



CENTRE REGIONAL AGRHYMET



DEPARTEMENT FORMATION ET RECHERCHE

===**===

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de
MASTERE EN GESTION DURABLE DES TERRES**

Promotion : 2012-2013

Présenté par :

TAHIR Doudja Moussa

**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**

Soutenu le 12 Novembre 2013 devant le jury composé de :

Président : Pr Yadji GUERO, Université ABDOU MOUMOUNI -Niamey.

Membres : Pr Sanoussi ATTA, Centre Régional AGRHYMET

Dr Dan LAMSO Nomaou, Université ABDOU MOUMOUNI -Niamey.

Maître de stage : Dr NAÏTORMBAÏDE Michel

Directeur de mémoire : Pr Sanoussi ATTA

Novembre 2013

Dédicaces

C'est avec toutes les passions et de mes sentiments que je dédie ce modeste travail à :

- *Mes très chers parents, que Grand Dieu accueille leur âme dans son vaste paradis ;*
- *Mes très chers frères et sœurs, pour tous les sacrifices et les encouragements qu'ils ont consentis pour que je réussisse dans mes études ;*
- *mon épouse FATIME ZARA Mahamat Charfadin qui a supporté, avec patience et compréhension, mes nombreuses et longues absences.*
- *MAHAMAT Ali Adam Yacoub*
- *ADAMOU Rabiou*
- *Tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail*

REMERCIEMENTS

Le présent mémoire est le fruit d'un long processus d'une année de formation.

Il me plaît d'adresser mes remerciements aux institutions et personnes suivantes:

- ❖ L'Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD) pour m'avoir accepté comme stagiaire durant notre passage;
- ❖ Centre Régional Agrhyet (CRA).mes recherches a été rendue possible grâce au financement de l'Union Européenne à travers le projet d'Appui la Recherche Scientifique et Technique aux pays du sahel ;

Ayant travaillé avec plusieurs personnes au Tchad et au Niger, je mesure toute la difficulté de dresser une liste exhaustive de tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont aidé au cours de mes recherches. Que tous ceux qui ne trouveront pas leurs noms mentionnés ici puissent m'excuser ; ma gratitude envers vous n'en est pas moindre.

- ❖ Je voudrais remercier le Dr IBET Outhman Issa, Directeur Général de l'Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD) qui a accepté de me permettre d'effectuer cette formation de Mastère ;
- ❖ Je suis également reconnaissant à Dr DJONDANG Koye, Directeur Scientifique de l'ITRAD pour ses soutiens multiples;
- ❖ Mes sincères remerciements s'adressent à Dr NAITORMAIDE Michel, Chef de Centre et Station du Bébédjia qui, par sa compréhension a toujours accueilli favorablement toutes les propositions relatives à faire le stage à Bébédjia-Tchad dans le cadre de ce Master ;
- ❖ Je remercie aussi Mme NAMBA Fabienne, pour m'avoir accepté comme stagiaire au sein du laboratoire Sol-Eau-Plante (LASEP);
- ❖ Je voudrais très sincèrement remercier mon Directeur de Mémoire, Pr Sanoussi ATTA qui, malgré ses charges multiples a accepté de diriger cette Mastère. Par sa rigueur scientifique, il m'a fait bénéficier de toutes ses qualités d'homme de science. Ses qualités humaines m'ont permis de bénéficier d'un cadre agréable de travail pour finaliser la rédaction de ce Mastère ;
- ❖ Mes sincères remerciements s'adressent au Pr Hassan Bismarck Nacro, Coordinateur du Mastère en Gestion Durable des Terres (GDT). Je lui dois, en grande partie, grâce à ses multiples conseils, encouragements, appuis scientifiques et académiques la réussite de cette formation ;
- ❖ Mes remerciements à tout le corps enseignant de CRA pour nous avoir assuré une formation de qualité.

Liste des figures

Figure 1 : Evolution de la production et des superficies du maïs en zone soudanienne du Tchad de 1996 à 2012.	10
Figure 2: Carte de la zone d'étude	14
Figure 3: Cumuls pluviométriques de 1995 à 2012 à la Station de Bébédjia	16
Figure 4: Distribution de pluies au cours de l'essai en 2013 à la Station de Bébédjia.	16
Figure 5: Evolution des températures au cours de l'essai en 2013 à la Station de Bébédjia.....	17
Figure 6 : Schéma du dispositif du test à la Station de Bébédjia	20

Liste des Tableau

Tableau I: Superficie, production et Rendement du maïs dans les pays du CILLS en 2012	9
Tableau II: Exportation des nutriments par le maïs	11
Tableau III : Caractéristiques chimiques du sol	25
Tableau IV: Caractéristiques chimiques du fumier.....	25
Tableau V: Effets des traitements sur les dates de début d'apparition (en jours après levée) des inflorescences mâles, femelles et de l'épiaison du maïs.	26
Tableau VI: Effet des traitements sur la hauteur et la vigueur des plants de maïs	28
Tableau VII: Effet des traitements sur le nombre de striga en fonction du stade de développement du maïs	29
Tableau VIII: Effet des traitements sur les rendements en pailles, épis, graines et sur l'indice de récolte du maïs.....	30

Liste des Photos

Photo 1: Mensurations à la récolte	21
Photo 2: Prélèvement d'échantillon du sol	22
Photo 3: Groupement des pucerons et des mouches vers	27
Photo 4: fleurs hermaphrodites	27
Photo 5: La vers des plants du maïs au stade 80 jours après levée	29
Photo 6: Terme causant la verse au stade 80 jours après levée.....	Erreur ! Signet non défini.

TABLE DES MATIERES

Dédicaces.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	vi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MAÏS ET LA FERTILITÉ DE SOL	6
1.1. Caractéristiques botaniques, origine et distribution, exigence écologique et importance du maïs dans le monde.....	6
1.1.1. <i>Caractéristiques botaniques</i>	6
1.1.2. <i>Origine et distribution</i>	7
1.1.3. <i>Exigence écologique du maïs</i>	7
1.1.4. <i>Importance de la culture du maïs dans le monde</i>	8
1.2. Fertilité du sol.....	10
1.2.1. <i>Définition et concepts de la fertilité des sols</i>	10
1.2.2. <i>Fertilisation minérales</i>	11
1.2.3. <i>Fertilisation organo-minérale</i>	12
1.2.4. <i>Gestion de la fertilité des sols pour la culture de maïs</i>	13
CHAPITRE II : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	14
2.1. Sites d'étude.....	14
2.2. Le Milieu physique.....	15
2.2.1. <i>Situation géographique et physique</i>	15
2.2.2. <i>Pluviométrie</i>	15
2.2.3. <i>Température</i>	16
2.2.4. <i>Sols et Végétations</i>	17
CHAPITRE III : MATÉRIEL ET MÉTHODES	19
3.1. Matériel	19
3.1.1. <i>Matériel végétal</i>	19
3.1.3. <i>Intrants utilisés</i>	19
3.2. Méthodes	19
3.2.1- <i>Dispositif expérimental</i>	19
3.2.2. <i>Prélèvements et analyses des échantillons de sol</i>	20
3.2.2.1. <i>Prélèvement des échantillons du sol</i>	21
3.2.2.2. <i>Analyses chimiques du sol</i>	22
3.3. <i>Conduite de l'essai</i>	23
3.4. <i>Variables mesurées</i>	23

3.5. Analyse des données.....	24
CHAPITRE IV : RESULTATS.....	25
4.1. Caractéristiques chimiques du sol du site expérimental.....	25
4.2. Caractéristiques chimiques de fumier.....	25
4.3. Effet des traitements sur les paramètres de rendement.....	26
4.3.1. Effets des traitements sur les dates de début d'apparition des inflorescences mâles, femelles et de l'épiaison du maïs.....	26
4.3.2. Effets des traitements sur la hauteur et la vigueur des plants.....	27
4.3.3. Effet de l'incidence de striga en fonction du stade de développement du maïs.....	28
4.3.4. Effet des traitements sur le rendement en pailles, épis, grains et sur l'indice de récolte du maïs.....	29
CHAPITRE V : DISCUSSIONS.....	31
5.1. Caractéristiques chimiques de sol du site expérimental.....	31
5.2. Caractéristiques chimiques du fumier.....	31
5.3. Effets des traitements sur la vigueur des plants à différents stades de développement.....	31
5.4. Effet des traitements sur le rendement en pailles, épis, graine et sur l'indice de récolte du maïs.....	32
CONCLUSION ET SUGGESTIONS.....	36
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	38

RESUME

L'agriculture tchadienne est de type minier caractérisé par une très faible fertilisation minérale et un manque de restitution organique aux sols. Ce qui ne permet pas à long terme d'améliorer les rendements agricoles et de gérer la fertilité des sols.

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. C'est dans ce cadre qu'une expérimentation a été conduite à la station de Bébédjia sur la variété de maïs 2009TZEE-WSTR selon un dispositif en bloc complet randomisé avec quatre répétitions. Les traitements sont constitués par un apport de fertilisation organique (5 T et 10 T/ha) et/ou minérale (100kg/ha NPK +50 kg/ha d'urée).

Les résultats ont montré que l'apport de la seule fertilisation organique ne permet pas d'améliorer le rendement du maïs aussi bien en pailles qu'en épis. En effet, les meilleurs rendements sont obtenus par une combinaison de la dose de 10 t/ha de fumier, de 100kg/ha NPK et de 50 kg/ha d'urée. Le rendement le plus élevé en grains a également été obtenu pour ce traitement bien que l'analyse de variance n'indique pas de différences significatives avec les autres traitements. Aucune différence significative n'a aussi été enregistrée entre les traitements au niveau de l'indice de récolte.

Aux regards de nos résultats il serait intéressant de poursuivre cette étude afin de déterminer la combinaison optimale de fertilisation organique et minérale permettant aux producteurs d'améliorer durablement leur productivité de maïs.

Mots clés: Amélioration, productivité, fumure organique, fumure minérale, fertilité du sol, maïs, Bébédjia, Tchad.

ABSTRACT:

Chad's agriculture is characterized by very low mineral fertilizers use and lack of organic soils restitution, a typical mining cultivation. This does not allow the improvement of a long-term agricultural yields and soil fertility management.

The objective of this study is to contribute improving the productivity of maize through optimal management of organic and mineral fertility in order to ensure food security in Chad. It is in this context that an experiment was conducted at the station Bébédjia on maize variety 2009TZEE - WSTR, according to a randomized complete block design with four replications. The treatments consisted of a supply of organic fertilizer (5 T and 10 T / ha) and / or mineral (100kg/ha NPK 50 kg / ha urea).

The results indicated that the use of organic fertilizer only did not improve the maize's yield in both straws and ears. The best yields were obtained by the combination of 10 t / ha manure, 100kg/ha NPK and 50 kg / ha of urea. The highest grain yield was also obtained in this treatment, although the analysis of variance did not show significant differences with other treatments. No significant difference was also observed between the treatments at harvest index.

From our results, it would be interesting to continue this study in order to determine the optimum combination of organic and mineral fertilization for producers to sustainably improve the productivity of maize.

Keywords: Improvement, Productivity, organic manure, mineral fertilizers, soil fertility, corn, Bébédjia Chad.

INTRODUCTION

Au Tchad, l'agriculture est essentiellement dépendante des conditions climatiques. Cependant, à l'instar des autres pays de l'Afrique de l'Ouest et du Centre, le Tchad est de plus en plus affecté par la variabilité et le changement climatique qui se manifestent par une modification du régime des précipitations et une diminution des hauteurs annuelles des pluies. La baisse des précipitations s'est intensifiée au cours des années 1980 et 1990 (Paturel *et al.*, 1995). Il en résulte une dégradation du milieu qui se traduit par la diminution des rendements des cultures céréalières (Gommes, 1998). Ce qui se traduit par une insuffisance chronique de la production vivrière totale et une insécurité alimentaire souvent localisée (Naitormbaide, 2012). La Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED) indique que depuis la fin des années 70, la production céréalière n'a jamais pu croître au même rythme que la population en Afrique subsaharienne. Pour inverser cette tendance, il faut accroître la productivité d'au moins 3,5% par an en Afrique, contre environ 2,5% par an au niveau mondial (INRAB, 2012). Dans ce contexte, les innovations technologiques sont indispensables pour l'amélioration de la productivité et de la compétitivité des produits agricoles, qui respectent les normes de qualité ainsi que la gestion durable des ressources naturelles.

La baisse de la productivité des terres dans la plupart des pays sahéliens est le résultat de la pression démographique qui croît plus vite que dans les autres régions du monde et des mauvaises pratiques de gestion des terres entraînant l'épuisement en éléments nutritifs des sols (FAO, 2003). C'est ainsi que Bationo *et al.* (2004), ont montré que la dégradation des sols en Afrique sub-saharienne a entraîné une baisse de la production céréalière au cours des 35 dernières années exposant ainsi 200 millions de personnes dans une situation d'insécurité alimentaire chronique. Sanchez *et al.* (1997) expliquent également la faible productivité des cultures par les effets conjugués de la mauvaise gestion des terres agricoles, les variations temporelles et spatiales des conditions climatiques et la croissance démographique, entraînant un appauvrissement rapide des sols en éléments nutritifs. Jones (2009), indique que les pertes d'éléments nutritifs de sols entraînent des pertes économiques directes d'environ 3% du PIB agricole. Ces contraintes sont parfois aggravées par la pratique de l'agriculture minière (culture continue, faibles applications ou absence des engrais minéraux) et l'état de pauvreté des producteurs (Van der Pol, 1992 ; Mokwunye *et al.*, 1996 ; Gray, 2005). Selon IFDC

(2008), les producteurs d'Afrique Subsaharienne ont utilisé en moyenne 7,1 kg d'engrais par hectare durant la campagne agricole 2005/2006 alors que la moyenne du continent africain est de 25,4 kg/ha. A titre de comparaison, les doses moyennes d'application des engrais en Asie et en Amérique Latine étaient respectivement de 202,3 kg/ha et 100,7 kg/ha ; la moyenne au niveau mondial étant de 118,8 kg/ha pendant la même période.

Au Tchad, plus de 80 % de la population active dépend des systèmes de production agricoles, pour une contribution de 48 % au PIB en 1993 avant l'exploitation du pétrole. En 2003, elle représente 37.7% du PIB dans l'économie nationale (www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/chad, Consulté le 08/04/2013) alors que le pétrole ne contribue que pour 34,3% du PIB (Cellule Economique de la République du Tchad, <http://www.cellule-economique-tchad.org/>, consulté le 15/03/12).

Au Tchad, la superficie cultivée en maïs au niveau national est passée de 263 996 ha en 2010/2011 à 244 046 ha en 2011/2012 et en zone soudanienne de 105 143 ha à 91 480 ha (DPSA, 2012). Cependant, l'utilisation des engrais minéraux demeurent faible. C'est ainsi que Naitormbaide (2012), indique qu'en 2000, la consommation des engrais minéraux (N, K₂O et P₂O₅) au Tchad n'était que de 17 500 t soit 1,4 % de la consommation de l'Afrique Subsaharienne (IFDC, 2008). En rapport avec la superficie des terres cultivables, la dose moyenne d'engrais estimée n'est que de 5 kg/ha (IFDC, 2008). Les cultures, telles que le maïs, le sorgho, et le riz ne reçoivent qu'entre 35 à 75 kg/ha de NPK et 42 kg/ha d'urée (Mbétid-Bessane *et al.*, 2006 ; Naitormbaide, 2007).

Par ailleurs, l'utilisation de la fumure organique est assez peu répandue chez les producteurs. Pourtant, plusieurs travaux ont montré l'importance de l'apport de l'amendement organique dans le maintien de la qualité agronomique des sols (INERA, 2000 ; Hibra-Samgue, 2004 ; FAO, 2007 ; Masto *et al.*, 2008).

La contrainte majeure des exploitations agricoles au Tchad en particulier dans la zone soudanienne est la baisse progressive de la capacité de production des sols (Arrivets, 2002). Cette situation est souvent reliée à la baisse de la fertilité des sols, due au manque de restitution organique, la faible utilisation des engrais minéraux à cause de leur coût élevé et du faible revenu des petits producteurs. En outre, les solutions développées en milieu paysan par l'état ont été peu adoptées par les exploitants agricoles. Il est donc tout à fait pertinent de travailler sur l'amélioration de la fertilité de sol en appliquant des techniques qui peuvent apporter des pistes de solutions intéressantes et accessible aux producteurs. 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. A cet effet, le recours aux engrais et aux fumures organiques est un facteur clé de la modernisation de l'agriculture et permet aussi de réduire les coûts de production par une utilisation optimale.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail qui porte sur l' «Amélioration de la productivité du maïs, par un apport optimal de fumures organique et minérale en zone soudanienne du Tchad: Cas de Bébédjia». Cette étude qui vise à améliorer durablement la productivité du maïs à travers la combinaison organo-minérales répondra à une question principale :

Quelle est la dose optimale de fumures, susceptible d'améliorer la productivité du maïs au Tchad ?

En plus, nécessairement à deux questions scientifiques:

Quelle est la dose optimale de fumures organique et minérale qui contribue à l'amélioration de la productivité du maïs ?

Quelle est la dose optimale de fumures organo-minérale qui permet d'améliorer la fertilité de sol ?

L'objectif global est de contribuer à l'amélioration de la productivité du maïs pour lutter contre l'insécurité alimentaire au Tchad. Plus spécifiquement, il s'agit de :

- Déterminer la dose optimale de fumures organique et minérale permettant d'obtenir le meilleur rendement du maïs ;
- Evaluer l'effet de fumures organique et ou minérale sur la productivité d'une variété de maïs.

L'approche envisagée s'appuie sur les hypothèses suivantes :

Une dose optimale de fumures organique et minérale permet d'augmenter le rendement du maïs ;

Une dose optimale de fumures organique et minérale améliore la fertilité de sol.

Les résultats attendus de ce travail sont :

La dose optimale de fumures organique et ou minérale qui permet d'obtenir le meilleur rendement du maïs est déterminée ;

L'effet de fumures organo-minérale sur le rendement de la variété de maïs est évaluée.

La restitution des résultats de l'étude est structurée en 5 chapitres, regroupés en deux parties :

- la première partie présente les généralités sur le cadre de l'étude et comporte deux chapitres dont le premier est une synthèse bibliographique sur le maïs et la fertilité de sol et le second une présentation de la zone d'étude.
- la deuxième partie est composée de trois chapitres : matériel et méthodes ; les résultats obtenus, la discussion et une conclusion générale, assortie de perspectives de valorisation des résultats de ce travail, aussi bien en matière de développement que de recherche.

PREMIERE PARTIE

GENERALITES SUR LE CADRE DE L'ETUDE

CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MAÏS ET LA FERTILITÉ DE SOL

1.1. Caractéristiques botaniques, origine et distribution, exigence écologique et importance du maïs dans le monde.

1.1.1. Caractéristiques botaniques

Le maïs (*Zea mays* L.) appartient à la famille des Poacées tout comme le mil, le sorgho et la canne à sucre. Il constitue la seule espèce cultivée du genre *Zea* (Lamboni, 2003). On connaît cependant plusieurs variétés de maïs qui se distinguent les unes des autres par certaines caractéristiques notamment la précocité, la couleur et la texture du grain. 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 de un mètre (<http://fr.wikipedia.org> consulté le 17/11/2012). 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. Ce déséquilibre dans l'exploitation des ressources du sol fait que la plante est très exigeante en fumure azotée et en eau, proportionnellement aux rendements élevés prévus.

Le maïs est une plante dioïque. 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 maïs, ainsi que d'autres Poacées tropicales (comme la canne à sucre ou le sorgho), fait partie des plantes dites «C4 ». Ces plantes réalisent leur photosynthèse d'une façon plus efficace que ne le font les autres plantes « C3 ». En conséquence, le maïs est capable d'accumuler une grande quantité de matière sèche par hectare et par heure, ce qui représente plus du double des autres céréales telles que le blé (<http://fr.wikipedia.org> » consulté le 17/11/2012).

1.1.2. Origine et distribution

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 ; Allagbe, 1992), 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^e au XVII^e siècle (Adande, 1984). 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 (Atta, 2006).

1.1.3. Exigence écologique du maïs

1.1.3.1. Insolation et température

Le maïs est une plante d'origine tropicale présentant de grandes facultés, d'adaptation à des situations écologiques variées. Il est exigeant 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 (Bezpal, 1984 ; Rouanet 1984). Cependant, pour la maturation, le maïs demande un climat chaud et sec.

1.1.3.2. Régime hydrique.

Les besoins en eau varient également 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, 1987). Les déficits en eau, particulièrement à la floraison réduisent le rendement du maïs. La réduction se produit aussi en cas d'excès d'eau (Lokonon, 1986). 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). Le caractère productif du maïs ne se manifeste pleinement qu'en conditions d'alimentation hydrique et de fertilisation adéquates et qui sont plus contraignantes que celles du mil et du sorgho.

1.1.3.3. Sol

Du point de vue écologique, le maïs préfère un sol profond, bien meublé, 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 (Atta, 2006). Le maïs est très sensible à l'amélioration des propriétés physiques et aux variations de fertilités du sol (Rouanet, 1984).

1.1.4. Importance de la culture du maïs dans le monde

Le maïs est actuellement cultivé dans deux catégories des pays en termes de son utilisation : **Dans les pays Développé** : 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 (Atta, 2006). Ses débouchés sont très diversifiés en produits agroalimentaires (isoglucose, pectine), chimique (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.). Selon la FAO, (2012), la superficie mondiale cultivée en maïs en 2012 était de 17 699 1927ha pour une production de 875 098 631 T soit un rendement moyen de 49 443 kg/ha. Les plus grands pays au monde en 2012 étaient les USA, la Chine, le Brésil, le Mexique et la France.

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 FAOSTAT, 2012 (consulté le 14/10/2013)

Tableau I: Superficie, production et Rendement du maïs dans les pays du CILLS en 2012

Pays	Superficie (ha)	Production(T)	Rendement (Kg/ha)
Bénin	818 000	117 5 000	1 435,4
Burkina Faso	850 000	155 6 000	1 830,6
Cap Ver	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,2012 consulté le 14/10/2013

1.1.4.1. Importance de la culture du maïs au Tchad

Au Tchad, le maïs (*Zea mays* L.) occupe la troisième place des céréales cultivées après le sorgho et le mil. La production sert principalement à l'autoconsommation des producteurs, mais aussi de source de revenu. 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'épanouissement spectaculaire de cette culture ces dernières décennies montre qu'elle demeure 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. Selon la Direction de Production et Statistiques Agricole (DPSA, 2012) du Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation, la production nationale de maïs grains, est passée de 215 797 tonnes en 2010/2011 à 299 472 tonnes en 2011/2012. L'augmentation de la production a été particulièrement importante dans la zone soudanienne, de 57 063 tonnes à 98 326 tonnes. La Figure 1 montre l'évolution de la production et des superficies du maïs en zone soudanienne,

de 1996 à 2012. La figure montre que l'augmentation de la production est essentiellement liée à celle de la superficie cultivée.

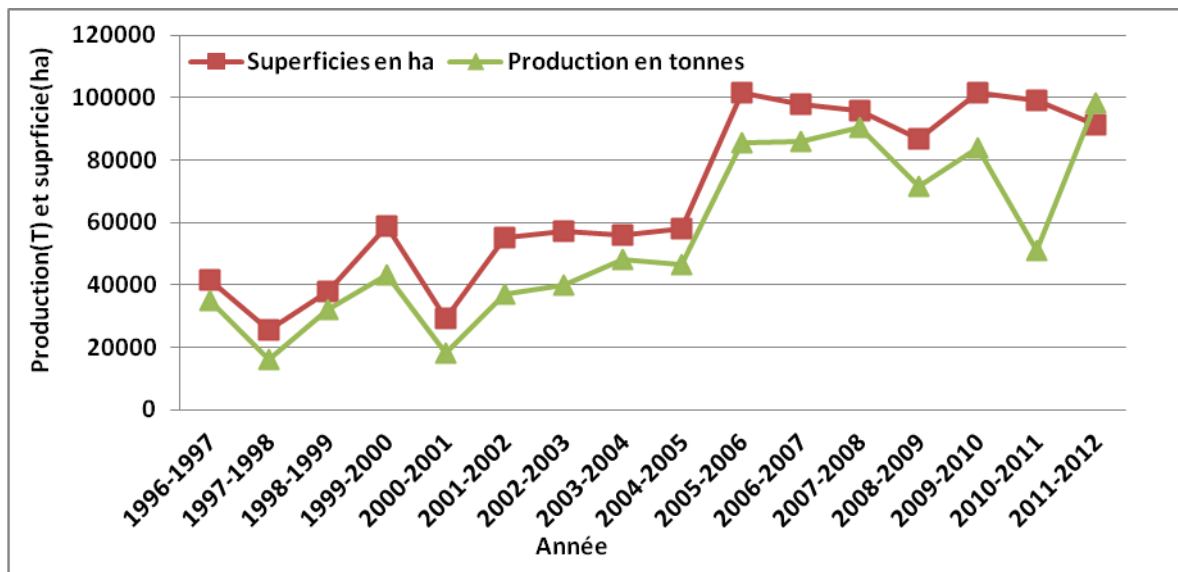


Figure 1 : Evolution de la production et des superficies du maïs en zone soudanienne du Tchad de 1996 à 2012.

Source : DPSA/Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation (2012)

1.2. Fertilité du sol

1.2.1. Définition et concepts de la fertilité des sols

Dans la communauté scientifique, des écologistes, agronomes, pédologues et économistes, etc., ont proposé plusieurs définitions (Sebillotte, 1982 ; Pieri, 1989 ; Soltner, 1994 ; Mando *et al.* 2000), selon laquelle la fertilité du sol a été définie par Mando *et al.* (2000) comme suit : « 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 ». La base de données minimale se repose sur trois aspects doit comprendre :

- aspect physique : (1) la structure, (2) la porosité, (3) la profondeur d'enracinement,
- aspect plan chimique : (1) la teneur en matière organique et la dynamique du carbone, (2) le recyclage des nutriments et leur dynamique, (3) la réaction du sol en relation avec l'acidification ou l'alcalinisation, (4) la capacité tampon;

- aspect biologique :(1) la microflore et le cycle du carbone, (2) les biotransformations (immobilisation, minéralisation, assimilation), (3) la biodiversité du sol.

En effet, pour le concept de fertilité de sol, qui peuvent causer de grandes polémiques de la fertilité de sol est décrit son efficience à :

(i) stocker et à libérer des éléments minéraux et d'autres constituants ;

(ii) stocker et à libérer l'eau pour les besoins des plantes afin de promouvoir et d'assurer leur croissance racinaire.

D'une manière générale, le sol qui constitue le premier partie en stock d'éléments minéraux importants, qui peut augmenter ou diminué en fonction des techniques culturales pratiquée par les exploitants. Donc la richesse d'un sol est considérée comme une sorte de capital, qui peut être appauvri ou enrichi en fonction des pratiques culturales mises en œuvre par les agriculteurs sur leurs terres.

1.2.2. Fertilisation minérales

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), (Mémento de l'Agronome, 1991). Pour des rendements de 5 à 6 t / ha, le maïs prélève de 100 à 150 kg d'azote (N), de 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). De nombreuses analyses chimiques ont montré qu'un hectare de maïs produisant 5 tonnes de maïs accumule les quantités suivantes d'éléments minéraux (Tableau II).

Tableau II: Exportation des nutriments par le maïs

Nutriments Prélèvement	Azote (kg/ha)	Phosphore (kg/ha)	Potassium (kg/ha)
Plantes entières	105	50	75
50quintaux 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).

1.2.3. Fertilisation organo-minérale

La matière organique, est le paramètre fondamental de la fertilité du sol à long et à court terme (Nacro, 1997). Ces types des matières organiques utilisées à long terme dans la fertilisation des sols sont de nature et de formes variées (fumier, de résidus de culture 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, à 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 aussi ne suffisent pas pour des rendements immédiats et garantir la stabilité. Il retarde l'augmentation des rendements tout comme s'il retardait 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 Sedego (1981) et Bado, (1994), le complément de fumure organique est nécessaire pour éviter une forte baisse du carbone et de la 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 capacité d'échange cationique (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 Piéri (1989) et Sedego (1993), ont montré également que l'emploi d'engrais azoté favorise la minéralisation des matières organiques et faire chuter rapidement la teneur du sol en matière organique 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 (Sedego, 1981). En effet, cette utilisation conjointe permet d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol. Aussi pourra-t-elle augmenter les rendements (Bado *et al.*, 1991) 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).

1.2.4. Gestion de la fertilité des sols pour la culture de maïs

La dynamique des éléments prélevés par la plante est assez complexe étant donné que l'exportation des minéraux va de pair avec la croissance des plantes, mais les vitesses de mobilisation et d'exportation varient en fonction de l'âge de la plante et la nature de l'élément minéral.

Le prélèvement des éléments précède la croissance de la plante. La plante choisit les éléments minéraux dont elle a besoin pour sa croissance (Maba, 2007). Le K et le N sont mobilisés en premier lieu. L'exportation de P est progressive. Dans les céréales, le K passe généralement par un maximum à la floraison puis diminue (Maba, 2007). Le point critique pour l'alimentation des cultures, est le moment où l'exportation est forte. Mais les prélèvements des éléments nutritifs par la plante se trouvent ralentir le développement à cause de leur perte (Maba, 2007). Selon Stoorvogel *et al.* (1993), les pertes moyennes de la couche arable en Afrique subsaharienne est de 22 kg N/ha, 2,5 kg P/ha et 15 kg K/ha par an. L'intensité de ces pertes est fonction du type de minéraux, du type de sol, des conditions climatiques et des systèmes de culture (Sogbedji *et al.*, 2000). Ces pertes par ailleurs expliquent en partie le taux de recouvrement des fertilisants appliqués et la dégradation continue de nos sols. Ainsi, le taux de recouvrement mesure le rapport entre la quantité d'éléments nutritifs prélevés par la culture et celle apportée par la fumure. Il détermine la fraction de la quantité totale des engrais apportés, réellement absorbée par les cultures. Selon Breman et Sissoko (1998) cités par Maba (2007), il correspond à 0,35 pour l'azote et 0,15 pour le phosphore, pour la culture du maïs sur sol ferralitique. Des essais de l'IFDC situent ces taux à 50% pour l'azote et le potassium, 10% pour le phosphore (Maba, 2007). Par contre Fofana *et al.* (2002) ont déterminé des taux de recouvrement pour l'azote compris entre 1 et 49%, et un taux de 38% pour le phosphore.

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La présente étude s'est déroulée à la Station de Bébédjia située dans la région de Logone Oriental, dans le Département de la Nya au Tchad.

2.1. Sites d'étude

L'étude a été menée à la Station de Bébédjia (Figure 2)

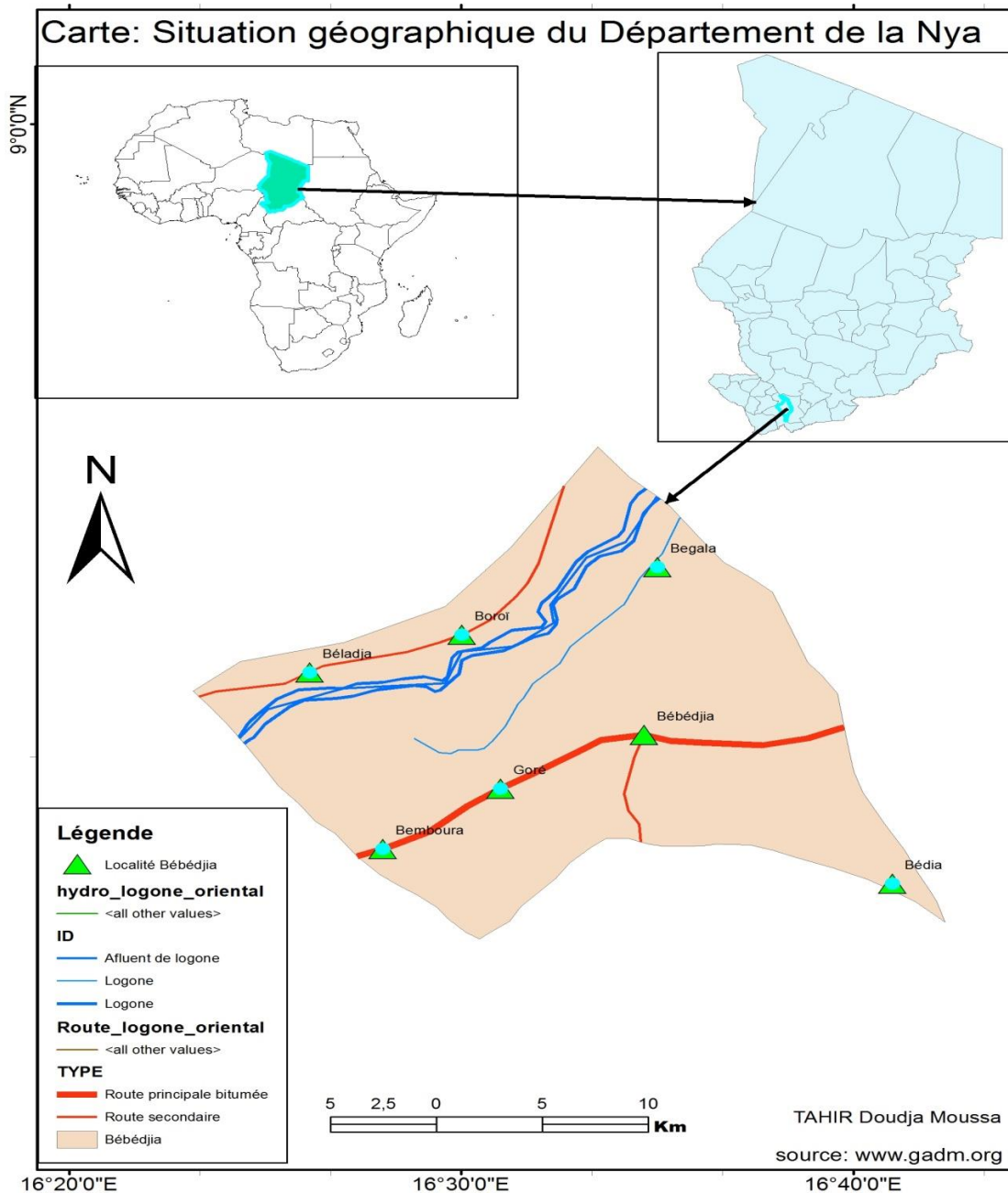


Figure 2: Carte de la zone d'étude

La Station de Bébédjia qui couvre une superficie de 400 ha, est située entre 16° 30' et 16° 35' de Longitude Est et 8° 38' et 8°44' de Latitude Nord. Elle a été créée en 1940 comme

poste agricole, prise en charge par l'Institut de Recherche sur le Coton et Textiles Exotiques en 1946, puis par le Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement/Cultures Annuelles (CIRAD-CA) en 1982. Depuis 1998, la Station est rétrocédée à l'Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD).

2.2. Le Milieu physique

Le milieu physique, comprend la situation géographique de Bébédjia, les sols, la végétation, l'hydrographie et le climat.

2.2.1. Situation géographique et physique

Bébédjia est située au Sud-ouest de la Région du Logone Oriental.

La ville de Bébédjia est traversée par l'axe routier Moundou-Doba à 65 km de Moundou et 35 km de Doba, couvre une superficie de 2 954 km² soit 0,23% du territoire national. La population actuelle de Bébédjia est estimée à 21 475 habitants (RGPH2, 2009).

La zone de Bébédjia bénéficie d'un climat tropical chaud et humide avec 900 à 1200 mm de pluies par 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. Les terres cultivables sont passées de 16 688 ha en 2000 à 47 159 ha en 2001 (DPSA, 2001). Ce milieu naturel d'une forêt arbustive à la forêt claire, attire les éleveurs nomades des zones sahélienne et saharienne. Elle bénéficie aussi de plusieurs cours d'eau, permanents et temporaires qui parcourent la zone. Les cours d'eau permanents sont le Logone et la Pendé et les cours d'eau temporaires sont la Nya et quelques mares alimentées par les eaux des pluies.

Ces dernières décennies, l'espace exploitable tend à se raréfier à cause de la pression démographique, les dynamiques de peuplement (mouvements migratoires) et l'expansion du champ pétrolier (Médard, 2006). En plus de la pression subie par la superficie agricole, un nouveau puits de pétrole a été découvert à la Station de Bébédjia.

2.2.2. 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 3 montre que les quantités des pluies enregistrées de 1996 à 2012 ont connu une fluctuation importante suivant les années de 800 mm à plus de 1500 mm.

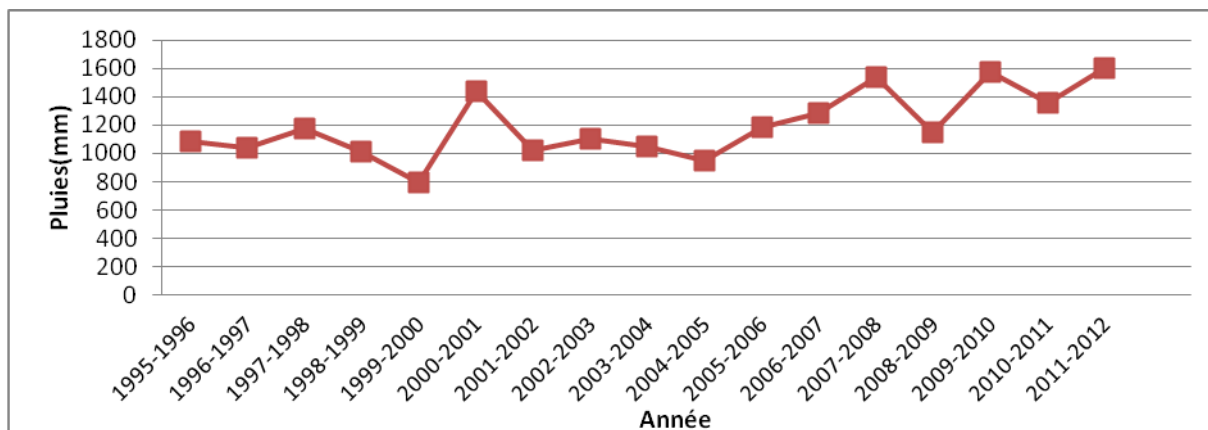


Figure 3: Cumuls pluviométriques de 1995 à 2012 à la Station de Bébédjia

En 2013, il a été enregistré durant la période de l'expérimentation un cumul pluviométrique de 1362,6 mm en 66 j de pluies jusqu'au mois de septembre (Figure 4). La 2^e décade de juin pendant laquelle l'essai a été mis en place a été une période sèche.

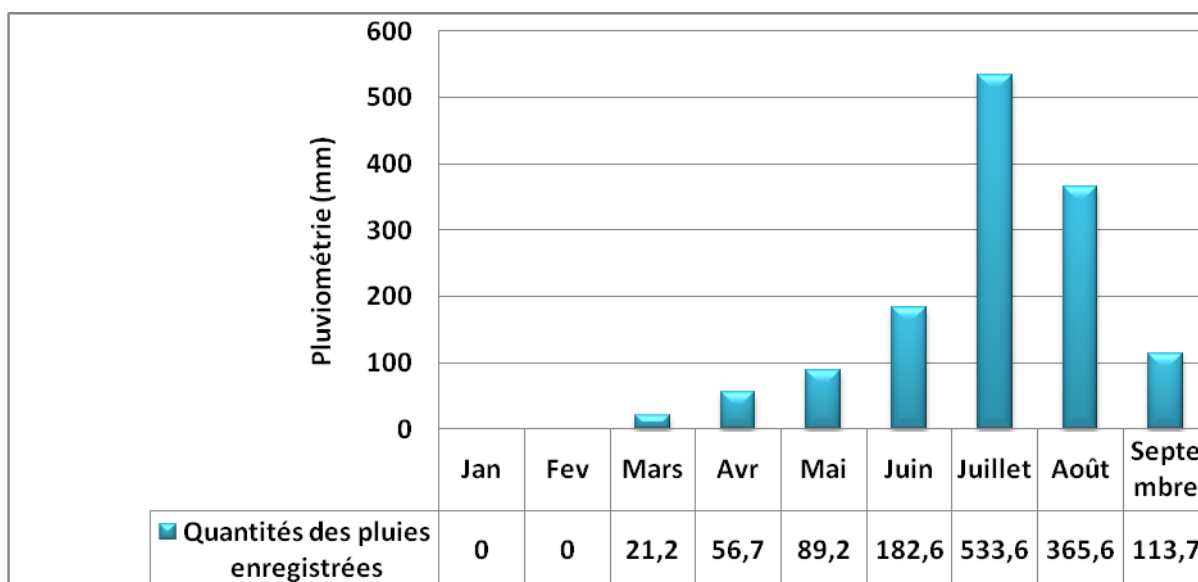


Figure 4: Distribution de pluies au cours de l'essai en 2013 à la Station de Bébédjia.

2.2.3. Température

Les températures minimales mensuelles pendant la période de culture sont passées de 22,74°C en janvier à 19,4 °C en septembre (Figure 5). Durant l'expérimentation, les mois les plus chauds ont été février, mars et avril avec des températures respectives de 40,84 et 41,9 et 40,59° C. L'insolation a été faible en saison des pluies (en particulier en juillet et août) et plus élevée en fin septembre et début octobre.

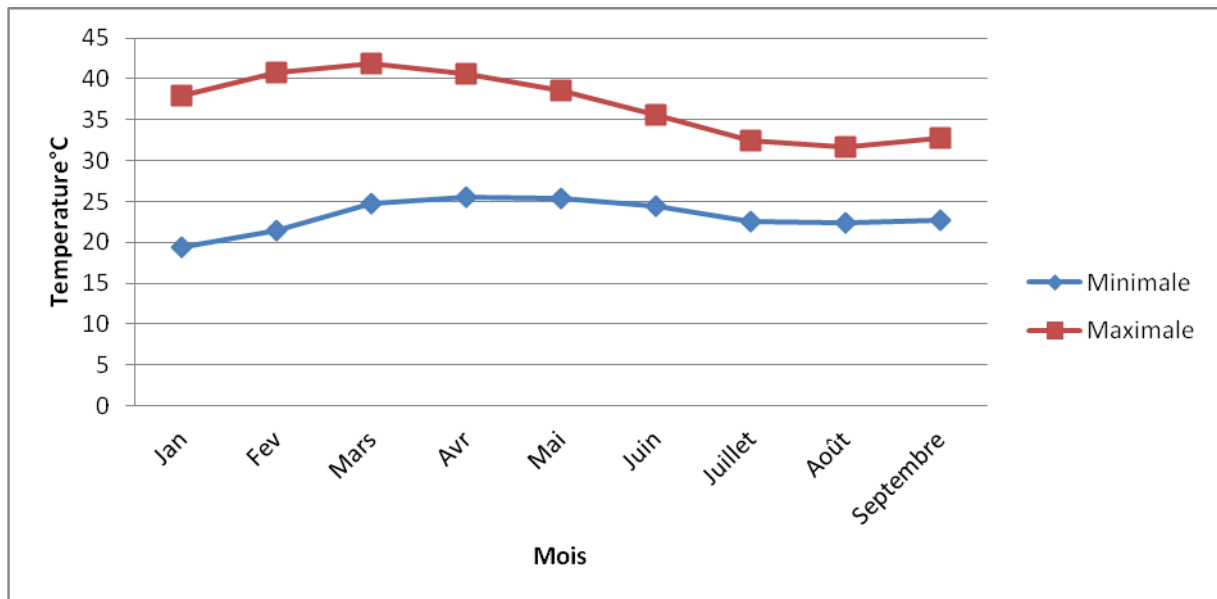


Figure 5: Evolution des températures au cours de l’essai en 2013 à la Station de Bébédjia.

2.2.4. Sols et Végétations

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. et *Citrus limon* (L.) Burm. f. La strate herbacée est dominée par *Digitaria horizontalis* Willd., *Pennisetum pedicellatum* Trin (Naitormaide, 2012).

La Commission Pédologique et Cartographique des Sols (CPCS, 1967) a classé les principaux types de sols de Bébédjia en :

- sols ferrugineux tropicaux hydromorphes ;
- sols ferrugineux tropicaux lessivés généralement peu fertiles ;
- sols faiblement ferralitiques.

DEUXIEM PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

La conduite de cette étude sur le terrain a nécessité l'utilisation des divers matériels tels que matériel végétal, sol, fumure organique et minérale, matériels de mesure.

3.1. Matériel

3.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de la variété de maïs 2009TZEE-WSTR qui provient de l'IITA/Ibadan(Nigeria). C'est une variété de maïs blanc classée comme étant extra-précoce avec un cycle de 90 jours.

3.1.2. Matériel technique

3.1.2.1. Matériel de prélèvement de sol et des mesures

Nous avons prélevée le sol avec une tarière et les matériels des mesures utilisées sont le ruban et le règle.

3.1.3. Intrants utilisés

3.1.3.1. Engrais minérales

Pendant la période expérimentale, nous avons également utilisé la fumure minérale suivante: NPK (15-15-15) et l'Urée (contenant 46% de N).

3.1.3.2. Matières organique

Les fumiers organiques de bovins décomposés dans une fosse pendant deux mois ont été utilisés comme amendements organiques.

3.2. Méthodes

3.2.1- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est en un bloc complet randomisé avec 4 répétitions et 6 traitements :

T1 : Témoin ;

T2 : 100 kg/ha NPK +50 kg/ha d'urée ;

T3 : 5t/ha de fumier ;

T4 : 5t/ha de fumier + 100Kg/ha NPK +50kg/ha d'urée

T5 : 10t/ha de fumier ;

T6 : 10t/ha de fumier +100Kg/ha de NPK +50Kg d'urée.

La figure 6 montre le schéma du dispositif expérimental.

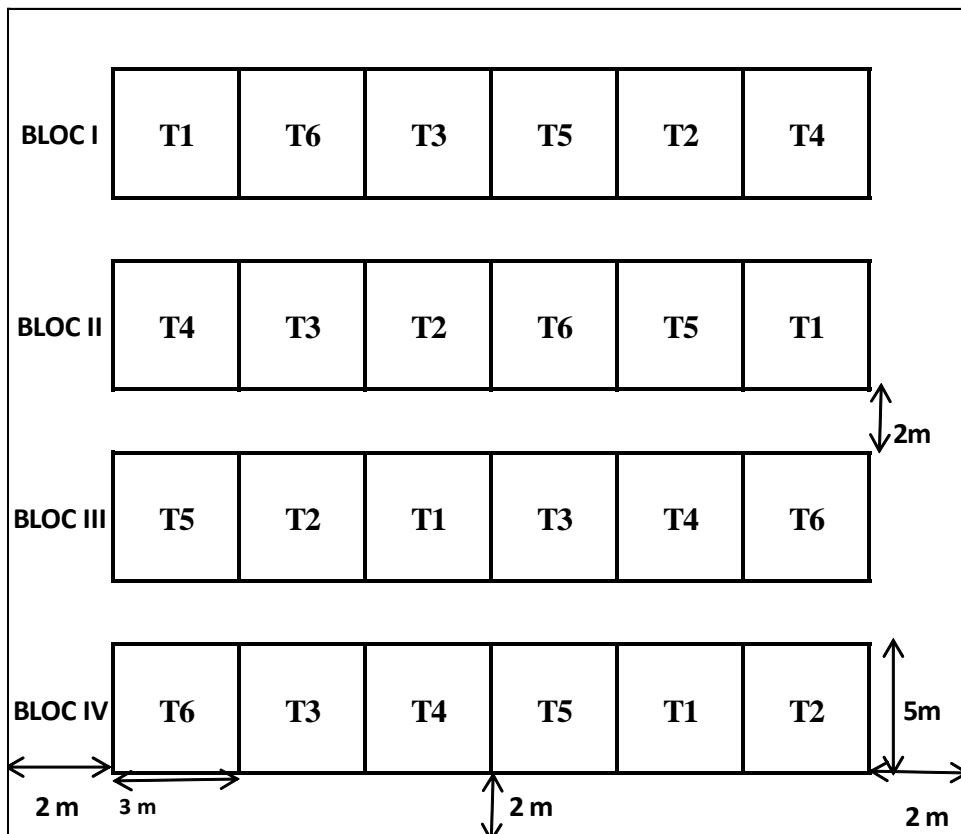


Figure 6 : Schéma du dispositif du test à la Station de Bébédjia

La parcelle expérimentale a une dimension de 5m sur 3m. L'espace entre deux blocs successifs est de 2 m. Dans une parcelle élémentaire les poquets sont séparés de 0,40 m et les lignes de 0,75m. Chaque parcelle élémentaire contient ainsi 4 lignes de 14 poquets. La parcelle utile de chaque parcelle élémentaire est constituée des deux lignes centrales.

3.2.2. Prélèvements et analyses des échantillons de sol

Au démarrage de l'expérimentation, nous avons procédé au nettoyage et la délimitation des parcelles. Puis nous avons prélevé des échantillons de sol afin de déterminer le niveau initial de la fertilité de notre essai.

3.2.2.3. Prélèvement des échantillons du sol

Avant le semis du maïs, des échantillons de sol ont été prélevés en diagonal au niveau de chacun des quatre blocs. Cinq prélèvements ont été faits avec une tarière à une profondeur de 0–20 cm. Les échantillons ont été séchés à l'air ambiant et transférés au laboratoire.

Les paramètres analysés sont le carbone, l'azote, le phosphore total, le potassium total et les matières organiques(MO)



Photo 1: Mensurations à la récolte



Photo 2: Prélèvement d'échantillon du sol

3.2.2.2. Analyses chimiques du sol

Les échantillons de sols ont été analysés au Laboratoire d'Analyse des Sols-Eau et Plante (LASEP) de l'ITRAD. Ces analyses ont été les caractéristiques chimiques de sol et du fumier. Les méthodes d'analyses chimiques utilisées sont les suivantes:

3.2.2.2.1. Matières organiques et Carbone (méthode AFNOR, 1926)

Nous avons pesé le poids vide des creusets (P0). Ensuite nous avons pesé 5 g de terre et déterminer le poids (creusets +échantillon de terre(P1). Après passage au four (400 à 500°C), les échantillons de sol ont été laissés pour refroidissement. Puis, nous avons déterminé le poids (creusets + échantillon de terre) après chauffage au four (P2).

Nous avons déterminé le taux de cendre (P2-P0) et le poids (P1-P2). Le taux de la matière organique a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$\%M.O = (P1-P2) * 100 / (P1-P0)$$

Le pourcentage de carbone a été ensuite calculé :

$$\%C = \%M.O / 1,724$$

3.2.2.2.2. L'Azote total (méthode de palintest)

La détermination de l'azote total est faite par la méthode de palintest, en deux phases :

1^{er} phase : extraction de l'azote. Nous avons extrait l'azote en introduisant 50 ml d'eau distillée avec l'échantillon de sol (2ml), dans un flacon de 100 ml. Ensuite nous avons ajouté la poudre (2,5ml) « d'extraction N Power » et une petite quantité de produits « cap-spoonful de nitratest N Power ». La solution « Extract N » est recueillie dans un tube de 10ml à l'aide d'un papier filtre «Watman».

La 2^{em} phase a consisté à déterminer l'azote total. La solution recueillie « Extract N » est ajoutée de comprimé de « Nitricol N tablet » pour obtenir la dissolution totale. Ensuite, nous avons laissé pendant 10 minutes jusqu'au changement de la couleur. Puis suivi de sélection de la longueur d'onde 570mm sur le photometre5000 ; après la lecture sur le photometre5000, nous avons utilisé le tableau des valeurs de « Palintest soil test instructions » pour déterminer la teneur en azote du sol.

3.2.2.2.3. Détermination de Potassium (Méthode de Palintest)

Nous avons déterminé par la même méthode de Palintest, la teneur en potassium(K) en 1^{er} phase et en 2^e phase.

1^{er} phase : extraction de potassium. Nous avons extrait le potassium en introduisant 50 ml d'eau distillée avec l'échantillon de sol (2ml), dans un flacon de 100 ml. Ensuite nous avons ajouté la poudre (2,5ml) « d'extraction K Power » et une petite quantité de produits « cap-spoonful de nitratest K Power ». La solution « Extract K » est recueillie dans un tube de 10ml à l'aide d'un papier filtre «Watman».

La 2^e phase consiste à déterminer le potassium. La solution recueillie « Extract K » est ajoutée de comprimé de « Nitricol K tablet » pour obtenir la dissolution totale. Ensuite, nous avons laissé pendant 2 minutes jusqu'au changement de la couleur. Puis suivi de sélection de la longueur d'onde 520nm sur le photometre5000 ; après la lecture sur le photometre5000, nous avons utilisé le tableau des valeurs de « Palintest soil test instructions » pour déterminer la teneur en potassium du sol.

3.2.2.2.4. Détermination de Potentiel d'Hydrogène

Le pH mesuré à l'aide d'un pH-mètre dans un rapport sol/eau (1/2,5) distillée de 50 ml pour obtenir le niveau d'acidité du sol.

3.3. Conduite de l'essai

L'apport du fumier pour les parcelles recevant ce traitement a été réalisé le 15/06/2013. Les parcelles d'essai ont été labourées à la profondeur de 20-30 cm avec un tracteur. Le semis du maïs a été réalisé le 15/06/2013 à raison de 4 grains par poquet à une profondeur de 3-5 cm. Le démariage à deux plants par poquet a été réalisé le 10/07/2013 correspondant à 25 jours après le semis. Nous avons ensuite procédé aux sarclages des parcelles à la demande ;

L'épandage du NPK au niveau des parcelles concernées par ce traitement a été réalisé le 13/7 2013, soit 29 jours après le semis. Celui de l'urée est intervenu le 29/07/2013. La récolte est intervenue le 27/092013.

3.4. Variables mesurées

Les principales variables mesurées sont les suivantes :

-hauteur des plants : les mesures ont été effectuées au 30^{ième}, aux 60^{èmes} jours après levée (JAL) et à la récolte. La mesure a concerné 5 plants par parcelle élémentaire. Au niveau de

chaque parcelle élémentaire, cinq (5) plants ont été sélectionnés de façon aléatoire au niveau des deux lignes centrales de chaque parcelle est marqués à l'aide d'une étiquette en plastique attachée au pied de la plante ;

- date de début d'apparition de panicules (inflorescences) mâles : c'est la date à laquelle 50% des plants de la parcelle ont atteint respectivement ces stades.

- Date de début d'apparition de l'inflorescence femelle et date de début d'épiaison: c'est la date à laquelle 50% des plants de la parcelle ont atteint respectivement ces stades.

- Vigueur des plants 8 SAL. Pour déterminer ce stade, nous avons utilisé une échelle de notation de 1 à 5 avec :

1 = Plants très chétifs ; 2 = Plants chétifs ; 3 = Plants moins vigoureux ; 4 = Plants vigoureux ; 5 = Plants très vigoureux

-Le nombre de striga aux stades 8, 10 et 12 semaines après semis (SAS) a aussi été compté dans carré de sondage de 0,25 m² dans la parcelle utile.

-Le rendement (exprimé en kg/ha) en épis secs, en pailles sèches et en grains secs a été déterminé à la récolte. Puis nous avons calculé l'indice de récolte (en %) selon la formule suivante :

$$\text{Indice de Récolte (IR)} = \frac{\text{Poids secs des grains}}{\text{Poids sec totale de la partie aérienne (pailles + épis)}} \times 100$$

3.5. Analyse des données

L'analyse statistique des données collectées a été réalisée à l'aide du logiciel GenStat version 7.0. L'analyse de variance a été effectuée au seuil de 5%. Le classement des moyennes a été fait par la méthode de Student Newman Keuls.

CHAPITRE IV : RESULTATS

4.1. Caractéristiques chimiques du sol du site expérimental

Le Tableau III présente les résultats d'analyse des échantillons composites de sol prélevés avant l'installation de l'essai. Le sol du site expérimental est légèrement alcalin. Il a un faible niveau de fertilité caractérisé par un rapport C/N très bas pour la couche arable. Ce qui dénote d'un faible niveau de matière organique, une pauvreté de ce sol en azote minéral et possède un niveau remarquable de potassium pour les plants.

Tableau III : Caractéristiques chimiques du sol

Paramètres	Valeurs
pH	7,2
Azote total %	4,29
Carbone (%)	0,20
MO (%)	0,03
Potassium total (mg/l)	322,8
C/N	10,02

4.2. Caractéristiques chimiques de fumier

Les propriétés chimiques du fumier utilisé comme amendement organique sont représentées dans le Tableau IV. Les résultats montrent que le fumier est assez pauvre en matière organique (0,55 %). La teneur en carbone est également un peu faible, de l'ordre de 43 %. Il représente des caractères importantes pour l'amélioration de la fertilité du sol en azote (N =18,3) et du potassium (K= 25). Le pH du sol est un peu élevé (10).

Tableau IV: Caractéristiques chimiques du fumier

Paramètres	Valeurs
pH	10
Azote total	18,3
Carbone (%)	43
MO (%)	0,55
Potassium total (mg/l)	25

4.3. Effet des traitements sur les paramètres de rendement.

4.3.1. Effets des traitements sur les dates de début d'apparition des inflorescences mâles, femelles et de l'épiaison du maïs.

L'analyse de variance a révélé qu'il n'y a pas de différences significatives entre les traitements en ce qui concerne les dates de début d'apparition des organes mâles, femelles et d'épiaisons du maïs. C'est ainsi que les panicules mâles du maïs commencent à apparaître, en moyenne au bout de 56 jours après la levée et les inflorescences femelles au bout de 65 jours. Le début de l'apparition des épis se situe autour de 61 jours après la levée. Nous avons observé au début de l'apparition des inflorescences mâles, le groupement des pucerons verts et des mouches vertes de la famille de *Calliphoridae* (photo 3).

Au stade de début épiaison, nous avons également observé l'apparition d'épi femelle sur les inflorescences mâles. Ce qui donne un aspect buissonnant au sommet de la plante (photo 4).

Tableau V: Effets des traitements sur les dates de début d'apparition (en jours après levée) des inflorescences mâles, femelles et de l'épiaison du maïs.

Treatments	Inflorescence mâle (JAL)	Inflorescence femelle(JAL)	Epiaison (JAL)
T1	57,00	65,75	61,00
T2	57,50	65,25	61,50
T3	55,00	65,75	61,00
T4	51,25	61,00	56,00
T5	56,00	66,00	62,50
T6	58,25	66,25	62,75

T1(Témoin),T2(100kg/ha NPK+50kg/ha N),T3(5t/ha FO),T4(5t/ha FO +100kg/ha NPK+50kg/ha d'urée),T5(10t/ha FO),T6(10t/ha FO +100kg/ha NPK+50kg/ha d'urée).



Photo 3: Groupement des pucerons et des mouches vers



Photo 4: fleurs hermaphrodites

4.3.2. Effets des traitements sur la hauteur et la vigueur des plants.

Le Tableau VI montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements en ce qui concerne la hauteur totale de la plante au stade 30 jours après levée. Cependant, la différence est significative aux stades 60 jours après levée et à la récolte. En effet, au stade 60 JAL, les traitements peuvent être classés en trois groupes : le premier groupe est constitué des traitements T4 (5 t/ha de fumier +100 kg/ha de NPK+50 kg/ha d'urée) et T6 (10t/ha de fumier +100kg/ha de NPK+50kg/ha d'urée) qui ont donné des plantes plus hautes. Les plus faibles hauteurs des plants ont été enregistrées pour les traitements témoin et le traitement ayant reçu 10 t/ha de fumier. Les autres traitements sont intermédiaires. Cette classification des traitements se retrouve également à la récolte.

La vigueur des plants est aussi significativement différente entre les traitements au stade de 8 semaines après la levée (Tableau VI). C'est ainsi qu'on retrouve les mêmes groupes de traitements que précédemment cités pour la hauteur. En effet, les plants qui ont

reçu une combinaison de la fumure minérale et organique ont le meilleur développement.

Tableau VI: Effet des traitements sur la hauteur et la vigueur des plants de maïs

Treatments	Hauteur des plants (en cm)			Vigueur des plants
	30 JAL	60 JAL	Récolte	8 SAL
T1	33,40	82,10b	89,60b	1,60c
T2	33,05	104,20ab	110,90ab	2,80ab
T3	41,75	97,00ab	98,90b	2,10bc
T4	48,45	121,40a	124,80ab	3,45a
T5	35,85	83,60b	92,00b	1,60c
T6	43,85	119,80a	132,60a	3,40a

T1(Témoin), T2(100kg/ha NPK+50kg/ha N), T3(5t/ha FO), T4(5t/ha FO +100kg/ha NPK+50kg/ha d'urée), T5(10t/ha FO), T6(10t/ha FO +100kg/ha NPK+50kg/ha d'urée).

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Fisher

4.3.3. Effet de l'incidence de striga en fonction du stade de développement du maïs.

Les résultats de l'analyse de variance (Tableau VII) indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements en ce qui concerne le nombre de striga qui sont apparus au niveau des pieds de maïs et ceci quelque soit le stade de développement de la plante (8, 10 ou 12 semaines après levée. Le nombre de striga noté au pied des plants de maïs est extrêmement faible.

Aux stades de 8 et 10 semaines après levée, des termites menaçantes ont été observées sur les parcelles T5, T3, et T4 (photo 6). Les dégâts de ces termites peuvent se traduire par la verse des plants (photo 5).



Photo 5: La vers des plants du maïs au stade 80 jours après levée

Photo 6: Termite causant la verse au stade 80 jours après levée

Tableau VII: Effet des traitements sur le nombre de striga en fonction du stade de développement du maïs

Treatments	8 SAL	10 SAL	12 SAL
T1	0,50	0,00	0,00
T2	0,00	0,75	2,50
T3	1,50	0,25	0,25
T4	0,00	0,00	0,00
T5	2,75	2,00	1,25
T6	0,50	0,75	0,25

T1(Témoin), T2(100kg/ha NPK+50kg/ha N), T3(5t/ha FO), T4(5t/ha FO +100kg/ha NPK+50kg/ha d'urée), T5(10t/ha FO), T6(10t/ha FO +100kg/ha NPK+50kg/ha d'urée).

4.3.4. Effet des traitements sur le rendement en pailles, épis, grains et sur l'indice de récolte du maïs.

Les rendements en pailles et en épis du maïs diffèrent significativement entre les traitements appliqués (Tableau VIII). C'est ainsi que les meilleurs rendements en pailles (6330 kg/ha) et en épis (4030 kg/ha) ont été enregistrés pour le traitement T6 qui est constitué à la fois de 10t/ha de fumier, de 100kg/ha de NPK et de 50kg/ha d'urée. A l'inverse, le témoin et l'apport uniquement de 10 t/ha de fumier ont les plus faibles rendements : respectivement 2 t/ha et 1730 t/ha pour les pailles, et 1790 t/ha et 1680 t/ha pour les épis. Les autres traitements

ont des rendements en pailles et en épis qui sont intermédiaires.

Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements en ce qui concerne l'indice de récolte (IR).

Tableau VIII: Effet des traitements sur les rendements en pailles, épis, grains et sur l'indice de récolte du maïs

Treatments	Rendement			Indice de récolte* (%)
	Pailles (kg/ha)	Epis (kg/ha)	Grains (kg/ha)	
T1	2000b	1790c	1520	40,11
T2	4870ab	3580bc	2970	35,15
T3	2087ab	2470bc	2100	39,33
T4	4070ab	3700bc	3080	39,64
T5	1730b	1680c	1420	41,64
T6	6330a	4030a	3350	32,34

T1(Témoin), T2(100kg/ha NPK+50kg/ha N), T3(5t/ha FO), T4(5t/ha FO +100kg/ha NPK+50kg/ha d'urée), T5(10t/ha FO), T6(10t/ha FO +100kg/ha NPK+50kg/ha d'urée).

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Fisher.

CHAPITRE V : DISCUSSIONS

5.1. Caractéristiques chimiques de sol du site expérimental

Les résultats de l'analyse de sol ont montré que notre site expérimental est relativement pauvre en matière organique. Le faible rapport C/N indique que l'azote minéral qui entre dans le processus de décomposition des matières organiques n'est pas consommé par les micro-organismes et peut se décomposer très vite. Le pH du sol qui est légèrement alcalin est favorable au développement des micro-organismes comme les bactéries qui décomposent la matière organique. Les résultats montrent que la teneur en potassium est très importante avec une valeur de 322,8mg/l. D'une manière générale, le sol du site expérimental est pauvre également en éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes.

5.2. Caractéristiques chimiques du fumier

D'après les résultats des analyses chimiques des sols, le fumier organique seul ne pourra pas améliorer la fertilité du sol, car les éléments nutritifs qu'il apporte ne permettent pas un accroissement optimal de la plante. Il faut signaler que le fumier n'a pas d'effet à court terme et la minéralisation se fait dans le temps. Le pH élevé du fumier organique (pH 10) peut contribuer à rendre le sol plus alcalin et créer ainsi des conditions défavorables à la croissance et au développement du maïs. En effet, Lamboni (2003) a montré que la gamme de pH du sol favorable au maïs se situe autour de 6-7.

5.3. Effets des traitements sur la vigueur des plants à différents stades de développement.

Les résultats ont montré que l'apport de la matière organique seule à faible (5t/ha) ou à forte dose (10t/ha) est sans incidence sur la hauteur et la vigueur du maïs quelque soit le stade de développement de la plante. Ceci peut être lié aux faibles doses de matière organique utilisée par rapport aux besoins élevés du maïs. Rishirumuhirwa et Roose, (1999) ont montré que le fumier seul ne peut pas présenter des rendements plafonds pour qu'on puisse apporter des solutions rapides. Les nutriments apportés par la matière organique, sont libérés progressivement par minéralisation. Leur action est plus lente mais avec un bon arrière-effet. Au stade jeune (30 jours après levée), l'apport combiné de fertilisation organique et minérale n'a aucun effet sur la croissance de la plante. Cependant l'effet de cette combinaison commence à être significatif à partir de 60 JAL et se poursuit jusqu'à la récolte. Les meilleurs développements de la plante résultent de l'application combinée du NPK, de l'urée et de la matière organique (à 5 ou 10 t/ha). L'apport des engrais minéraux combiné au fumier permet la minéralisation plus rapide de la matière organique et aura une forte fixation des éléments

qui serviront aux plants et amélioreront la fertilité des sols de façon durable. Selon Ouattara (1994), l'effet positif des fumures organo-minérales résulte aussi de l'amélioration du statut organo-minéral, du sol et de son interaction probable sur les propriétés physiques du sol dont la densité apparente, la porosité et l'état hydrique. En effet, la période critique de la croissance qui est le stade de début montaison n'a pas connu de période de sécheresse pouvant induire un stress hydrique au niveau de la plante. Le résultat de Chad (2011) a montré que le développement de la tige du maïs est sensible au déficit hydrique au début de la phase de montaison. Ainsi, les plants qui ont reçu la combinaison de la fumure organique et minérale ont pu bien développer leur système racinaire et puiser suffisamment l'eau et les éléments nutritifs dont ils ont besoin. Ce qui se traduit par une bonne croissance en hauteur et une bonne vigueur des plants. En effet, Rabat (2003) qui soutient que la fumure minérale apporte aux plantes une partie des éléments minéraux dont elles ont besoin et la fumure organique contribue à compléter la fourniture de ces éléments en les libérant progressivement. En effet, l'apport des engrais minéraux accélère la minéralisation des fumiers et par conséquent la libération des éléments nutritifs pour le maïs (Naitormbaide, 2012). La fumure organo-minérale a tendance à améliorer la fertilité de sol et le rendement maïs, alors que lorsqu'elle est appliquée seule, la fumure minérale a des risques d'influencer négativement le rendement (Naitormbaide, 2007).

5.4. Effet des traitements sur le rendement en pailles, épis, graine et sur l'indice de récolte du maïs.

A l'instar de la hauteur et de la vigueur des plants, l'apport combiné de la fumure organique et minérale a eu effet très net sur le rendement paille et en épis du maïs. En effet, l'apport du NPK, de l'Urée et de la matière organique s'est traduit par une augmentation significative du rendement du maïs. C'est ainsi qu'il a permis de multiplier le rendement en pailles par 2 avec l'apport combiné de 5 t/ha de fumier et par 3 avec l'apport de 10 t/ha. Le rendement en épis a connu également une augmentation, bien que moindre par rapport à celui des pailles, de l'ordre du double pour les traitements. Bien que non statistiquement différent, le rendement en grains est également un peu plus élevé pour la combinaison de la fumure minérale et organique.

Yaro *et al.* (1997) ont montré que l'apport de la matière organique est très bénéfique pour les composantes du rendement. En effet, en plus de son rôle nutritif, le fumier améliore également les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol et par conséquent l'augmentation de l'efficacité des engrais minéraux (Sedogo, 1981; Bado, 1994). Par ailleurs

Bado *et al.* (1991), Uyovbisere *et al.* (1999), ont montré que lorsque les engrais minéraux sont appliqués seuls (sans apport de matière organique), les divers éléments sont facilement lixiviables et deviennent, de ce fait, indisponibles pour la plante. Ceci est également confirmé par Bationo *et al.* (2004) qui affirme que sans support, les engrais minéraux seraient plus sujets aux pertes éventuelles.

En effet, la même source confirme que, lorsque le sol est pauvre en matière organique, la capacité d'échange cationique baisse, entraînant aussi une baisse des potentialités nutritives du complexe absorbant sur lequel doivent se fixer les hydroxydes, les cations bivalents ou trivalents (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+}). Plusieurs auteurs (Sedogo, 1993; Hien, 1990 ; Lavigne-Delville, 1996; Morel, 1996) ont déjà montré que l'application des engrais minéraux sans apport organique peut entraîner à terme la dégradation de la fertilité des sols. Les engrais présentent l'avantage d'être très mobiles et cependant de donner des solutions immédiates à la correction des carences nutritives des plantes. Ils sont rapidement solubilisés et mis à la disposition de la plante. Mais cette mobilité peut augmenter les risques de lixiviation et influencer négativement les rendements à long terme (Roose, 1978).

L'étude de Rouanet (1984), a montré que l'exigence du maïs en éléments nutritifs est très variable : il exporte des quantités de nutriments N (105 kg/ha), phosphore (50 kg/ha) et 75 kg/ha de potassium pour la production de 5 T/ha. Cependant nos analyses chimiques de sol effectuées avant la mise en place de notre essai ont montré qu'il est relativement pauvre en matière organique (0,55% < 3%), en azote total (4,29), mais riche en potassium (322,8mg/l) par rapport à l'exportation du maïs pour donner une production de maïs graine 5 t/ha. Selon Rouanet (1984), le maïs présente une exigence particulière en azote et juste avant la floraison pour permettre une formation normale de l'épi. Or l'analyse chimique de notre échantillon de fumier révèle une petite quantité de l'azote (18,3) et de matière organique (0,03). Pour combler cette déficience, l'association fumure organo-minérale est recommandée.

Sedogo (1981) estime qu'en présence d'amendements organiques surtout à C/N faibles comme le fumier, l'apport d'engrais permet d'augmenter la production de matière sèche et la nutrition de la culture. Dans notre cas, le fumier apporté à un rapport C/N est très faible (2,35). 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, qui maintient le stock en eau du sol dans le domaine de réserve facilement utilisable, l'alimentation hydrique de la plante est favorisée durant un long cycle végétatif. De nombreux auteurs ont signalé cet effet bénéfique du fumier sur l'efficacité des engrais minéraux et la productivité des sols en Afrique de l'Ouest

(Sedogo, 1981; Pieri, 1989) ; et cela n'est pas loin des sols au Tchad. Du point de vue technique, cette association est donc plus intéressante qu'on la considère comme une méthode de restauration durable de terre. Sa rentabilité économique dépendra du coût de l'engrais et des prix du maïs.

Pour le rendement grains, les résultats de l'étude indiquent que les traitements étudiés n'ont pas eu des effets significatifs sur le rendement grains du maïs. Bien que non statiquement différents, l'indice de récolte est plus faible pour le traitement T6 qui a reçu la dose de 100 kg de NPK, 50 kg d'urée et 10 t/ha de matière organique. Ce qui a indiqué que ce traitement a plus contribué à une augmentation de la partie végétatives (tiges, feuilles, spathes) que des grains. Ce qui est confirmé par l'indice de récolte qui ne se distingue pas de celui des autres traitements.

Au cours de notre expérimentation, nous avons enregistré des dégâts de certains ravageurs sur les plants. C'est ainsi qu'au début de stade d'inflorescence mâle, nous avons observé de groupements de pucerons vers (*Aphidoidea*) et des mouches vertes dites *Calliphoridae* qui colonisent toutes les fleurs mâles et les dernières feuilles des plants. Ces genres de pucerons sont dangereux. Lucas (2013) a 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 (photo 3). Les feuilles situées au-dessus de l'épi sont recouvertes par le miellat des pucerons. Les soies (poils situés au sommet des fleurs) sont directement exposées au risque. www.arvalis-infos.fr/view_13017_arvarticle.html?region. (consulté le 12/10/2013).

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.

Nous avons aussi constaté le phénomène de l'apparition fleurs hermaphrodites (de l'épi femelle sur l'inflorescence mâle). Selon l'explication des observateurs de la Station de BéBédjia (Bemadjal, 2013), ceci est lié au mildiou (maladie grave provoquée par des champignons qui se développe à l'intérieur des plantes).

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. 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. Donc l'épi femelle rétrograde les graines et peut gêner les plantes et par la suite diminuer les rendements. Comme noté précédemment, confirmé par Ciba-geigy (1979), le *Sclerophthora macrospora* a également été observé avec des symptômes frappants : les inflorescences mâles et femelles deviennent buissonnantes. Selon (Chastrusse, 2013), les symptômes de cette maladie, très peu fréquentes, sont caractéristiques : prolifération, développement massif et désordonné, de la partie feuillue des organes reproducteurs, panicule et épi, afin les plantes touchées sont stériles.

CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Les contraintes majeures liées à la production agricole au Tchad restent la baisse tendancielle de la productivité des sols. La faible utilisation des fumures organique et minérale entraîne une mauvaise gestion de la matière organique du sol. L'agriculture tchadienne est minière. La cherté des engrais minéraux limite leur accessibilité pour les petits exploitants agricoles pauvres qui utilisent également très peu la fumure organique.

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.

Il ressort des résultats que la dose combinée de T6 (10 t/ha FO +100 kg/ha NPK + 50 kg/ha d'urée) produit les meilleures performances agronomiques. Par contre l'usage unique de fumier organique seul a donné de plus faibles rendements. Nous avons constaté que l'utilisation d'engrais NPK produit des rendements intermédiaires.

Nous pouvons conclure de cette étude que :

- l'application de fumure organo-minérale (10 T/ha FO +100 kg/ha NPK + 50 kg/ha d'urée) a impacté plus du rendement en pailles et en épis. Cependant elle semble sans incidence sur le rendement en grains

Au vue de tous ces résultats nous suggérons :

- A l'ITRAD : de poursuivre cette expérimentation afin de déterminer la dose économiquement rentable pour le producteur lui permettant une utilisation combinée de la fumure organique et minérale
- Adopter de bonnes pratiques agricoles pour la maïsiculture au Tchad. Notamment le semis à bonne date accompagné d'une gestion intégrée de la fertilité du sol.
- Aux agents de la vulgarisation, nous recommandons un réel suivi des producteurs dans l'accomplissement des tâches qui leur ont été assignées.
- A l'endroit des décideurs politiques, nous suggérons la subvention de l'engrais afin de faciliter aux producteurs leur accès pour la production des cultures vivrières.

Pour des raisons de fiabilité, nous suggérons que cet essai soit répété sur au moins 3-4 ans successifs pour obtenir un résultat qui reflète la réalité du milieu paysan, avant sa vulgarisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adandé A.S., 1984.** Le maïs et ses usages au Bénin méridional. Agence de coopération Adegbola P. Et Moutaharou A., 1992. Utilisation des engrais chimiques au Bénin, Cotonou.
- Ankou K. A., 2003.** Approche participative et utilisation du modèle QUEFTS pour une gestion intégrée de la fertilité des sols: Cas des terres de Barre dégradées des villages de Kpetemé et d'Adjodogou dans la préfecture de Vo au Sud-Est du Togo. Mémoire d'ingénieur Agronome en Sciences Agronomique. Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Université de Lomé, Togo, 64p.
- Atta S., 2006.** Pyrotechnie spéciale, les céréales : Mil, Sorgho, Maïs et Fonio. Centre Régional Agrhymet, Département Formation et Recherche. Niamey-Niger.35-40P.
- Bado B.V., 1994.** Modification chimique d'un sol ferrallitique sous l'effet de fertilisants minéraux et organiques: conséquences sur les rendements d'une culture continue de maïs, 57p.
- Bationo, A., Chien, S.H., Christianson, C.B., Henao, J. and Mokwunye, A.U. 1990.** A three year evaluation of two unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to Niger. *SoilSci.Soc.Am.J.*54:1772-1777.
- Bationo, A., Chien, S.M. and Mokwunye, A.U. 1987.** Characteristics and agronomics values of some phosphate rocks in West Africa. In Food grain production in semi-arid Africa.
- Bationo A., Koala S. et Ayuk E., 1998.** Fertilité des sols pour la production céréalière en zone sahélo-soudanienne et valorisation des phosphates naturels. *Cahiers Agricultures*. Vol 7 N05,365-371p.
- Bationo A., Nandwa S.M., Kimetu J.M., Kinyangi J.M., Bado B.V., Lompo F., Kimani S., Kihanda F., Koala S., 2004.** Sustainable intensification of crop-livestock systems through manure management in eastern and western Africa: Lessons learned and emerging research opportunities. *Sustainable crop-livestock production in West Africa*: 173-198.
- Berambaye.D. V., 2012.** sélection des variétés de sorgho résistantes au striga de la zone soudanienne du Tchad, mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des Travaux de Développement rural (ITDR). Centre de Formation et d'Enseignements Supérieurs Agricoles(CFESA), Association Culturelle de Formation Agricole(ACFA).3- 5 P.
- Bertrand R. et Gigou J., 2000.** La fertilité des sols Tropicaux. Paris, France, éd Maisonneuse & Larose, 397p.
- Bosc M., 1988.** Enseignements fournis par des essais de longue durée sur la fumure phosphatée et potassique. 3 essais sur la fumure potassique. In Gachon (ed). *Phosphore et*

potassium dans les relations sol-plante. Conséquences sur la fertilisation. INRA, France, Paris, 409-466p.

Boniface R., et Trocmé S., 1988. Enseignements fournis par des essais de longue durée sur la fumure phosphatée et potassique. 2 essais sur la fumure phosphatée. In Gachon (ed). Phosphore et potassium dans les relations sol-plante. Conséquence sur la fertilisation. INRA, France, Paris, 279-402p.

Chad L., (2011). Hot, Dry Weather May Have Weakened Corn Stalks, University of Kentucky; Crops management; Posted 26 August 2011.

Charreau C. et Nicou R., 1971. L'amélioration du profil cultural dans les sols sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africain et ses incidences agronomiques. Chap. IV. Les effets de l'intervention humaine sur le profil cultural et les rendements agricoles. Le travail du sol avec ou sans enfouissement de la matière végétale. Agron. Trop. 26 : 1183-1247.

Chastrusse A., (2013). Réseau de surveillance biologique du territoire 2013 pays de la Loire. BSV. Grande culture-N° 27 du 27 août 2013 :3p.

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.

CNUCED (Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement), 2010. Rapport 2010 sur la technologie et l'innovation. Renforcer la sécurité alimentaire en Afrique grâce à la science, à la technologie et à l'innovation, 134p.

Diallo L., 2011. 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 l'environnement et de recherche Agricole, Burkina Faso. 1-15p.

FAO., 2007. Interaction entre agriculture et forêt. 20ème session, Comité de l'agriculture, Rome, 25-28 avril 2007, 4 p.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Rome 2003, 51 p.

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, 190p.

Fardeau J.C., Morel C. et Oberson A., 1984. Utilisation d'un engrais potassique. Utilisation du 40K. Agronomie. (4):663-669.

Fofana, B. Gnakenou, D., Tamelokpo. A. and Koukoude, K. 2002. Results of collaborative research program for soil fertilizer Restoration and Management in Resource Poor Areas of Sub-saharan Africa, IFDC, Division Afrique-PII, Lomé, 66 p.

Hibra-Samgue V., 2004. Gestion durable de la fertilité des sols sahéliens: stratégies

adaptatives des paysans du plateau central du Burkina Faso face à la variabilité climatique.

Cas de la province du Zandoma. Mémoire DESA, Université Abdou Moumouni, Niger. 79 p.

IFDC (International Fertilizer Development Centre), 2008. Africa Fertilizer Situation, January, 2008, 91p.

INERA (Institut de l'Environnement de Recherches Agricoles), 2000. Bilan de 10 années de recherches 1988-1998. Document MESSRS/CNRST/ Burkina Faso, édition CTA. 115 p.

INRAB (Institut National des Recherches Agricoles du Bénin), 2012. Atelier bilan 2012 sur la gestion de la fertilité des sols pour accroître la productivité du maïs en Afrique de l'ouest, 1-3p.

Ganry F., 1990. Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse de docteur en Sciences Naturelles. Université de Nancy 1, 354 p.

Gommes, R. 1998. Some aspects of climate variability and food security in the sub-Saharan Africa. Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology. Demaree, G., Alexandre, J. et De Dapper, M. (eds.) Royal Meteorological Institute of Belgium / Royal Academy of Overseas Sciences, 655-673.

Gret., 1990. Manuel d'agronomie tropicale. Appliquée à l'agriculture haïtienne, 489p.

Gray C.L., 2005. What kind of intensification? Agricultural practice, soil fertility and socioeconomic differentiation in rural Burkina Faso. The Geographical Journal 171: 70-82

Gros A., 1974. Engrais. Guide pratique de la fertilisation. 436p.

Kabrahy, Yao n. R., Dea G. B. et Couloud1. Y, 1996. Effet de l'apport d'engrais et de matière organique sur le rendement en grains chez le maïs. Cahiers Agricultures 1996; 5: 18993.

Kladivko, E.J., Van Scoyoc, G.E., Monke, E.J., Oates, K.M. and Pask, W.1991. Pesticide and nutrient movement into sub-surface tile drains on a silt loam soil in Indiana. J. Env. Qual, 20:264-271.

Lal R. and Miller F.P., 1993. Soil quality and its management in humide subtropical and tropical environments. In M.J. Baker (Eds). Grassland for our world. Canberra. pp: 530-539.

Lamboni, L. (2003). Approche participative et utilisation du modèle QUEFTS pour la gestion de la fertilité des sols du village de Seve-Kpota au Sud du Togo, Mémoire d'ingénieur agronome, UL-ESA, Lomé, 117p.

Lavigne-Delville, 1996. Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel. Diagnostic et Conseil aux paysans. Collection «Le Point sur », 397p.

Madgroff, F.R., Ross, D. and Amadon, J. 1984. A soil test for nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Am.* 48:1301-1304p.

Mbétid-Bessane E., Havard M., Djondang K., 2006. Évolution des pratiques de gestion dans les exploitations agricoles familiales des savanes cotonnières d’Afrique centrale Cahiers Agricultures vol. 15, n° 6, 2006 : 555-561.

Médard.L., 2006. Bébédjia (sud du Tchad), un espace sous pression. Colloque international “Les frontières de la question foncière – At the frontier of land issues”, Montpellier, 2006. Université de Ngaoundéré, Cameroun. E-mail : lieugomg@yahoo.fr

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, décembre 1994, 12-16p.

Mando A. and Miedema R., 1997. Termite-induced change in soil structure after mulching degraded (crusted) soil in the Sahel. Applied Soil Ecology, 6 : 241-249.

Marty P., 1992. Le maïs. Fiches techniques d’agriculture spéciale à l’usage de l’enseignement agricole d’Afrique subsaharienne. Série 1 Agridoc.

Morel C., Tiessen H., Moir J.O. and Stewart J.W.B., 1994. Phosphorus transformations and availability under cropping and fertilization assessed by isotopic exchange. Soil Sci. Soc. AmJ.(58):1439-1445.

Masto R. E., Chonkar P. K., Purakayaska T. J., Patra A. K., Singh D., 2008. Soil quality indices for evaluation of long-term land use and soil management practices in semi-arid subtropical India. Land Degrad. Develop. 19(5): 516-529.

Moule C., 1980. Céréales. Paris, France, la maison rustique, Vol.1. 318 p.

Mokwunye, A.U.1979. Phosphorus fertilizers in Nigeria Savannah Soils. II. Evaluation of three phosphate sources applied to maize at Samaru. *Trop Agric* (Trinidad). 56: 65-8.

Mokwunye A. U., De Jager A., Smaking A. M. A., 1996. Restoring and maintaining the productivity of West African soils. Key to sustainable development IFDC.

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. Mémoire Thèse de Doctorat, Spécialité Ecologie. Université de Pierre et Marie curie - Paris VI. 14p.

Naitormaide M., 2012. Incidence des modes de gestion des fumures et des résidus de récolte sur la productivité des sols dans les savanes du Tchad. Mémoire 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. 1-2.17-19.26 et 35-37p.

- Naitormaide M., 2007.** Effets des pratiques paysannes actuelles de gestion de la fertilité sur les caractéristiques physico-chimiques et la productivité des sols de savanes du Tchad: cas de Nguétté I et Gang. Mémoire de DEA, Sciences du sol, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut de Développement Rurale, Burkina Faso. 106 p.
- Ouattara B., Sedego P. M., Ayemou A., Lompo F. et Ouattara K., 1997.** Infiltrabilité d'un sol ferrugineux tropical lessivé de sorgho. Modifications du système poral. Science et Technique, Wagadougou, Burkina Faso, Revue de la recherche, vol 22, n° 2, ISSN 1011-6028.
- Paturel, J.E., E. Servat, B. Kouame, H. Lubes, M. Ouedraogo, J.M. Masson. 1995.** Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea-Part two: an integrated regional approach, *Journal of Hydrology*, 191: 16–36
- Pichot J. and Roche P., 1972.** Le phosphate dans les sols tropicaux. *Agronomie Tropicale*. 22 :65-939p.
- Pieri C., 1989.** Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherches et de développement au sud du sahara. Ministère de la coopération française et CIRAD/IRAT (Montpellier), 444p.
- Rabat. 2003.** Les engrais et leurs applications, 4^e édition, 77p.
- Randall, G.W., Evans, S.D. and Iragawaparu, T.K. 1997.** Longterm P and K application: II: Effect on corn and soybean yields and plant P and K concentrations. *J. Prod. Agric.* 10: 572-580p.
- Roth, G.W. and Fox, R.H. 1990.** Soil nitrate accumulation following corn fertilized at various N rates in Pennsylvania. *J. Env. Qual* 19: 243-248p.
- Rouanet G., 1984.** Le maïs. ACCT Paris, France, Ed Maisonneuve et Larose, 142 p.
- Sanchez A. P., Palm A. C., Szott T. L., Cuevas E. and Lal R., 1989.** Organic input management in tropical agroecosystems. In *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*, Coleman C. D., Oades M. J. et Uehara G. (Eds) pp. 125-152.
- Rishirumuhirwa T., Roose E., 1999.** Effets des matières organiques et minérales sur la réhabilitation des sols acides de montagne du Burundi. LCSC, Centre ORSTOM, Montpellier, France. 1498(38) :1.
- Sanchez P.A., Shepherd K.D., Soule M.J., Place F.M., Buresh R.J., Izac A.M.N., 1997.** Soil fertility replenishment in Africa: an investment in natural resource capital. In: *Replenishing soil fertility in Africa*. SSSA Special Publication number 51, pp. 1- 46.
- Sawadogo M. O., 2009.** Gestion de la fumure du maïs dans les systèmes de rotation bananier/maïs dans la province du Houet dans l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur

du Développement Rurale, Option Agronomie. Université polytechnique de BOBO-DIOULASSO, Institut du Développement Rural, Burkina Faso.6-7(2-5p)

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.

Sedego 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.

Sedogo 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.

Souley A.F., 2012. Effet des déjections des ovins sur la productivité du maïs a INA dans la commune de Bembereke Département du Borgou. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Option Sciences et Techniques de Production Végétale. Université d'Abomey-calavi (Benin), Faculté des Sciences Agronomiques.12-20p.

Sogbedji, J.M., H.M Van Es, C.L. Yang, L.D. Georhring and F.R. Madgoff. 2000a. Nitrate leaching and budget as affected by maize N fertilizer rate and soil type. *J. Environ. Qual*, 29: 1813-1820p.

Stevenson, J.F. 1986. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. JohnWiley&Sons,NewYork.

Uyovbisere E. O., Chude V. O. and Bationo A., 1999. Promising nutrient ratios infertilizer formulations for optimal performance of maize in the Nigérien 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, p 263-271.

Van Der Pol F., 1992. Soil mining. An unseen contributor to farm income in southern Mali. Bulletin 325, Royal Tropical Institute, 325, Amsterdam, 47 p.

Yaro D. T., Iwuafor 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, 237-239p.

(www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/chad/indexfr (Consulté le 08/04/2013)

(<http://www.cellule-economique-tchad.org/>,(consulté le 15/03/12).

(<http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Maïs&oldid=85323647> (consulté le 17/11/2012)

www.arvalis-infos.fr/view_13017_arvarticle.html?region. (consulté le 12/10/2013).

LES ANNEXES

Annexe 1. Superficie (ha) emblavées en céréales en zone soudanienne du Tchad de 1996 à 2012

Années	Mil	Sorgho	Berebéré	Riz	Maïs	Fonio	T. céréale
1996/1997	160000	355906	39600	62060	41570	1700	660836
1997/1998	140233	456979	44693	86812	25564	2219	756500
1998/1999	154700	378300	35271	75650	37970	1810	756300
1999/2000	151221	368379	32150	88875	59003	8245	627053
2000/2001	164712	356572	28383	84309	29272	886	657297
2001/2002	187212	416217	20065	83704	55008	2800	765006
2002/2003	180660	316300	23000	93430	57060	1000	671450
2003/2004	217891	344341	18326	99837	56114	5800	742309
2004/2005	212788	349726	38700	86881	58013	4185	750293
2005/2006	246406	347618	45950	96662	101498	0	838134
2006/2007	243840	504979	39300	92901	97731	*	*
2007/2008	241028	520936	32000	66886	95905	*	*
2008/2009	296100	341570	41000	82613	86975	*	*
2009/2010	201288	507872	154060	111586	101632	*	*
2010/2011	201997	549243	53400	128872	99155	*	*
2011/2012					91480		
Moyenne	200005	407662,5	43059,87	89405,2	66831,3	2864,5	722518

2010.* : données manquantes

Annexe 2. Rendements (kg ha-1) des céréales en zone soudanienne du Tchad de 1996 à 2010.

Années	Mil	Sorgho	Berebéré	Riz	Maïs	Fonio	T.céréale
1996/1997	686,4	663,3	1087,9	148,9	838,6	560,0	656,8
1997/1998	560,2	628,8	770,1	1285,6	627,5	560,2	343,8
1998/1999	553,0	668,6	886,7	1289,8	843,2	387,3	824,9
1999/2000	617,2	714,4	804,4	1693,6	731,4	275,3	890,4
2000/2001	489,5	714,0	732,8	989,8	620,2	409,7	696,8
2001/2002	586,3	673,9	888,3	1199,3	671,1	418,6	714,5
2002/2003	601,3	702,6	737,0	1351,5	697,2	350,0	765,8
2003/2004	668,6	758,3	803,5	1060,5	857,7	477,6	779,1
2004/2005	700,2	758,7	879,1	956,7	802,6	472,9	760,9
2005/2006	704,8	767,3	797,7	1379,9	842,6	434,6	830,4
2006/2007	680,3	813,9	802,0	1040,0	880,6	*	*
2007/2008	706,9	680,4	1000,0	1277,4	941,3	*	*
2008/2009	686,0	720,2	800,0	1496,0	821,4	*	*
2009/2010	518,7	729,3	768,3	957,5	824,1	*	*
2010/2011	706,9	583,4	560,4	746,8	512,9	*	*
Moyenne	631,1	705,1	821,2	1124,9	767,5	434,6	726,3

* : données manquantes

Annexe 3. Productions (tonnes) de céréales en zone soudanienne du Tchad de 1996 à 2010.

Années	Mil	Sorgho	Berebére	R. paddy	Maïs	Fonio	Total céréale
1995/1996	85699	287260	34857	78444	30013	285	516558
1996/1997	109818	236055	43079	9240	34862	952	434006
1997/1998	78553	287353	34419	111605	16042	1243	260077
1998/1999	85556	252929	31276	97575	32015	701	623851
1999/2000	93337	263159	25862	150522	43152	2270	558302
2000/2001	80632	254597	20800	83449	18154	363	457995
2001/2002	109760	280505	17824	100389	36916	1172	546565
2002/2003	108632	222239	16950	126275	39780	350	514226
2003/2004	145692	261117	14725	105873	48129	2770	578306
2004/2005	148994	265320	34020	83121	46559	1979	570895
2005/2006	173666	266724	36655	133380	85520	695945
2006/2007	165880	410981	31520	96614	86065	791060,2
2007/2008	170386	354458	32000	85439	90277	732559,8
2008/2009	203111	246014	32800	123588	71440		676953,2
2009/2010	104416	370407	118362	106840	83751		783775,6
2010/2011	142789	320405	29925,5	96236	50859		640215,6
2011/2012					98326		
Moyenne	125433	286220	34692,1	99287	50846	1209	586330,6

Annexe 4. Données climatiques (températures et pluviométrie) des sites d'étude.

Annexe 4a. Données climatiques (pluviométrie) de Bébédjia de 1996 à 2013

Année	Jan	Fev	mars	Avr	mai	Jui	Jull	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Cumul anuel
1996	0	0	0	108	108	89,9	193	294,4	238,8	54,5	0	0	1087,1
1997	0	0	6,5	133	109	154	239	204	115,7	41,4	37,3	0	1039,2
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	1016,7
2000	0	0	7,5	0	32,5	96,4	234	273,3	120,1	32			796
2001	0	0	6,6	0,9	108	102	553	381,8	204,4	81,6	0	0	1438,2
2002	0	0	19	23,2	15,9	196	237	266	203,2	50	9,3	0	1019,4
2003	0	0	0	28,4	102	184	293	280,3	124,4	72,6	18,3	0	1103,2
2004	0	0	0	18	173	181	207	227	134,6	95,3	13,3	0	1047,8
2005	0	0	0	4,4	68,3	156	211	257,4	207,6	45,2	0	0	950,3
2006	0	0	0,2	22	71,9	129	203	456,8	228	45,7	30	0	1186,3
2007	0	0	0	17,3	141	263	215	350,5	216,8	81	2,2	0	1286,9
2008	0	0	16	73,9	116	112	245	510,7	353,8	111,3	0	0	1538
2009	0	0,1	0	17,3	100	196	166	332,5	203,5	134	0,2	0	1149,9
2010	0	0	0	17,2	87,5	136	365	402,9	240,5	328	0	0	1577
2011	0	1,2	0,3	3,4	84,6	116,3	163,4	518	356	113	0	0	1356,1
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	113,7				1362,6
Moyenne													

Annexe 4b : Température minimale moyenne enregistrée à la Station de Bébédjia de 1996 à 2013

Année	Jan	Fev	mars	Avr	mai	Jui	Jull	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
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	17,32	19,25	22,70	25,57	24,19	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			
Moyenne	16,92	20,29	23,14	25,17	24,40	22,69	22,31	23,53				

Annexe 4c : Température maximale moyenne (°C) à la Station de Bébédjia de 1996 à 2013

Année	Jan	Fev	mars	Avr	mai	Jui	Jull	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
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	35,45	38,59	40,73	41,45	36,65	32,67	31,98	31,44	32,51	34,06	37,29	34,65
2005	43,85	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	34,59	39,63	42,54	42,67	39,29	35,51	33,87	31,25	31,39	33,99	36,71	34,29
2012	30,89	40,42	42,65	41,86	36,90	33,65	31,93	31,19	32,39	34,63	36,72	36,78
2013	37,92	40,84	41,90	40,59	38,63	35,63	32,41	31,65	32,8			
Moyenne	36,21	39,57	40,87	40,51	37,56	34,25	32,56	31,07				

Annexe 7 : Effet des traitements sur la hauteur en 60^{em} JAL

Analyse de la variance (Variable Hauteur des plants en 60^{em} JAL) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	4986.0	1662.0	7.78	0,005
Traitement	5	5817.4	1163.5	5.45	
Erreur	15	3202.7	213.5		
Total					
corrigé	23	14006.1			

Annexe 8 : Effet des traitements sur la hauteur des plants à la récolte de maïs

Analyse de la variance (Variable Hauteur des plants à la récolte) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	2246.7	748.9	2.87	0,008
Traitement	5	6284.9	1257.0	4.81	
Erreur	15	3919.8	261.3		
Total corrigé	23	12451.4			

Annexe 9: Effet des traitements sur la vigueur des plants de maïs

Analyse de la variance (Variable Vigueur des plants en 8^{em} SAL) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr < F
Modèle	3	2.8983	0.9661	4.15	0,001
Traitement	5	14.3283	2.8657	12.31	
Erreur	15	3.4917	0.2328		
Total corrigé	23	20.7183			

Annexe 10 : Effet des traitements sur le rendement en pailles

Analyse de la variance (Variable poids secs paille (kg)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	4408889	1469630.	0.46	0,017
Traitement	5	63454815.	12690963.	3.98	
Erreur	15	47857778	3190519.		
Total corrigé	23	115721481			

Annexe 11 : Effet des traitements sur le rendement des poids épis secs

Analyse de la variance (Variable poids frais des épis (g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	2425389.	808463.	1.44	0,014
	5	11827482.	2365496.	4.20	
Erreur	15	8449852	563324.		
Total					
corrigé	23	22702723.			