,083	1,227	16,506	0,290
T2	7,46	0,055	1,527	7,333	0,636
T3	7,48	0,080	1,707	0,676	1,076
T4	7,28	0,078	0,963	12,004	1,113
T5	7,52	0,081	0,623	7,200	0,660
T6	7,44	0,079	1,210	8,000	1,086
T7	7,84	0,083	1,623	7,117	0,673
T8	7,51	0,080	1,287	4,633	1,270
T9	7,14	0,087	1,967	10,510	1,966
T10	7,35	0,081	0,427	5,533	0,450
T11	7,12	0,086	0,331	6,333	0,353
T12	7,14	0,089	1,550	10,567	1,103
Moy. gén.	7,43	0,080	1,20	8,0	0,89
Pr > F	0,323	0,365	0,253	0,793	0,544
Signification	NS	NS	NS	NS	NS

T1 (aucune fertilisation), *T2* (96 g de fumier), *T3* (160 g de fumier), *T4* (2 g de NPK + 1 g d'urée), *T5* (4 g de NPK + 1 g d'urée), *T6* (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T7* (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T8* (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T9* (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T10* (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), *T11* (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée), *T12* (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée)

NB : **C** : Carbone; **M.O** : Matière Organique ; **N** : Azote ; **P_tot** : Phosphore total ; **K_tot** : Potassium total ; **Moy. Gén** : Moyenne générale ; **NS** : Non significatif

Le pH_eau, varie de 7,12 pour le traitement **T11** (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée) à 7,84 pour le traitement **T7** (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée). Le taux de carbone exprimé en pourcentage le plus élevé a été obtenu avec le traitement **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée) soit 8,9 %. Le taux de carbone le moins élevé est celui du traitement **T2** (96 g de fumier) soit 5,5 %. Le taux d'azote le plus élevé (1,967) mg/l a été obtenu avec le traitement **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), et le plus faible (0,331 mg/l), avec le traitement **T11** (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée). En ce qui concerne les taux de phosphore total et de

potassium total, les valeurs les plus élevées ont été obtenues respectivement avec les traitements **T1** (aucune fertilisation) : 15,50 mg/l (P_total) et **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée) : 1,966 mg/l (K_total). Les taux les moins élevés ont été ceux des traitements **T3** (0,676 mg/l, P_total) et **T1** (0,290 mg/l, K_total).

D'une manière générale, l'analyse statistique des résultats avec l'application du test de Newman et Keuls au seuil de 5% n'a montré aucune différence significative pour tous les paramètres chimiques.

3.2 Détermination de la macrofaune

Sur les 9 blocs de terre fouillés, une macrofaune composée de 4 classes a été identifiée : oligochète, insecte, arachnide et la classe de scolopendre. Ces classes sont subdivisées en 7 ordres (Tableau V). Parmi cette macrofaune, les fourmis étaient les plus représentées soit 74 individus soit 41,11%. Elles constituent à elle seules plus de la moitié des individus identifiés. Elles étaient suivies par les vers de terre (53 individus soit 29,44%) et les termites (39 individus soit 21,67%). Les autres espèces sont très minoritaires. Au total, 180 individus ont été identifiés.

Tableau V : Composition taxonomique de la macrofaune identifiée

Classe	Ordre	Famille	Nom commun	Nombre	%
Oligochète	Haplotaxide	Lumbricidae	Ver de terre	53	29,44
Insecte	Isoptère	Termitidae	Termite	39	21,67
Insecte	Coléoptère	Divers Coleoptera	Larve coléoptère	6	3,33
Insecte	Hyménoptère	Formicidae	Fourmi	74	41,11
Insecte	Diptère	Divers Diptera	Larve diptère	1	0,56
Arachnide	Araneae	Araneae	Araignée	5	2,78
Scolopendre	Myriapode		Mille-pattes	2	1,11
Total espèce				180	100

Les indices de Shannon et d'équitabilité sont calculés en fonction des blocs de terre fouillés.

Sur les 9 blocs de terre fouillés, la richesse taxonomique la plus importante est celle des blocs **2** et **5** (5 différentes espèces), la moins importante (3 différentes espèces) est obtenue au niveau du bloc 4, les autres blocs ont la même richesse taxonomique soit 4 différentes espèces (Tableau VI). L'indice de diversité de Shannon est élevé aux blocs **5** (2,10) et **2** (2,06) et moins élevé au bloc (1,12). L'indice d'équitabilité le plus fort est observé au bloc **3** (0,98) et le moins élevé est celui du bloc **6** (0,56).

Tableau VI : Indices de Shannon et d'équitabilité de la macrofaune du sol

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Richesse taxonomique	4	5	4	3	5	4	4	4	4
Indice de diversité	1,69	2,06	1,61	1,55	2,10	1,12	1,81	1,29	1,86
Indice d'équitabilité	0,84	0,89	0,81	0,98	0,90	0,56	0,90	0,65	0,93

B1 : Bloc 1 ; *B1* : Bloc 2 ; *B3* : Bloc 3 ; *B4* : Bloc 4 ; *B5* : Bloc 5 ; *B6* : Bloc 6 ; *B7* : Bloc ; *B8* : Bloc 8 ; *B9* : Bloc 9

3.3 Effet du facteur étudié sur les paramètres observés

3.3.1 Hauteur des plants au 30^e, 60^e JAL et à la récolte

Tableau VII : Hauteur des plants au 30^e, 60^e JAL et à la récolte

Traitements	Hauteur des plants (cm)		
	30 ^e JAL	60 ^e JAL	Récolte
T1	30,70	124,2 b	137,0 b
T2	31,35	131,5 ab	148,3 ab
T3	37,85	131,5 ab	151,3 ab
T4	31,62	136,9 ab	152,9 ab
T5	35,40	137,7 ab	153,6 ab
T6	36,90	140,3 ab	154,8 ab
T7	33,32	137,5 ab	155,2 ab
T8	34,10	143,4 ab	158,0 ab
T9	33,65	144,7 ab	168,9 a
T10	37,90	143,4 ab	155,3 ab
T11	37,52	146,8 ab	157,9 ab
T12	34,02	151,8 a	170,7 a
Moyenne générale	34,53	139,6	155,3
Pr > F	0,724	0,076	0,027
Signification	NS	S	S

T1 (aucune fertilisation), *T2* (96 g de fumier), *T3* (160 g de fumier), *T4* (2 g de NPK + 1 g d'urée), *T5* (4 g de NPK + 1 g d'urée), *T6* (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T7* (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T8* (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T9* (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T10* (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), *T11* (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée), *T12* (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée)

NS : Non significatif ; *S* : Significatif ; *JAL* : Jours Après Levée

NB : *a>b* ; Les moyennes suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Student Newman et Keuls.

Au stade 30^e JAL, les traitements dont les plants ont montré une plus grande hauteur sont les traitements **T10** (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), **T3** (160 g de

fumier) et **T11** (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée) avec des hauteurs moyennes respectives de 37,90 cm, 37,85 cm et 37,52 cm. Le traitement **T1** (témoin, aucune fertilisation) est celui dont les plants ont atteint la plus petite hauteur (30,70 cm) en ce stade de développement. Le Tableau VII nous montre qu'il n'y a pas une différence significative concernant la hauteur des plants au stade 30° JAL.

Au 60° JAL, l'analyse des résultats nous a montré une différence significative entre certains traitements. Les plants du traitement **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée) sont ceux ayant développés une grande hauteur avec une moyenne de 151,8 cm contrairement aux plants du traitement **T1** (témoin, aucune fertilisation), ayant développés la plus petite hauteur avec une moyenne de 124,2 cm. Cependant, la différence avec les autres traitements, n'est pas statistiquement significative.

A la récolte, l'analyse des résultats a montré une différence significative entre les traitements. Les plants des traitements **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée) et **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée) ont développés des plus grandes tailles avec des moyennes respectives de 170,7 et 168,9 cm contrairement aux plants du traitement **T1** (témoin, aucune fertilisation) avec une moyenne de 137 cm.

3.3.2 Nombre des jours d'apparition de 50% des floraisons mâle et femelle

Les plants ont atteint en moyenne les stades 50% floraisons mâle et femelle respectivement aux 50^{ème} et 55^{ème} jours après semis (Tableau VIII). Au niveau de l'essai nous avons également observé sur quelques pieds des plants des cas d'hermaphrodisme et des attaques des pucerons verts sur les inflorescences mâles (Photo 6). L'analyse de la variance nous a montré qu'il n'y a pas des différences significatives entre les traitements en ce qui concerne les nombres des jours d'apparition de 50% floraisons mâle et femelle. Par contre, les floraisons mâles et femelles étaient précoces sur les parcelles fertilisées et tardives sur la parcelle témoin.

Tableau VIII : Dates d'apparition des 50% floraisons mâles et femelles

Traitements	Inflorescence mâle (JAS)	Inflorescence femelle (JAS)
T1	53,00	58,50
T2	52,50	58,00
T3	51,75	57,00
T4	53,50	58,25
T5	53,00	57,75
T6	51,50	56,50
T7	53,25	58,75
T8	52,50	58,00
T9	51,50	57,25
T10	52,75	58,75
T11	51,00	56,75
T12	50,00	55,25
Moyenne générale	52,19	57,56
Pr > F	0,148	0,062
Signification	NS	NS

T1 (aucune fertilisation), *T2* (96 g de fumier), *T3* (160 g de fumier), *T4* (2 g de NPK + 1 g d'urée), *T5* (4 g de NPK + 1 g d'urée), *T6* (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T7* (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T8* (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T9* (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T10* (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), *T11* (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée), *T12* (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée)

NS : Non significatif ; JAS : Jours Après Semis



Photo 6 : Attaque des pucerons verts (photo de gauche) et cas d’hermaphrodisme (photo de droite (Abdellatif, 2014)

3.3.3 Diamètre des tiges au collet

La variation du diamètre des tiges en fonction des traitements est donnée dans le tableau IX. On observe que le diamètre des tiges varie de 3,77 cm (T1) à 6,97 cm (T12). Le traitement **T12** (10t/ha de fumier + 100kg/ha + 50kg/ha d'urée) est statistiquement supérieur à tous les autres traitements. Les tiges de maïs obtenues avec ces traitements sont donc plus vigoureuses que celles obtenues dans les autres traitements. Le test de Newman et Keuls (5%) a révélé des différences hautement significatives entre les traitements.

Tableau IX : Diamètre des tiges au collet

Traitements	Diamètre des tiges au collet (cm)
T1	3,77 f
T2	4,35 ef
T3	4,40 ef
T4	4,72 de
T5	4,77 de
T6	5,20 cde
T7	5,30 cd
T8	5,67 c
T9	5,90 c
T10	5,85 bc
T11	6,52 ab
T12	6,97 a
Moyenne générale	5,28
Pr > F	0,001
Signification	HS

T1 (aucune fertilisation), *T2* (96 g de fumier), *T3* (160 g de fumier), *T4* (2 g de NPK + 1 g d'urée), *T5* (4 g de NPK + 1 g d'urée), *T6* (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T7* (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T8* (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T9* (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T10* (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), *T11* (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée), *T12* (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée)

NB : *a>b>c>d>e>f* **HS** : Hautement significatif. Les moyennes suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Student Newman et Keuls.

3.3.4 Hauteur d'insertion des épis

La comparaison des moyennes selon le tableau X nous a montré que le traitement **T6** (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée) est celui dont la hauteur d'insertion des épis a été plus grande et est en moyenne de 42 cm contre 33,15 cm pour le traitement **T4** (2 g de NPK + 1 g

d'urée). L'analyse de variance des résultats pour la détermination de la hauteur d'insertion des épis n'a révélé aucune différence significative entre les traitements.

Tableau X : Hauteur d'insertion des épis

Traitements	Hauteur d'insertion des épis (cm)
T1	35,22
T2	34,95
T3	40,90
T4	33,15
T5	36,47
T6	42,00
T7	37,85
T8	37,57
T9	33,77
T10	40,35
T11	35,30
T12	38,32
Moyenne générale	37,49
Pr > F	0,460
Signification	NS

T1 (aucune fertilisation), *T2* (96 g de fumier), *T3* (160 g de fumier), *T4* (2 g de NPK + 1 g d'urée), *T5* (4 g de NPK + 1 g d'urée), *T6* (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T7* (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T8* (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T9* (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T10* (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), *T11* (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée), *T12* (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée)

NS : Non significatif

3.3.5 Effet des traitements sur le rendement en paille, en grains et sur l'indice de récolte

Les meilleurs rendements grain et paille ont été obtenus avec le traitement **T9** (160g de fumier par poquet + 4g par poquet + 1g d'urée par poquet) soit 3 008 kg/ha pour le rendement grain, et 5 039 kg/ha pour le rendement paille (Tableau XI). Les parcelles témoins sont celles ayant donné les faibles rendements en grain (1 303 kg/ha) et en paille (2 031 kg/ha). L'analyse statistique des résultats a révélé une différence hautement significative entre les traitements en ce qui concerne le rendement grain et le rendement paille.

Tableau XI : Effet des traitements sur les rendements paille, grains et sur l'indice de récolte

Traitements	Rendement		Indice de récolte (IR)
	Grains (kg/ha)	Pailles (kg/ha)	
T1	1 303 d	2 031 e	0,39
T2	1 699 c	2 740 d	0,38
T3	1 762 c	2 827 d	0,37
T4	2 051 bc	3 201 cd	0,38
T5	2 103 bc	3 221 cd	0,38
T6	2 438 ab	3 598 bc	0,39
T7	2 490 ab	3 779 bc	0,38
T8	2 701 a	3 947 bc	0,40
T9	3 008 a	5 039 a	0,37
T10	2 676 a	3 808 bc	0,41
T11	2 786 a	3 915 bc	0,41
T12	2 806 a	4 317 b	0,39
Moyenne générale	2 318,63	3 535,16	0,39
Pr > F	<.001	<.001	0,973
Signification	HS	HS	NS

T1 (aucune fertilisation), *T2* (96 g de fumier), *T3* (160 g de fumier), *T4* (2 g de NPK + 1 g d'urée), *T5* (4 g de NPK + 1 g d'urée), *T6* (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T7* (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T8* (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), *T9* (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), *T10* (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), *T11* (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée), *T12* (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée)
HS : Hautement significatif ; **NS** : Non significatif.

NB : **a>b>c>d>e** ; Les moyennes suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Student Newman et Keuls.

L'indice de récolte le plus élevé est obtenu avec le traitement **T10** (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée) et **T11** (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée) soit 0,41 (Tableau XI). Le plus faible indice a été celui du traitement **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée) soit 0,37. L'analyse statistique des résultats n'a montré aucune différence significative entre les traitements.

3.4 Analyse économique de la technologie de microdose

3.4.1 Coût de la main d'œuvre

Le temps de travail de la main d'œuvre temporaire à la station de Bébédjia est de 5 heures par jour. Cette main d'œuvre est octroyée au taux du Salaire Minimum Agricole appliqué au Tchad qui est payée à 1 514 francs CFA par jour soit 302,8 francs CFA l'heure. Ces taux ont été utilisés pour le calcul des coûts de la main d'œuvre ayant servi à la mise en place de l'essai, aux entretiens culturaux, à la récolte et les opérations post récoltes.

La microdose est une technique qui nécessite une main d'œuvre adéquate. Le coût de la main d'œuvre de celle-ci diffère de la pratique paysanne. Sur les tableaux XII et XIII sont consignés les coûts totaux de la main d'œuvre utilisée pour la microdose et la pratique paysanne aux différentes étapes de l'étude.

Tableau XII : Coût total de la main d'œuvre

Opérations effectuées	Main d'œuvre utilisée (personne)	Heure effectuée (h)	Prix d'heure de travail (F CFA)	Coût total (F CFA)
Semis/apport MO	6	4	302,8	7 267,2
1 ^{er} sarclage/apport NPK	6	3	302,8	5 450,4
2 ^e sarclage	6	2	302,8	3 633,6
3 ^e sarclage/apport urée	6	3	302,8	5 450,4
Récolte, despathage, pesage	6	3	302,8	5 450,4
Total	6	15	300	27 252

Le coût total de la main d'œuvre utilisée pour effectuer les différentes opérations pour cet essai (1 623,36 m²) en microdose est de **27 252 francs CFA**. Pour un hectare, le coût de la main d'œuvre utilisée en microdose serait alors **167 874 francs CFA**.

La pratique paysanne est différente de la pratique de la microdose par le temps de travail mis pour effectuer l'apport des différentes doses d'engrais.

Tableau XIII : Coût total de la main d'œuvre pour la pratique paysanne

Opérations effectuées	Main d'œuvre utilisée (personne)	Heure effectuée (h)	Prix d'heure de travail (F CFA)	Coût total (F CFA)
Semis/apport MO	6	2	302,8	3 633,6
1 ^{er} sarclage/apport NPK	6	2	302,8	3 633,6
2 ^e sarclage	6	2	302,8	3 633,6
3 ^e sarclage/apport urée	6	2	302,8	3 633,6
Récolte, despathage, récolte	6	3	302,8	5 450,4
Total	6	11	300	19 984,8

Pour la pratique paysanne pour cet essai (1 623,36 m²), le coût total est estimé à **19 984,8** francs CFA. Cependant le coût total pour un hectare en pratique paysanne serait alors de **123 107** francs CFA.

3.4.2 Coût total de l'engrais utilisé

Les prix retenus pour calculer le coût total de l'engrais utilisé sont ceux en vigueur au Tchad. Le prix d'un kilogramme d'engrais NPK est de 200 francs CFA soit 10 000 francs CFA le sac de 50 kg. Le prix d'un kilogramme d'urée est de 280 francs CFA soit 14 000 francs CFA le sac de 50 kg. Le prix du fumier bovin est de 4 francs CFA pour un kilogramme, soit 10 000 francs CFA pour un camion-remorque de 2,5 tonnes.

Tableau XIV : Coût total des engrais pour un hectare de culture de maïs

Traitements	Coût MO (FCFA)	Coût NPK (FCFA)	Coût Urée (FCFA)	Coût total fertilisant (FCFA)
T1	0	0	0	0
T2	12 000	0	0	12 000
T3	20 000	0	0	20 000
T4	0	12 500	8 750	21 250
T5	0	25 000	8 750	33 750
T6	12 000	12 500	8 750	33 250
T7	12 000	25 000	8 750	45 750
T8	20 000	12 500	8 750	41 250
T9	20 000	25 000	8 750	53 750
T10	20 000	20 000	14 000	54 000
T11	20 000	30 000	21 000	71 000
T12	40 000	20 000	14 000	74 000

T1 (aucune fertilisation), T2 (96 g de fumier), T3 (160 g de fumier), T4 (2 g de NPK + 1 g d'urée), T5 (4 g de NPK + 1 g d'urée), T6 (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), T7 (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée), T8 (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), T9 (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), T10 (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), T11 (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée), T12 (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée)

MO : matière organique

Pour un hectare de culture de maïs, les coûts d'engrais utilisés pour les pratiques paysannes sont les plus élevés. Les traitements **T11** (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée), et **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée) sont ceux ayant engendrés un coût assez élevé avec des montants respectifs de **71 000** à **74 000** francs CFA (Tableau XIV). Cependant pour la microdose, les coûts les plus élevés sont ceux des traitements **T7** (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée) et **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée) avec des montants respectifs de **45 750** et **53 750** francs CFA.

3.4.3 Ratio valeur sur coût (RVC)

Le RVC est obtenu en tenant compte du coût total de l'engrais utilisé pour chaque traitement et du surplus de la production que peut engendrer chaque traitement. Le prix du kilogramme du maïs considéré est celui de la mi- campagne (mois de mars). En cette période le coro du maïs qui fait 2,5 kg est vendu à 600 francs CFA sur le marché de Bébédjia. Le prix du kilogramme est alors de 240 francs CFA.

Tableau XV : Effet des traitements sur la rentabilité économique de la culture du maïs

Traitements	Coût total fertilisant (FCFA)	Rendement (kg/ha)	Augmentation du rendement (kg/ha)	RVC
T1	0	1 303	-	-
T2	12 000	1 699	396	7,92
T3	20 000	1 762	459	5,51
T4	21 250	2 051	748	8,45
T5	33 750	2 103	800	5,69
T6	33 250	2 438	1 135	8,19
T7	45 750	2 490	1 187	6,23
T8	41 250	2 701	1 398	8,13
T9	53 750	3 008	1 705	7,61
T10	54 000	2 676	1 373	6,10
T11	71 000	2 786	1 483	5,01
T12	74 000	2 806	1 503	4,87

T1 (aucune fertilisation), T2 (96 g de fumier), T3 (160 g de fumier), T4 (2 g de NPK + 1 g d'urée), T5 (4 g de NPK + 1 g d'urée), T6 (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), T7 (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée), T8 (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), T9 (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), T10 (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), T11 (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée), T12 (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée)

RVC : Ratio Valeur sur Coût

Les résultats dans le tableau XV montrent que tous les traitements fertilisés ont un ratio valeur sur coût supérieur à 2. Le RVC le plus élevé (8,45) est obtenu avec le traitement **T4** (2 g de NPK + 1 g d'urée) ; il est suivi par les traitements **T6** (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée) et **T8** (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée) avec des RVC respectifs de 8,19 et 8,13.

Le RVC le moins élevé (4,87) est obtenu avec le traitement **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), suivi du traitement **T11** (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée) qui a un RVC de 5,01.

3.4.4 Revenu monétaire

Le revenu monétaire est calculé non seulement en tenant compte du surplus de la production due aux coûts des engrais, mais aussi du coût de la main d'œuvre utilisée. Le prix du kilogramme retenu pour le calcul du revenu monétaire est de 240 francs CFA.

L'analyse des résultats consignés dans le tableau XVI, a montré que le traitement **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée) est celui dont le revenu monétaire a été le plus élevé que les autres traitements. Le traitement **T2** (96 g de fumier) a été celui dont le revenu monétaire a été très négatif.

Tableau XVI : Revenu monétaire

Traitements	Coût production (F CFA)	Coût fertilisant (F CFA)	Coût main d'œuvre (F CFA)	Revenu monétaire (F CFA)
T1	-	-		
T2	95 040	12 000	167 874	-84 834
T3	110 160	20 000	167 874	-77 714
T4	179 520	21 250	167 874	-9 604
T5	192 000	33 750	167 874	-9 624
T6	272 400	33 250	167 874	71 276
T7	284 880	45 750	167 874	71 256
T8	335 520	41 250	167 874	126 396
T9	409 200	53 750	167 874	187 576
T10	329 520	54 000	123 107	152 413
T11	355 920	71 000	123 107	161 813
T12	360 720	74 000	123 107	163 613

T1 (aucune fertilisation), T2 (96 g de fumier), T3 (160 g de fumier), T4 (2 g de NPK + 1 g d'urée), T5 (4 g de NPK + 1 g d'urée), T6 (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), T7 (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée), T8 (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), T9 (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), T10 (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), T11 (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée), T12 (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée)

CHAPITRE IV : DISCUSSION

4.1 Caractéristiques chimiques du sol

D'une manière générale, la moyenne du pH pour les 12 traitements est de 7,43. Ce pH est légèrement alcalin et favorable donc au développement des micro-organismes comme les bactéries qui décomposent la matière organique (OUEDRAOGO, 2004 ; SOLTNER, 2003). Ce pH est également favorable à la culture du maïs (LAMBONI, 2003). Les résultats de l'analyse de sol ont montré que ce site expérimental où l'essai a été implanté est très pauvre en matière organique, en azote, en potassium et en phosphore. D'une manière générale, le sol du site expérimental est pauvre également en éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes. En somme, ces conditions initiales sont peu favorables à la production agricole, surtout à la culture du maïs qui est très exigeante en fertilisants. Nous avons donc là, une situation idéale pour tester différentes options de fertilisation.

4.2 Détermination de la macrofaune

La macrofaune identifiée est très faible malgré que la détermination ait été effectuée 60 jours après semis comparativement à ce qui a été prévu au début c'est à dire 30 jours après semis. Cela se confirme par la faible richesse taxonomique et le faible indice de diversité spécifique de Shannon. D'après ZAKARI *et al.* (2013), lorsque l'indice de Shannon est faible, le milieu est considéré comme pauvre en espèces, par contre, si cet indice est élevé, il implique que le milieu est très peuplé en espèces ou favorable au développement des espèces. Nos résultats obtenus sont inférieurs à ceux de BIKAY BI (2005). L'indice de Shannon obtenu par ce dernier varie entre 2,92 et 3,37 avec une richesse taxonomique allant de 29 à 40. La faible macrofaune obtenue au niveau des blocs serait dû probablement au labour effectué avant la mise en place de l'essai. D'après BOLI (1996), le non-labour permet de préserver la densité de la faune du sol en limitant la perturbation de l'habitat et les risques d'exposition des organismes au soleil et aux prédateurs. GOIAS (2003, cité par SARDA, 2004), a aussi mis en évidence l'influence positive de la couverture et du non travail du sol sur la biodiversité et l'abondance de la faune sur des telles parcelles. L'indice d'équitabilité obtenu à l'issue de notre étude est important en tenant compte des résultats des travaux de GANABA (2008). D'après ses résultats, un indice d'équitabilité inférieur à 0,60% caractérise un environnement perturbé ; il est d'autant plus élevé qu'un grand nombre d'espèces participe au recouvrement. Nos résultats obtenus sont supérieurs à ceux de BIKAY BI (2005) qui a obtenu des indices d'équitabilité variant entre 0,63 et 0,55. Nos résultats nous montrent qu'il y a un équilibre des espèces présentes dans presque tous les blocs fouillés.

Parmi la macrofaune identifiée, les vers de terre et les termites viennent en deuxième position après les fourmis. D'après BACHELIER (1978), ces deux (02) groupes jouent un rôle majeur dans la porosité et la structure du sol. MANDO *et al.*, 1996, SAVADOGO *et al.*, 2007 ont aussi affirmé que la macrofaune du sol (surtout des termites et vers de terre) améliore les propriétés physiques du sol et contribue considérablement à l'augmentation de l'infiltration dans les écosystèmes semi-arides.

4.3 Effets du facteur étudié sur les paramètres observés

D'une manière générale, les résultats des analyses de variance ont montré de différence significative sur quelques paramètres agronomiques.

4.3.1 Hauteur des plants au 30^e, 60^e JAL et à la récolte

Au stade 30^e JAL, l'apport d'engrais sous différentes formes n'a pas eu d'effet sur la croissance des plants. Cependant, l'effet sur la croissance des plants commence à être significatif au stade 60^e JAL pour les traitements **T8** (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), **T11** (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée) et **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), et se poursuit jusqu'à la récolte pour les traitements **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée) et **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée). Selon FAO (1997), les matières organiques, tout comme les engrais minéraux, fournissent beaucoup d'éléments nutritifs à la plante permettant ainsi le développement de la plante à un certain stade. BADO *et al.*, (1994) ont aussi montré que l'apport combiné d'engrais et de fumier provoquerait un grand développement des cultures et en particulier de leur système racinaire. Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par SY (2010), mais sont légèrement supérieurs à ceux de TAHIR (2013).

4.3.2 Dates d'apparition de 50% des floraisons mâle et femelle

Les dates d'apparition des inflorescences mâles et femelles du maïs constituent un caractère lié beaucoup plus au génotype. La comparaison des traitements entre eux montrent que la plupart des parcelles fertilisées ont induit des inflorescences mâles comme femelles un peu plus précoces que la parcelle non fertilisée (témoin). TAHIR (2013), dans les mêmes conditions pédoclimatiques, a observé les inflorescences mâle et femelle à 56 et 61 jours respectivement alors que les nôtres ont été observés à 50 et 55 jours. Cette différence est probablement liée à la date de semis. En effet, en 2013, l'essai a été mis en place le 1^{er} juin alors que cette année il a été implanté le 17 juillet. Selon VILAIN (1989), les semis tardifs

altèrent la durée de végétation et réduisent le rendement des cultures. Pour la même variété mais dans des conditions pédoclimatiques différentes, SY (2010) a observé les inflorescences mâles au bout de 51 jours, pour les inflorescences mâles et les inflorescences femelles une semaine plus tard (58 jours).

Il faut toutefois signaler qu'il y a eu des cas d'hermaphrodisme (apparition de l'épi femelle sur l'inflorescence mâle), qui sont liés au mildiou, une maladie grave provoquée par des champignons qui se développent à l'intérieur des plantes (TAHIR, 2013). Cette maladie est due à *Phytophthora* qui survit sous la forme d'oospores dans le sol ou dans les tissus infectés. Dans les sols saturés, ces oospores germent et libèrent des zoospores qui peuvent se déplacer avec l'infiltration d'eau dans le sol. Ensuite, ils peuvent atteindre les jeunes racines et se propager au plant entier. Ensuite, ils peuvent atteindre les jeunes racines et se propager au plant entier. En plus, ils peuvent montrer des symptômes de croissance incontrôlée, qui fait que l'épi ne sort pas à l'aisselle des feuilles, mais sur l'organe mâle. L'épi femelle rétrograde alors les graines et peut gêner les plantes et, par la suite, diminuer les rendements.

CIBA-GEIGY (1979, cité par TAHIR, 2013), a également observé qu'avec des symptômes frappants (prolifération, développement massif et désordonné de la partie feuillue des organes reproducteurs, panicule et épi), les inflorescences mâles et femelles deviennent buissonnantes. Selon CHASTRUSSE (2013, cité par TAHIR, 2013), les plantes touchées sont stériles.

Au cours de l'expérimentation, des dégâts de certains ravageurs ont aussi été observés sur les plants. C'est ainsi qu'en début de stade d'inflorescence mâle, nous avons observé de groupements de pucerons verts (*Aphidoidea*) qui colonisent toutes les fleurs mâles. LUCAS (2013, cité par TAHIR, 2013) et ALLEMAN (2012) ont confirmé que ces types de pucerons des espèces *Rhopalosiphum padi* sont des colonies susceptibles de se développer sur les dernières feuilles au sommet de la plante, et provoquant ainsi des dégâts sur les inflorescences mâles. Ces mêmes dégâts ont été observés l'année dernière lors de l'expérimentation réalisée par TAHIR (2013). En effet, le développement massif de ces populations de pucerons dans la période qui précède la floraison fait courir un risque très grave à la culture. C'est ainsi qu'une perte de rendement peut être enregistrée par l'absence de fécondation liée au recouvrement des soies par le miellat.

4.3.3 Diamètre des tiges au collet

Il ressort de l'analyse du tableau IX que la microdose organique ou minérale seule n'agit pas considérablement sur les diamètres des tiges des plants comparativement à la microdose organique et minérale. Mais autrement, la microdose minérale agit mieux sur les diamètres

des tiges des plants que la microdose organique. Compte tenu de la vigueur des tiges des plants, nous pouvons hiérarchiser ces traitements de la manière suivante : **T12>T11>T9>T10>T8>T7>T6>T5>T4>T3>T2>T1.**

L'effet combiné de la fumure organique et minérale à forte dose agit non seulement sur la croissance des plants mais aussi sur la vigueur des tiges et de ce fait sur le rendement en paille (KABRAH *et al.*, 1996). C'est ainsi que les tiges les plus grosses ont été obtenues avec les traitements **T12** (10t/ha de fumier + 100kg/ha + 50kg/ha d'urée), **T11** (5t/ha de fumier + 150kg/ha + 75kg/ha d'urée), **T9** (160g de fumier par poquet + 4g par poquet + 1g d'urée par poquet), et **T10** (5t/ha de fumier + 100kg/ha + 50kg/ha d'urée) contrairement au traitement témoin sans fertilisation. SY (2010) a aussi confirmé dans ses travaux, l'effet positif de la fertilisation combinée (organique et minérale) sur les diamètres des tiges des plants et donc sur le rendement paille du maïs contrairement à la fertilisation minérale ou organique.

4.3.4 Hauteur d'insertion des épis

L'application des doses de fumure organique avec ou sans engrais minéraux n'a pas induit d'effets sur la hauteur d'insertion des épis. Dans le cadre de cette étude, les hauteurs d'insertion des épis se situent entre 33,15 et 42 cm. SY (2010), pour la même variété maïs dans des conditions pédoclimatiques différentes a obtenu des hauteurs d'insertion se situant entre 39 et 59 cm, les plants étaient beaucoup exposés à la verse. Ce qui n'est pas le cas pour les plants obtenus dans les différents traitements de l'essai.

4.3.5 Effets des traitements sur le rendement en paille et en grains

L'analyse de la variance a révélé que l'apport combiné de la fumure organique et de l'engrais a un effet très positif sur les rendements grain et paille comparativement à l'apport seul soit de la fumure organique ou de l'engrais minéral. C'est ainsi que nous avons observé quatre (04) groupes homogènes composés comme suit : le groupe constitué uniquement de l'apport organique (T2, T3), le groupe constitué de l'apport minéral (T4, T5), le groupe microdose organo-minérale (T6, T7, T8, T9), et enfin le groupe apport combiné classique de la fumure organique et minérale (T10, T11, T12).

Pour le groupe homogène de la microdose organique (T2 et T3), l'apport de 160 g de fumier en T3 améliore mieux les rendements grain et paille que l'apport de 96 g ; pour le groupe de la microdose minérale (T4, T5), l'apport 4 g de NPK est mieux que les 2 g de NPK apportés en tenant compte des surplus des rendements. Nous avons ainsi constaté que plus la microdose organique ou minérale est importante, plus les rendements paille et grain sont élevés. Ce qui induit directement un effet positif sur les rendements des traitements (T6, T7,

T8 et T9) de la microdose organo-minérale. Ainsi donc, les suppléments des rendements grain et paille induits par les différents traitements de la microdose organo-minérale nous a permis de hiérarchiser ces traitements dans l'ordre suivant : **T9>T8>T7>T6**. Pour le groupe classique, le traitement T12 est mieux que les deux autres traitements T11 et T10. Nous avons eu donc **T12>T11>T10**.

D'une manière générale, en tenant compte des surplus des rendements (grain et paille) induits par les différents traitements par rapport au témoin non fertilisé, nous pouvons ainsi classer ces traitements de la façon suivante : **T9>T12>T8>T11>T10>T7>T6>T5>T4>T3>T2>T1**. Ainsi donc, à partir de ce classement, nous pouvons proposer les 5 premières options de fertilisation (T9, T12, 86, T11, et T10), mais d'autres études doivent être effectuées pour confirmer ces résultats.

De l'analyse du tableau X, il ressort que l'application combinée de la fumure organique et minérale sur les traitements **T4** (96 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), **T5** (96 g de fumier par poquet + 4 g de NPK + 1 g d'urée), **T8** (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), **T10** (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), **T11** (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée) et **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée) a influencé positivement sur le rendement du maïs en grain et en paille. Ceci s'explique sans doute par le rôle et la fonction de la matière organique (PICHOT *et al.* 1981 ; PIERI, 1986 ; LOMPO, 1993 ; SEDOGO, 1981 et DAKOUO, 1994) dont le processus de minéralisation a été stimulé par l'apport de l'engrais minéral, en particulier de l'azote (NACRO, 1997). En effet, la matière organique est une source d'éléments minéraux assimilables par les plantes après sa minéralisation. Elle joue un rôle fondamental pour la nutrition azotée et la rétention de l'eau du sol (PIERI, 1989 et WENNINK, 1998).

Du tableau X, il ressort aussi que l'apport seul des doses minérales ou organiques n'a pas permis d'avoir les meilleurs rendements en grain et en paille. YARO *et al.*, (1997), BADO *et al.* (1991), UYOVBISERE *et al.* (1999), expliquent que si les engrais minéraux sont appliqués seuls, les divers éléments sont facilement lessivables et deviennent indisponibles pour la plante. L'apport combiné de la matière organique et des engrais minéraux permet de réduire ces pertes et d'augmenter l'efficacité des engrais azotés. Selon aussi AWONO *et al.*, (2003), BADO *et al.*, (1997), l'apport d'engrais minéraux sans la présence d'un minimum de fumure organique dans le sol limite la production du maïs. De nombreux auteurs ont signalé cet effet bénéfique du fumier sur l'efficacité des engrais minéraux et la productivité des sols en Afrique (SEDOGO, 1981 ; PIERI, 1989).

Les faibles rendements au cours de cette expérimentation ont été obtenus par les traitements **T2** (96 g de fumier) et **T3** (160 g de fumier), ceux ayant reçus uniquement la fumure organique à part le traitement témoin. On peut donc penser que la minéralisation de la matière organique n'a pas été totale, et que l'effet de cette matière organique se fera certainement sentir à long terme, comme l'on montré certains auteurs (PIERI, 1989).

Pour KABRAH *et al.* (1996), l'utilisation concomitante de matière organique et des engrais minéraux favorise l'alimentation hydrique et la nutrition minérale du maïs. En effet, pour les traitements ayant reçu du fumier, l'alimentation hydrique de la plante est favorisée le long du cycle végétatif par la matière organique qui maintient le stock en eau du sol dans le domaine de la réserve facilement utilisable (YARO *et al.*, 1997). SEDOGO (1981) estime aussi qu'en présence de substrats organiques surtout à C/N faibles comme le fumier, l'apport d'engrais azotés permet d'augmenter la production de matière sèche et la nutrition azotée de la culture.

Nos rendements en grain et en paille obtenus avec quelques traitements tels que **T1** (aucune fertilisation), **T3** (160 g de fumier), **T10** (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée) et **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée) sont inférieurs à ceux obtenus par TAHIR (2013) pour ces mêmes doses d'apport dans les mêmes conditions pédoclimatiques et la même variété. Pour ces mêmes traitements, TAHIR (2013) a obtenu respectivement 1 520 kg/ha (grain) et 2 000 kg/ha (paille) pour **T1**, 2 100 kg/ha (grain) et 2 087 kg/ha (paille) pour **T3**, 3 080 kg/ha (grain) et 4 070 kg/ha (paille) pour **T10**, 3 350 kg/ha (grain) et 6 330 kg/ha (paille) pour **T12**. La baisse de ces rendements peut s'expliquer par le retard accusé sur la date de semis et à la mauvaise pluviosité. La date de semis est un élément déterminant pour la production des cultures. VILAIN (1989) a révélé que le semis tardifs altère non seulement la végétation mais réduit aussi le rendement. Le semis tardif peut être bénéfique s'il a été réalisé dans des bonnes conditions hydriques.

Durant la campagne, nous avons enregistré quelques poches de sécheresse pendant la période de formation des épis jusqu'à la récolte et des attaques notoires de criquet qui ont fait des dégâts sur les feuilles. Ce qui a engendré le séchage de certains plants et la perte de la biomasse foliaire (Annexes 5 et 6). Selon CIMMYT (1991), lorsqu'un stress hydrique survient à la période critique (20 jours avant la floraison et 10 jours après), les pertes de rendement peuvent atteindre 60%. On estime que durant cette période la plante absorbe 45% des besoins en eau. PINDARD (2000), dans ses études a montré qu'un stress hydrique encadrant la floraison induit une diminution de la matière sèche totale de l'épi et de ce fait une baisse de la production.

4.4 Rentabilité économique de la microdose

La rentabilité de tout facteur de production dépend du coût de l'investissement et du gain du revenu. Le coût du facteur et le surplus du rendement dû aux facteurs sont tous deux soumis aux fluctuations des prix du marché (BADO *et al.*, 1997).

4.4.1 Coût de la main d'œuvre

La technologie de microdose est une activité qui requiert une main d'œuvre assez importante pour sa réalisation à grande échelle. Le besoin de main d'œuvre devient de ce fait crucial. Le temps de travail mis pour l'effectuer est plus important que pour la pratique paysanne ; il en est donc évidemment de même pour le coût de la main d'œuvre. L'importance de la main d'œuvre nécessaire pour sa réalisation, et les coûts y relatifs, sont les principales contraintes de la mise à l'échelle de la technique de la microdose. La recherche travaille activement à la mécanisation de cette technique. Les premiers résultats obtenus au Burkina Faso et au Mali sont concluants, mais demandent à être rapidement vulgarisés à grande échelle.

4.4.2 Ratio valeur sur coût (RVC)

Selon SOKPOH (1997), la valeur minimale du RVC relatif à l'utilisation des engrais minéraux en Afrique souvent utilisée par la FAO comme indicateur de rentabilité est 2. Cette valeur est le seuil en dessous duquel, le revenu brut de l'utilisation de l'engrais n'est plus suffisant pour couvrir les coûts d'achat de l'engrais et les autres coûts afférant à son utilisation (AGATE, 1999). En termes d'analyse économique basée sur le RVC, nos résultats montrent que les RVC de tous les traitements excepté le témoin (aucune fertilisation) sont supérieures à 2 ; ils sont donc tous économiquement rentables. Le traitement **T8** (2 g de NPK + 1 g d'urée) a été très rentable avec un RVC de 8,45 car un franc investi dans l'achat et l'utilisation des engrais rapporte 8,45 francs CFA. Cela signifie que les bénéfices nets obtenus grâce à ces traitements permettent de couvrir les coûts de la fertilisation.

Parmi les 5 différentes options de fertilisation retenues **T8** (160 g de fumier + 2 g de NPK + 1 g d'urée), **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée), **T10** (5 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), **T11** (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée) et **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée), les traitements T8 et T9 ont les meilleurs RVC. Ils sont donc plus économiquement rentables que les traitements T10, T11 et T12, malgré qu'ils aient engendré des bons rendements. C'est pourquoi nous avons constaté qu'il existe une corrélation positive moins étroite entre les doses appliquées et la rentabilité de leur emploi. En effet, les fortes doses des engrais minéraux bien qu'augmentant le rendement, réduisent cependant leur rentabilité. Ainsi donc, les traitements **T11** (5 t/ha de

fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée) et **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée) ont été les moins rentables.

4.4.3 Revenu monétaire

En termes de revenu monétaire, le traitement **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée) a été le plus bénéfique que les autres traitements avec un bénéfice net de **187 576** francs CFA. Les traitements dont les apports d'engrais seuls (minéral ou organique) ont été les moins bénéfiques, engendrant même une perte. Comparativement à la pratique paysanne, la microdose combinée (organique et minérale) avec le traitement **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée) a dégagé un revenu plus important que les traitements **T12** (10 t/ha de fumier + 100 kg/ha de NPK + 50 kg/ha d'urée) et **T11** (5 t/ha de fumier + 150 kg/ha de NPK + 75 kg/ha d'urée) de la pratique paysanne. Les traitements **T12** et **T11** ont généré respectivement un revenu de **163 613** et **161 813** francs CFA, et un bénéfice net respectif de **23 963** et **25 763** francs.

Au regard de ces résultats, la technologie de microdose combinée est rentable par rapport à la pratique paysanne malgré qu'elle requiert une main d'œuvre conséquente.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La présente étude menée à la Station Agronomique de Bébédjia en zone soudanienne du Tchad sur la microdose, est une innovation Tchad. Elle avait pour objectif de tester l'efficacité agronomique et économique de la microdose.

Pour améliorer la production du maïs au Tchad, notre étude a essayé de combiner plusieurs doses d'engrais minéraux et organiques afin d'obtenir une dose optimale permettant d'accroître les rendements du maïs. Pour mieux comprendre cet effet, nous nous sommes basés sur l'évaluation des composantes de rendement. Les résultats obtenus ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- le traitement **T9** (160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée) dont l'apport a été fait en microdose a présenté les meilleurs rendements en grain et en paille et le meilleur revenu monétaire ;
- l'utilisation d'engrais NPK et d'urée produit des rendements intermédiaires ;
- l'apport de fumure organique seul a donné des faibles rendements ;
- l'apport combiné de la fumure organique et de l'engrais engendre un revenu monétaire bénéfique pour les producteurs contrairement à l'apport seul de la fumure organique ou minérale qui a engendré une perte ;
- le coût de la main d'œuvre utilisée en microdose est supérieur à celui de la pratique paysanne ;
- les traitements engendrant des revenus monétaires intéressants pour les producteurs n'ont pas toujours les meilleurs RVC.

Au stade actuel, nous pouvons donc recommander comme option de fertilisation la microdose consistant en une combinaison "160 g de fumier + 4 g de NPK + 1 g d'urée". Elle permet en effet d'une part, d'augmenter de façon nette les rendements du maïs. D'autre part, son ratio valeur sur coût, qui indique si le revenu brut de l'utilisation de l'engrais est suffisant pour couvrir les coûts d'achat de l'engrais et les autres coûts afférents à son utilisation, est trois fois supérieure à la valeur seuil utilisée par la FAO. Sur le plan économique, c'est donc aussi une opportunité pour le producteur.

Toutefois, la microdose est une technique nouvelle très peu étudiée dans la recherche agricole au Tchad. Elle nécessite d'éventuels approfondissements. Pour cela, nous recommandons de :

- reconduire l'essai sur une période de 3 à 4 ans afin de dégager une meilleure tendance des résultats ;

- conduire une étude sur plusieurs années afin de déterminer la combinaison des doses appropriées et le moment idéal d'application en lien avec la variabilité et le changement climatique ;
- accorder plus de temps pour une telle étude afin de parvenir à l'analyse des paramètres chimiques du sol après la récolte pour avoir une idée claire sur l'impact de cette technologie sur la fertilité du sol.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACF** (Action Contre la Faim), **2013**. *Agriculture à faible niveau d'intrants*, Manuel Pratique, ACF International, 99 p.
- AFD** (Agence Française de Développement), **2011**. *Les cultures vivrières pluviales en Afrique de l'Ouest et du Centre : Eléments d'analyse et propositions pour l'action*. Rapport AFD-CIRAD-FIDA, 195 p.
- AFNOR**, **1999**. *Détermination du pH*. (Association Française de Normalisation) NF ISO 103 90, AFNOR Qualité des sols, Paris, pp. 339-348.
- AGATE, A. A.**, **1999**. *Effet d'une fertilisation azotée et phosphatée sur la production d'une « association maïs-mucuna »*. Mémoire d'Ingénieur Agronome, UB-ESA, Lomé, 75 p.
- AWONO J. P. M, BOUKONG.A, MAINAM.F, YOMBO. G, TCHOUTANG. G. N, DJONKO H. B.**, **2003**. *Fertilisation des sols dans les monts Mandara à l'Extrême-Nord du Cameroun*. Université de Dschang/IRAD. Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun, pp 25-28.
- ANDERSON, J.R.**, **1992**. *Difficulties in Africa agricultural systems enhancement : ten hypotheses*. *Agricultural System* 38: 387-409.
- ARSIKE A.**, **2001**. *Evaluation de la réaction du maïs à différents systèmes de fertilisation organo-minérale, dans les conditions édaphiques de Samanko*. Mémoire de fin de cycle, IPR/IFRA de Katibougou, Mali, 41 p et annexes.
- BACHELIER, G.**, **1978**. *La faune des sols, son écologie et son action*. ORSTOM, Paris, 658 p.
- BADO, B. V., SEDOGO, M. P., CESCAS, M. P., LOMPO, F. et BATIONO, A.**, **1997**. *Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso*. *Cahiers Agricultures*. Vol. 6 (6) : 571-575.
- BANDOUM Y. P.**, **2005** : *Effet de la fertilisation par microdose sur la productivité du mil, les bilans des nutriments et de l'eau du sol au Niger*. Mémoire de fin d'études, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 55 p + annexes.
- BATIONO A. et MOKWUNYE A. U.**, **1991**. *Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production with special reference to the Sahelian and Sudanian zone of West Africa*. Kluwer Academie Publishers, 217-225.
- BATIONO A., KOALA, S. et AYUK, É.**, **1998**. *Fertilité des sols pour la production céréalière en zone sahélo-soudanienne et valorisation des phosphates naturels*. *Cahiers Agricultures* Vol 7, N° 5 : 365-371.

- BERTRAND R. et GIGOU J., 2000.** *La fertilité des sols tropicaux.* Le Technicien d'Agriculture Tropicale. Maisonneuve et Larose 15, rue Victor Crusin F75005 PARIS, 295 p.
- BIKAY BI B. S. B., 2005 :** *Inventaire de la macrofaune en culture cotonnière sous quatre modes de gestion des sols : Cas de Windé Pintchoumba (Nord) et Zouana (Extrême –Nord).* Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome. Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Université de Dschang, Ngaoundéré, Cameroun, 71 p + annexes.
- BOLI B. Z., 1996.** *Fonctionnement des sols sableux et optimisation des pratiques, culturelles en zone soudanienne humide du Nord-Cameroun.* Thèse de doctorat en sciences de la terre. ORSTOM, Montpellier, 264 p.
- BRANDJES, P., VAN DONGEN, P. et VAN DER VEER, A. 1989.** *Engrais verts et autres formes d'amélioration du sol dans les pays tropicaux.* CTA, Wageningen, Pays Bas, 52 p.
- BRICAS N., THIRION M. C. et B. ZOUNGRANA B., 2009.** *Bassins de production et de consommation des cultures vivrières en Afrique de l'Ouest et du Centre – Rapport provisoire,* AFD, CIRAD, IFAD. 75 p.
- CHAISTRUSSE A., 2013.** *Réseau de surveillance biologique du territoire.* Pays de la Loire. BSV. Grande culture-N° 27 du 27 aout 2013 : 3-10.
- CIBA-GEIGY, 1979.** *Maïs, monographie technique d'agriculture résumé en français.* Société Française du livre, paris-1976 CIBA-GEIGY Ltd., Basle, Switzerland, printed in Switzerland, 19 p.
- CIMMYT, 1991.** *CIMMYT 1989/1990, réalités et tendances : potentiel maïsicole de l'Afrique Subsaharienne,* Mexico, Mexique, 71 p.
- DAKOUO D., 1994.** *Les carences en potassium sur le cotonnier (Gossypium hirsutum L.) dans les systèmes de culture : cas de la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso.* Thèse de doctorat en sciences agronomiques (nutrition des plantes). Université de Nationale de Côte d'Ivoire, 141 p + annexes.
- DECAËNS T., JIMENEZ J. J., BARROS E., CHAUVEL A., BLANCHART E., FRAGOSO C. et LAVELLE P., 2004 :** *Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna.* Agriculture Ecosystems & Environment 103, 301-312.
- DELVILLE L. P., 1996.** *Gérer la fertilité des terres dans les pays du sahel : Diagnostic et conseil aux paysans.* Collection « le point sur », GRET - Ministère de la Coopération - CTA, 397 p.

- DIALLO L., 2002.** *Effet de l'engrais azoté et du fumier sur le rendement du maïs.* Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, Option Agronomie. Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut de Développement Rural, Burkina Faso, 58 p.
- DJONDANG K., 2007.** *L'émergence du maïs en zone cotonnière du Tchad.* Rapport d'enquête, ITRAD, 54 p.
- DOAMBA W. S. M. F., 2007.** *Effet du zaï forestier sur l'évolution de la biodiversité et des paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol.* Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 111 p.
- DPSA (Direction de la Production et de Statistique Agricoles), 2014.** *Données de la campagne agricole 2013-2014.* Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation.
- DUGUE, P., 1993.** *La gestion de la fertilité et l'utilisation des ressources naturelles dans les systèmes agropastoraux soudano-sahéliens.* Quelques éléments de réflexion à partir des situations du Yatenga (Burkina Faso) et du Sine Saloum (Sénégal). Communication présentée à la journée AGR (Gestion de la fertilité) du 20 Janvier 1993. CIRAD-SAR No 26/93, 15 p.
- DUTHION C., 1982.** *Effets d'une courte période d'excès d'eau sur la croissance et la production du maïs.* Agronomie : sciences des productions végétales et de l'environnement. Agronomie 2 (2), 125-132.
- EGGLETON, P., FOLGARAIT, P., TONDOH, J., 2000.** *Taxonomy in the IBOY-Macrofauna project: Report of an international workshop held at Bondy (France), 19-23 June 2000.* IRD Bondy (France), pp18-23.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), 1987.** *Guide sur les engrais et la nutrition des plantes.* Bulletin FAO, Engrais et nutrition végétale, 190 p.
- FAO, 1993.** *Le maïs dans la nutrition humaine : Acknolegment, Préface, Introduction,* Rome. Document FAO disponible sur : <http://www.fao.org/docrep/T395F/T395F01.htm>
- FAO, 2003.** *Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne.* Rome 2003, 51 p.
- FAO, 2012a :** *La fertilisation localisée au semis des cultures ou microdose.* Fiche d'information, Niger, 4 p.
- FAO, 2012b :** *Catalogue d'espèces et variétés des cultures vivrières d'intérêt communautaire dans l'espace CEMAC.* Rome 2012, PRASAC, CEMAC, 11 p.
- FERTIAL (Société de Fertilisation d'Algérie), 2012.** *Manuel d'utilisation d'engrais.* Grandes cultures, arboriculture, cultures maraîchères et industrielles. IFC, 200 pages.
- GALINAT W. C., 1979.** *Botanique et origine du maïs.* Monographie technique, pp 6-12.

- GANABA S., 2008.** *Caractérisation, utilisations, tests de restauration et gestion de la végétation ligneuse au Sahel, Burkina Faso.* Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Spécialité : Biologie et Ecologie Végétales, Université Cheikh Anta Diop, 316 p.
- GOBAT, J.M., ARAGNO, M. et MATHEY, W., 1998.** *Le sol vivant : bases de pédologie et biologie des sols.* Col. Gérer l'environnement. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 523 p.
- GROS, A. 1979.** *Engrais : Guide pratique de la fertilisation,* La maison rustique, Paris, 7^e édition, 542 p.
- HÄBERLI, R, LÜSCHER, C., PRAPLAN-CHASTENAY, B., 1991.** *L'affaire SOL : pour une politique raisonnée de l'utilisation des sols.* Ed. Georg, Genève, 265 p
- HILLEBRAND W.F., LUNDELL G. E. F, BRIGHT H. A and HOFFMAN J. I., 1953.** *Applied inorganic analysis.* 2nd ed. John Wiled and Sons, Inc., New York, USA, 1034 p.
- KABRAH Y., YAO N. R, DEA G. B. et COULOUUD J. Y., 1996.** *Effet de l'apport d'engrais et de matière organique sur le rendement en grains chez le maïs.* Cahiers Agricultures. 5 : 189-193.
- LAMBONI. D., 2003.** *Approche participative et utilisation du logiciel QUEFT pour la gestion de la fertilité des sols.* Mémoire d'Ingénieur agronome, Université de Lomé (Togo), 78 p.
- LOMPO F., 1993.** *Contribution à la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso : Etude des effets de l'interaction phosphate naturel matière organique.* Thèse de Docteur Ingénieur. Université nationale de Côte d'Ivoire, 247 p.
- MAGURRAN A. E. 2006.** *Measuring biological diversity.* Molden: Blackwell Publishing, 256 p.
- MALIKI R., BERNARD M. et PADONOU E., 1997.** *Etude des effets combinés de NPK et trois différents types de mulch d'origine végétale sur la production du maïs au Parakou, Bénin.* Perspectives, 12-16.
- MANDO A., STROOSNIJDER, L., BRUSSAARD, L., 1996.** *Effects of termites on infiltration into crusted soil.* Geoderma, 74 : 107–113.
- MARTY P., 1992.** *Le maïs.* Fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage de l'enseignement agricole d'Afrique subsaharienne. Série 1, Agridoc, 25 p.
- MOULE C., 1980.** *Céréales.* Paris, France, la maison rustique, Vol. 1. 318 p.
- NACRO H. B., 1997.** *Hétérogénéité de la matière organique dans un sol de savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire) : caractérisation chimique et étude, in vitro, des activités microbiennes*

de minéralisation du carbone et de l'azote. Thèse de Doctorat, Spécialité Ecologie. Université de Pierre et Marie curie - Paris VI, 302 p + annexes.

NAITORMBAIDE M., 2012. *Incidence des modes de gestion des fumures et des résidus de récolte sur la productivité des sols dans les savanes du Tchad*. Thèse du Doctorat unique en Développement Rural, Option Systèmes de Production végétale, Spécialité Sciences du sol, Université Polytechnique de Bobo-dioulasso, Institut du Développement Rural, Burkina Faso, pp 1-2, 17-19, 26 et 35-37.

OUEDRAOGO K, 2004. *Soil quality improvement for crop in semi-arid West Africa*. PHD Thesis, University and research Centre, Wageningen, The Netherland. 193 p.

PICHOT, J., SEDOGO, M. P., POULAIN, J. F., et ARRIVETS, J., 1981. *Évolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence des fumures minérales et organiques*. Agronomie Tropicale N° 36 : 122-133.

PIERI, C., 1989. *Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara : Fertilité des terres de savane*. Ministère de la Coopération/CIRAD, Paris, 444 p.

PINDARD A., 2000. *La relation stress hydrique - rendement du maïs en Bresse : quelles perspectives de spatialisation ?* Utilisation d'un simulateur de culture (STICS). Mémoire d'Ingénieur d'Agronomie. ENESAD/CNERTA, 85 p.

ROBELIN, M., 1983. *Fonctionnement hydrique et adaptation à la sécheresse*. Colloque Physiologie du maïs, Royan 15-17 Mars 1983, INRA Paris, 15 p.

ROMAIN H R., 2001. *Agriculture en Afrique Tropicale*. Direction générale de la Coopération Internationale, Ministères des Affaires Etrangères, du Commerce Extérieur et de la Coopération Internationale, Bruxelles, Belgique, pp 43-68.

ROOSE E., 1994. *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Bulletin pédologique de la FAO n°70 : 14-17.

ROUANET G., 1984. *Le maïs*. ACCT Paris, France, Ed Maisonneuve et Larose, 142 p.

SAGNA. M.A, MARCHAL D., 1992 : *Fertilisation*. Cours n°51. Centre d'Appui pour le Recyclage des Agents techniques. Bureau de Pédologie & Programme Engrais FAO du Sénégal, 92 p

SAMA O., 2003. *Bébédjia, d'une zone de cohabitation pacifique à un espace disputé au sud du Tchad*. Mémoire de Maîtrise, Université de Ngaoundéré, Cameroun, 118 p.

SARDA X., 2004. *Effet du semis direct sur la macrofaune des sols tropicaux des Cerrados brésiliens*. Mémoire d'ingénieur, ISTOM, Montpellier. 176 p.

- SAVADOGO P., LOUIS S., DANIEL T., 2007.** *Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso.* *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118: 80-92
- SEBILLOTE M., 1982.** *Fertilité, potentialités, aptitudes culturales. Signification actuelle pour l'agronomie* in *Fertilité du Milieu et Agriculture.* Bull. Tech. Inf., 370-372 n° spécial, pp 345-353.
- SEDOGO P. M., 1981.** *Contribution à la réalisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride : matière organique du sol et nutrition azotée des cultures.* Thèse de docteur-ingénieur. Université de Nancy 1 (INPL), 195 p.
- SEDOGP P. M., 1993.** *Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité.* Thèse de doctorat, mention Sciences naturelles (Agronomie-écologie- pédologie), Université de Cote d'Ivoire. 330 p.
- SEDOGO P. M., BADO B.V., CESCAS M.P., LOMPO F. et BATIONO A., 1997.** *Effet à long terme des fumures sur les sols et les rendements du maïs au Burkina Faso.* *Cahier Agriculture*, 6: 571-575.
- SHIFT, M. J., HEAL, W. and ANDERSON, J. M., 1979.** *Decomposition in terrestrial ecosystems.* University of California press, Berkeley, USA. 204 p.
- SMITH J., WEBER G., MANYONG V. M., et FAKORDE M.A.B., 1997.** *Fostering sustainable increases in maize productivity in Nigeria.* Chapter 8 *In Africa's emerging maize revolution*, edited by D. Byerlee, and C.K. Eicher, Lynne Rienner Publishers, London, UK, 97p.
- SOKPOH, G., 1997.** *Impact de la dévaluation du franc CFA sur l'utilisation des engrais minéraux et nouvelles stratégies de fertilisation des sols au Togo.* Mémoire d'Ingénieur Agronome, UBESA, Lomé, 93 p.
- SOLTNER D., 1994.** *Les bases de la production végétale.* Tome 1 : le sol. 20^e édition, Saintes gemmes sur Loire, 467 p.
- SOLTNER D., 2003.** *Les bases de la production végétale. Tome I: Le sol et son amélioration.* Collection Sciences et Techniques Agricoles, 23^e édition, Paris, 472 p.
- SOULEY A. F., 2012.** *Effet des déjections des ovins sur la productivité du maïs à INA dans la commune de Bembereké Département du Borgou.* Mémoire d'Ingénieur Agronome, Option Sciences et Techniques de Production Végétale. Université d'Abomey-calavi (Benin), Faculté des Sciences Agronomiques, 74 p.
- SY M. A., 2010.** *Performances agronomiques du compost à base de fumier de ferme et de résidus de récolte sur le maïs (Zea mays) en zone Soudanienne du Mali.* Mémoire d'Ingénieur

Agronome. Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou (Mali), 79 p.

TABO R., BATIONO A., DIALLO Maimouna K., HASSANE O., KOALA S., 2006. *Fertilizer micro-dosing for the prosperity of small-scale farmers in the Sahel.* Global Theme on Agroecosystems Final report June 2002-December 2004, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

TAHIR D. M., 2013. *Amélioration de la productivité du maïs (Zea mays L.) par un apport optimal de fumure organique et minérale en zone soudanienne du Tchad : Cas de Bébédjia.* Mémoire de fin d'études pour un Mastère, Option : Gestion Durable des Terres, Centre Régional AGRHYMET, 60 p.

TEGUERA F., 2008. *Détermination d'une formule de fumure optimale pour le maïs dans les systèmes de production en zone Soudanienne du Burkina Faso.* Mémoire de fin de cycle, IPR/IFRA de Katibougou, 58 p + annexes.

TÉMÉ B., BREMAN H. et SISSOKO K., 1995. *Intensification agricole au Sahel: Mythe ou réalité?* Rapport de synthèse du colloque international sur l'intensification agricole au Sahel, Bamako (Mali), Déc. 1995, 28 pp.

TRAORE M., 2009. *Contribution de l'urée super granulée dans l'amélioration de la production du riz irrigué sur la plaine de Bagré au Burkina Faso.* Mémoire d'ingénieur, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, Burkina Faso, 64 p.

TRAORE S., 2008. *Impact des termitières épigées sur la régénération et la dynamique des écosystèmes de savanes : cas de la forêt classée de Tiogo, Burkina Faso.* Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 189 p.

UYOVBISSERE E. O., CHUDE V. O. and BATIONO A., 1999. *Promising nutrient ratios infertilizer formulations for optimal performance of maize in the Nigérian savana: The need for a review of current recommendations.* In Strategy for sustainable maize production in west and central Africa. International Institute of tropical Agriculture, 263-271.

VILAIN M., 1989. *La production végétale : La maîtrise technique de la production.* Vol. 12, Technique et Documentation - Lavoisier, 361 p.

WALKLEY A. & BLACK J. A., 1934. *An examination of the Detjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromatic acid titration method.* Soil Science 37: 29-38.

WALLWORK J. A., 1970. Ecology of soil animals. Mc Graw-Hill, London, UK, 513 p.

WENNINK B., 1998. *Production du fumier à bétail en zone soudanienne.* Note synthétique d'information. INRAB/CRAN/R-D, 11 p.

YARO D. T., TWUAFOR E. N. O., CHUDE V. O. and TARFA B. D., 1997. *Use of organique manure and inorganique fertilizer in maize production: A field evaluation.* In strategy for sustainable maize production in west and central Africa, pp 237-239.

ZAKARI A. H., TOUDOU A., ERIC H., GUY M. et FRANCOIS J. V., 2013. *Analyse de la faune entomologique associée à *Jatropha curcas L.* dans la région de Maradi au Sud-Est du Niger.* Entomologie Faunistique –Faunistic Entomology. 10 (66) : 97-107

ZANGRE B. V. C. A., 2000. *Effets combinés du travail du sol et des amendements organiques sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical lessivé dans la région de Saria (zone centre du Burkina Faso).* Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural (IDR), 83p + annexes.

SITES WEB

[http://www/faostat.org](http://www.faostat.org), (consulté le 15 mai 2014)

<http://www.inra.fr/internet/produit/Hyppzl/cultures/3c...025.htm-6k>. Mais, INRAN, 2002 (consulté le 25 juillet 2014)

ANNEXES

Annexe 1 : Superficie (ha) emblavées en céréales en zone soudanienne du Tchad de 1995 à 2014

Année	Mil	Sorgho	Berebéré	Riz	Maïs	Total
1995/1996	174 589	409 465	34 365	59 318	43 593	721 330
1996/1997	160 000	355 906	39 600	62 060	41 570	659 136
1997/1998	140 233	456 979	44 693	86 812	25 564	754 281
1998/1999	154 700	378 300	35 271	75 650	37 970	681 891
1999/2000	151 221	368 379	32 150	88 875	58 993	699 618
2000/2001	164 712	356 572	28 383	84 309	29 272	663 248
2001/2002	187 212	416 217	20 065	83 704	55 008	762 206
2002/2003	180 660	316 300	23 000	93 430	57 060	670 450
2003/2004	217 891	344 341	18 326	99 837	56 114	736 509
2004/2005	212 788	349 726	38 700	86 881	58 013	746 108
2005/2006	246 406	347 618	45 950	96 662	101 498	838 134
2006/2007	243 840	504 979	39 300	92 901	97 731	978 751
2007/2008	241 028	520 936	32 000	66 886	95 905	956 755
2008/2009	296 100	341 570	41 000	82 613	86 975	848 258
2009/2010	201 288	507 872	154 060	111 586	101 632	1 076 438
2010/2011	201 997	549 243	53 400	128 872	99 155	1 032 667
2011/2012	165 814	421 748	62 663	113 461	91 480	855 166
2012/2013	179 474	422 347	88 397	134 121	95 186	919 525
2013/2014	224 176	414 467	79 958	205 193	121 728	1 045 522
Moyenne	197 059	409 630	47 962	97 535	71 287	823 473

Annexe 2 : Rendements (kg/ha) des céréales en zone soudanienne du Tchad de 1996 à 2013

Année	Mil	Sorgho	Berebéré	Riz	Maïs	Total
1995/1996	491	702	1014	1322	688	716
1996/1997	686	663	1088	1567	839	791
1997/1998	560	629	770	1286	628	700
1998/1999	553	669	887	1290	843	732
1999/2000	617	714	804	1694	731	823
2000/2001	490	714	733	990	620	690
2001/2002	586	674	888	1199	671	716
2002/2003	601	703	737	1352	697	766
2003/2004	669	758	804	1060	858	781
2004/2005	700	759	879	957	803	775
2005/2006	705	767	798	1380	843	830
2006/2007	680	814	802	1040	881	808
2007/2008	707	680	1000	1277	941	766
2008/2009	686	720	800	1496	821	798
2009/2010	519	729	768	957	824	728
2010/2011	707	583	560	747	513	620
2011/2012	588	792	642	1346	1075	845
2012/2013	640	797	629	1122	881	806
2013/2014	562	801	1019	1687	1 168	847
Moyenne	618	719	822	1251	807	765

Annexe 3 : Productions (tonnes) de céréales en zone soudanienne du Tchad de 1995 à 2014

Année	Mil	Sorgho	Berebéré	Riz	Maïs	Total
1995/1996	85 699	287 260	34 857	78 444	30 013	516 273
1996/1997	109 818	236 055	43 079	97 240	34 862	521 054
1997/1998	78 553	287 353	34 419	111 605	16 042	527 972
1998/1999	85 556	252 929	31 276	97 575	32 015	499 351
1999/2000	93 337	263 159	25 862	150 522	43 152	576 032
2000/2001	80 632	254 597	20 800	83 449	18 154	457 632
2001/2002	109 760	280 505	17 824	100 389	36 916	545 394
2002/2003	108 632	222 239	16 950	126 275	39 780	513 876
2003/2004	145 692	261 117	14 725	105 873	48 129	575 536
2004/2005	148 994	265 319	34 020	83 122	46 559	578 014
2005/2006	173 666	266 724	36 655	133 380	85 520	695 945
2006/2007	165 880	410 981	31 520	96 614	86 065	791 060
2007/2008	170 386	354 458	32 000	85 439	90 277	732 560
2008/2009	203 111	246 014	32 800	123 588	71 440	676 953
2009/2010	104 416	370 407	118 362	106 840	83 751	783 776
2010/2011	142 789	320 405	29 925,5	96 236	50 859	640 215
2011/2012	97 535	334 149	40 238	152 693	98 326	722 941
2012/2013	114 943	336 555	55 640	150 493	83 825	741 456
2013/2014	125 895	331 993	81 510	346 064	142 246	885 462
Moyenne	123 436	293 801	38 550	122 412	52 404	630 605

Annexe 4 : Données climatiques : températures et pluviométrie du site d'étude**Annexe 4a : Données pluviométriques de Bébédjia de 1996 à 2014**

Année	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Cumul
1996	0	0	0	108	108	89,9	193	294,4	238,8	54,5	0	0	1086,6
1997	0	0	6,5	133	109	154	239	204	115,7	41,4	37,3	0	1039,9
1998	0	0	0	26,9	35,4	125	413	351,3	153,3	68,3	5	0,4	1178,6
1999	0	0	0	36,7	60	134	146	199,5	215,8	224,9	0	0	1016,9
2000	0	0	7,5	0	32,5	96,4	234	273,3	120,1	32	0	0	795,8
2001	0	0	6,6	0,9	108	102	553	381,8	204,4	81,6	0	0	1438,3
2002	0	0	19	23,2	15,9	196	237	266	203,2	50	9,3	0	1019,6
2003	0	0	0	28,4	102	184	293	280,3	124,4	72,6	18,3	0	1103
2004	0	0	0	18	173	181	207	227	134,6	95,3	13,3	0	1049,2
2005	0	0	0	4,4	68,3	156	211	257,4	207,6	45,2	0	0	949,9
2006	0	0	0,2	22	71,9	129	203	456,8	228	45,7	30	0	1186,6
2007	0	0	0	17,3	141	263	215	350,5	216,8	81	2,2	0	1286,8
2008	0	0	16	73,9	116	112	245	510,7	353,8	111,3	0	0	1538,7
2009	0	0,1	0	17,3	100	196	166	332,5	203,5	134	0,2	0	1149,6
2010	0	0	0	17,2	87,5	136	365	402,9	240,5	328	0	0	1577,1
2011	0	1,2	0,3	3,4	84,6	116,3	163,4	518	356	113	0	0	1356,2
2012	0	0	0	34,3	116,1	328,5	412,2	448,3	174,4	83,4	0	0	1597,2
2013	0	0	21,2	56,7	89,2	182,6	533,6	365,6	130	73,7	0	0	1452,6
2014	0	0	0,2	60,8	35,7	43,4	297,5	309,5	146,9	38,8	0	0	932,8

Annexe 4b : Température minimale moyenne enregistrée à la Station de Bébédjia de 1996 à 2014

Année	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
1996	16,7	20,5	23,9	25,9	24,2	22,9	22,5	22,3	22,4	23	19,9	15,6
1997	17,1	17,9	22,8	25,2	23,8	23,3	22,5	22,3	22,4	23	20,5	16,3
1998	17	20,8	23,2	25,7	25,9	21,4	22,1	22,7	22,4	23,4	19,2	15,3
1999	17,3	17,4	22,6	24,9	25,1	24	22,3	22,2	21,8	22	19,5	14,9
2000	16,1	16	22,5	25,2	25,2	23,2	21,2	21,8	21,9	22	18,3	15,4
2001	16,4	23	21,5	25,5	24,4	23,4	21,5	25	22,1	20,9	18,5	17
2002	15,5	19,1	21,3	25,1	24,8	23,2	22,3	21,8	21,9	20,2	18,1	15,5
2003	16,9	20,5	23,6	25,3	23,1	22,5	22,4	22	21,7	21,4	20,9	21,7
2004	17,3	19,2	22,70	25,5	24,1	20,06	21,71	21,76	21,46	21,72	20,86	16,35
2005	16,67	25,17	24,86	22,77	22,43	17,25	22,92	21,85	21,99	21,55	18,59	17,73
2006	17,8	20,2	23	24,9	23,7	23,6	24	21,8	22,5	22,1	18,9	15,4
2007	15,4	20,2	23,5	26	24,3	22,2	22,1	21,6	21,5	21,9	**	**
2008	16,9	18,4	24,1	23,5	24,2	22,9	21,4	21,5	21,7	21,5	17,7	19,5
2009	18,1	20,7	21,8	24	24,7	23	21,7	22,4	22,8	22,7	21,2	18,4
2010	17,3	21,2	24,1	27	24	24	22,7	22,6	22,5	22,1	20,9	17,2
2011	15,88	21,58	22,85	25,62	25,35	24,12	23,26	22,30	21,53	22,77	18,28	16,28
2012	16,82	21,93	23,44	25,34	24,44	22,85	22,42	22,21	22,42	22,59	19,94	17,84
2013	19,40	21,39	24,78	25,49	25,34	24,46	22,61	22,32	22,74	**	**	**
2014	18,27	21,26	24,35	25,50	24,91	24,21	22,83	22,05	22,23	22,35	**	**
Moyenne	16,99	20,34	23,85	24,99	24,15	22,51	22,32	22,24	22,10	22,07	19,45	16,90

Annexe 4c : Température maximale moyenne (°C) enregistrée à la Station de Bébédjia de 1996 à 2014

Année	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
1996	38,1	38,5	41,1	38,2	35,6	33,1	31,6	31,1	31,6	34,7	34,5	35
1997	36,5	35,8	38,9	36,8	34,9	33,2	31,6	32,1	31,6	34,7	35,9	35,1
1998	35,7	38,3	39,8	41,1	38,7	34,4	35,7	30,3	31,4	33,1	35,2	35,1
1999	36,4	38,5	41,3	40,7	37,1	34,9	31,8	30,7	31	31,3	35,8	35,2
2000	35,8	33,4	38,7	40,8	38	33,1	36,5	30,1	32,2	34,3	36,1	34,7
2001	35,2	38,5	41,3	40,1	37,1	34	31,4	30,8	31,6	33,7	36,3	36,4
2002	33,1	38,7	41,2	39,6	40	39,6	32	30,2	31,9	34,4	35,6	35
2003	36,7	40,3	40	40,8	38,6	33,2	32,6	31,3	31,1	33,5	35,6	34,9
2004	35,4	38,59	40,73	41,45	36,65	32,67	31,98	31,44	32,51	34,06	37,29	34,65
2005	43,8	42,75	42,11	41,41	37,02	32,63	31,7	31,3	32,1	34,27	36,05	37,16
2006	38,7	40,8	41,1	41,7	36,5	34,7	32	30,3	31,6	33,5	34,7	34,6
2007	34,9	39,1	41,4	40,7	36,4	**	31,4	30,2	31,6	34,1	36,2	35,5
2008	34	37,4	40,1	37,7	37,6	33,3	31,7	32,1	31,6	34,7	35,5	36,4
2009	37,2	49,1	39,4	39,5	37,3	33,9	33,4	31,9	32,7	33,3	35,5	36,4
2010	36,8	41,7	41,4	43,5	39,7	34,8	32,5	31,4	31,6	35,1	35,8	35,5
2011	34,5	39,63	42,54	42,67	39,29	35,51	33,87	31,25	31,39	33,99	36,71	34,29
2012	30,8	40,42	42,65	41,86	36,90	33,65	31,93	31,19	32,39	34,63	36,72	36,78
2013	37,9	40,84	41,90	40,59	38,63	35,63	32,41	31,65	32,8	37,92	40,84	41,90
2014	37,04	39,64	42,13	39,20	37,38	36,54	32,66	32,13	32,43	**	**	**
Moyenne	36,25	39,58	40,93	40,44	37,55	34,38	32,57	31,13	31,85	33,98	33,86	33,48

Annexe 5 : Cas de sécheresse (Abdellatif, 2014)



Annexe 6 : Attaque des criquets (Abdellatif, 2014)

