

Université Assane Seck de Ziguinchor



UFR Sciences et Technologies

Département d'Agroforesterie

Mémoire de Master

Spécialité : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers

Sujet :

**Effet de l'amendement organique et de la fertilisation
minérale sur la croissance et le rendement du mil *Sanio*
(*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) en Moyenne Casamance**

Présenté par :

Jean Claude DIATTA

Sous la Direction de Pr Daouda NGOM, Maîtres de conférences (UCAD) :

Encadreur : Dr **Ousmane NDIAYE**, Maître-Assistant (UASZ),

Co-encadreur : M. Baboucar BAMBBA, Agronome (CRA/ISRA)

Soutenu publiquement le 22 Février 2019 devant le jury composé de :

Président	M. Tidiane SANE	Maître de conférences	UFR-ST / UASZ
Membre	M. Ousmane NDIAYE	Maître Assistant	UFR-ST / UASZ
Membre	M. Ngor NDOUR	Maître Assistant	UFR-ST / UASZ
Membre	M. Antoine SAMBOU	Assistant	UFR-ST / UASZ
Membre	M. Baboucar BAMBBA	Agronome	CRA / ISRA

Année Universitaire : 2017 / 2018

DÉDICACES

« Et quoi que vous fassiez, en parole ou en œuvre, faites tout au nom du Seigneur Jésus, en rendant par Lui des actions de grâces à Dieu le Père » **Colossiens 3:17.**

Tout d'abord à Dieu le Père soit toute la gloire, toute la louange et toutes les actions de grâces pour cette œuvre.

Je dédie premièrement ce Mémoire au Seigneur JESUS-CHRIST et secondairement à :

- ✓ Mon père Laurent DIATTA et à ma mère Bertha DIATTA pour l'affection, l'éducation, les sacrifices matériels, financiers et moraux, les conseils et les encouragements qu'ils m'ont toujours apportés.
- ✓ Mes parents spirituels, le Pasteur Zacharie ABENA ETOUNDI et son épouse Jeanne Angèle BOKONO ETOUNDI, pour leurs prières, conseils et encouragements qui ont rendu possible la réalisation de ce travail.
- ✓ Mes bien-aimés frères et sœurs biologiques : Abouly DIATTA, Ginette DIATTA, Charles Attabo DIATTA et Arnaud DIATTA pour l'amour, la tolérance, la paix dans lesquels nous avons vécu et les assistances qu'ils m'ont gracieusement accordées.
- ✓ Mes bien-aimés frères et sœurs spirituels en Christ pour les conseils, les exhortations, le soutien moral qu'ils m'ont apportés dans l'exécution de ce travail. Je leur rends le témoignage que leur amour pour moi et leur fardeau de me voir réussir brillamment sont admirables et sont à magnifier.
- ✓ A mes oncles et tantes en particulier Amie Dabo DIATTA qui s'est investie financièrement pour mon succès scolaire et universitaire.

REMERCIEMENTS

Je rends grâce au Très-Haut, Dieu Tout-Puissant, pour m’ avoir permis de réaliser ce travail.

Cette étude menée à la station de Séfa/Sédhiou, dans le cadre du projet WAAPP/Mil *Sanio*, en partenariat avec CRA/ISRA/Djibélor et l’UASZ, a bénéficié du soutien de plusieurs personnes pour sa réalisation. Entre autres, j’ exprime ma sincère reconnaissance et ma profonde gratitude :
Au coordinateur du projet Moustapha Guèye pour tout.

Au Dr Ousmane NDIAYE, enseignant-chercheur au département d’ Agroforesterie de UASZ pour les conseils et pour l’ encadrement.

Aux Pr Daouda NGOM, Dr Ngor NDOUR, Dr Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, Dr Siré DIEDHIOU, Dr Djibril SARR, Dr Antoine SAMBOU, Dr Aly DIALLO, Dr Ousmane NDIAYE et l’ ensemble des vacataires pour la formation.

A l’ Ex-Directeur du CRA de Djibélor, M. Saliou DJIBA, au Dr Paterné DIATTA actuel Directeur du CRA et à tout le personnel du CRA de Djibélor pour l’ accueil et le soutien.

Au Directeur du CRZ de Kolda et son personnel pour le soutien important lors de mon passage.

A mon maître de stage, M. Baboucar BAMBA, ingénieur agronome au niveau du CRA/Djibélor pour l’ encadrement.

Au Dr Boubacar CAMARA et aux doctorants du département d’ Agroforesterie pour la considération et les conseils.

A mes amis et camarades étudiants de l’ UASZ, notamment ceux de la 6^{ème} promotion de master du département d’ Agroforesterie avec qui j’ ai cheminé, j’ ai partagé des connaissances scientifiques ensemble et j’ ai développé la capacité du travail en équipe à travers les exposés.

En fin et non les derniers, je témoigne extrêmement et indéfectiblement ma profonde gratitude :

- ✓ A mon honorable tuteur de Séfa/Sédhiou, Ibrahima Sangoné BASSENE pour l’ hospitalité remarquable et l’ appui sur le terrain.
- ✓ A mon tuteur de Kolda, Dr KONTA, à son épouse et aux restes de sa famille pour tout le bien et l’ hospitalité qu’ ils m’ ont accordés lors de mon passage au CRZ,
- ✓ Aux ouvriers de Séfa pour leurs services : les sarclages, la surveillance du mil contre les oiseaux ravageurs de la culture et la récolte des épis et biomasse végétale,
- ✓ A toutes les personnes qui de près ou de loin ont participé d’ une manière ou d’ une autre à l’ exécution de ce travail et à la production de ce document,
- ✓ Au président du jury et à tous les membres du jury pour leur acceptation gracieuse à siéger pour juger et évaluer ce travail afin de lui donner une qualité scientifique plus considérable.

DÉDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS	v
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	vi
RESUME	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. Contexte justificatif de l'étude	3
1.2. Généralités sur le mil	3
1.2.1. Origine, domestication et propagation	3
1.2.2. Systématique et diversification	3
1.2.3. Caractéristiques botaniques	4
1.2.3.1. Morphologie du mil	4
1.2.3.2. Mécanisme de résistance aux conditions pédoclimatiques défavorables	4
1.2.3.3. Les modes de reproduction	4
1.2.4. Les types de mil cultivés pour les grains	5
1.2.5. Exigences écologiques du mil	5
1.2.5.1. Le sol et l'eau	5
1.2.5.2. La température et la lumière	5
1.2.6. Stades principaux de développement du mil et leur description	5
1.2.6.1. Feuillaison et tallage	6
1.2.6.2. Montaison	6
1.2.6.3. Epiaison	6
1.2.6.4. Floraison	6
1.2.6.5. Fructification	7
1.2.6.6. Maturation des grains	7
1.2.7. Importance du mil	7
1.2.8. Principaux nuisibles du mil et méthodes de lutte	7
1.2.8.1. Maladies fongiques	7
1.2.8.2. Les adventices	8
1.2.8.3. Les insectes	9

1.2.8.4. Les oiseaux	9
1.2.9. Entretien de la culture	9
1.2.10. Amendement organique et fertilisation minérale	9
1.2.11. Rendement et potentiel productif du mil	10
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES	11
2.1. Le site de l'étude	11
2.2. Méthodes	13
2.2.1. Facteurs étudiés	13
2.2.2. Dispositif expérimental.....	13
2.2.3. Conduite de l'essai	15
2.2.3.1. Travaux pré-culturaux	15
2.2.3.2. Activités culturelles	15
2.2.4. Pratique de comptage, de mesure ou de pesée de paramètres.....	16
2.2.4.1. Comptage des paramètres agro morphologiques et de production....	16
2.2.4.2. Mesure des paramètres agro morphologiques	16
2.2.4.3. Mesure des paramètres de production.....	17
2.2.5. Gestion et analyse statistique des données	17
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	18
3.1. Résultats	18
3.1.1. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur la densité des plantes	18
3.1.2. Effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur le tallage .	19
3.1.3. Effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur le diamètre des tiges et la longueur des entre-nœuds	20
3.1.4. Effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur la hauteur	22
3.1.5. Effet de l'amendement et de l'engrais sur le diamètre et la longueur des épis..	24
3.1.6. Effet de l'amendement et de l'engrais sur la biomasse aérienne sèche	25
3.1.7. Effet de l'amendement organique et de l'engrais minéral sur le nombre d'épis, le poids d'épis, le rendement grains et le poids 1000 grains	27
3.2. Discussion	29
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	34
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	35

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ANOVA : Analyse de la variance (Analysis of variance)

AO : Amendement Organique

CEC : Capacité d'Echanges Cationiques

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CNRA: Centre National de Recherches Agronomiques

CRA : Centre de Recherches Agricoles

CRZ : Centre de Recherches Zootechniques

DAPS : Direction de l'Analyse de la Prévision et des Statistiques

FAO: Food and Agriculture Organization

FM: Fertilisation Minérale

GRET : Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

ISRA: Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

JAL : Jour Après Levée

JAR : Jour Après Récolte

JAS : Jour Après Semis

Mb : Million de base

NPK: Engrais ternaire contenant de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PAM : Programme Alimentaire Mondial

pH : potentiel Hydrique

Pr : Probabilité

T1 : Témoin amendement organique

T2 : Témoin fertilisation minérale

UASZ : Université Assane Seck de Ziguinchor

UM : Université de Montpellier

UNICEF : Fonds des Nations Unies pour l'Enfance

USAID : United States Agency for International Development

SECNSA : Secrétariat Exécutif du Conseil National de Sécurité Alimentaire

SG-FIDA : Sasakawa Global-Fonds International pour le Développement Agricole

WAAPP: West Africa Agricultural Productivity Program (PPAAO)

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1: Carte de localisation de la station de Séfa	11
Figure 2: Evolution et répartition de la pluviométrie mensuelle (2017) et des moyennes mensuelles de la normale climatique (1981-2010 de la station de Séfa	12
Figure 3: Dispositif expérimental en split-plot design	14
Tableau 1: Propriétés chimiques de la poudrette bovine utilisée comme matière organique ..	12
Tableau 2: Informations complémentaires sur les niveaux ou modalités des facteurs étudiés	13
Tableau 3: Densité des plantes de mil Sanio en fonction de l'amendement et de l'engrais minéral	18
Tableau 4: Nombre de talles totales et nombre de talles fertiles en fonction de l'amendement organique et de la fertilisation minérale.....	20
Tableau 5: Croissance en diamètre des collets et des épis du mil Sanio selon l'amendement organique et de la fertilisation minérale.....	21
Tableau 6: Effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur la taille des plantes de mil Sanio	23
Tableau 7: Diamètre et longueur des épis de mil en fonction de l'amendement organique et de la fertilisation minérale	24
Tableau 8: Influence de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur le rendement de la biomasse aérienne sèche (tiges + feuilles)	26
Tableau 9: Le nombre d'épis, le poids d'épis secs, le poids grains et le poids de 1000 grains en fonction de l'amendement organique et de la fertilisation minérale.....	28

RESUME

Le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) est la culture vivrière qui occupe la première place dans le secteur des céréales au Sénégal. Cependant la pauvreté du sol en matière organique et en éléments minéraux couplée à la forte baisse pluviométrique rend ses rendements faibles. C'est pourquoi cette étude a été réalisée en Moyenne Casamance. Son objectif est d'identifier un plan de fumure organo-minéral qui offre à la plante une meilleure croissance et un meilleur rendement en grains. Le dispositif expérimental adopté est en split-plot à deux facteurs. L'amendement organique est le facteur principal avec 3 niveaux : 0 tonne.ha⁻¹ (T1), 5 tonnes.ha⁻¹ (AO2) et 10 tonnes.ha⁻¹ (AO3). Par contre la fertilisation minérale qui est le facteur subsidiaire compte 4 modalités : 0 kg.ha⁻¹ (T2), 75 kg.ha⁻¹ NPK + 50 kg. ha⁻¹ Urée (FM2), 150 kg.ha⁻¹ NPK + 100 kg. ha⁻¹ Urée (FM3) et 225 kg.ha⁻¹ NPK + 150 kg. ha⁻¹ Urée (FM4). Les résultats de l'analyse des données ont révélé l'interaction AO*FM sans effet significatif sur l'ensemble des paramètres étudiés (Pr > 0,05) aussi bien sur la croissance que sur le rendement du mil *sanio*. Néanmoins l'amendement organique et la fertilisation minérale ont influé positivement et significativement sur la croissance et le rendement du *Sanio*. D'une manière générale, la dose d'amendement organique AO3 a généré les meilleures performances pour tous les paramètres affectés par les apports de matière organique. Par rapport au témoin non amendé (T1), elle a augmenté de 5,77% la fertilité des talles, de 20,5% la taille des plantes, de 12,8% le diamètre des tiges, de 5,2% la longueur des entre-nœuds, de 49,94% le rendement de la biomasse aérienne sèche, de 26,28% le nombre d'épis, de 49,08% le poids d'épis sec et de 66,74% le rendement grains. Les doses de fertilisation minérale FM3 et FM4 ont donné les meilleurs résultats sur la plupart des paramètres affectés par les apports d'engrais minéraux. Par rapport au témoin non fertilisé (T2), la dose FM3 a fait croître de 11,7% la taille des plantes en fin épiaison, de 81,1% le rendement en biomasse aérienne sèche alors que la dose FM4 a permis d'accroître de 38,56% le nombre de talles totales, de 11,42% la fertilité des talles, de 80,94% le rendement en biomasse aérienne sèche, de 45,18% le nombre d'épis, de 48,67% le poids des épis secs et de 45,87% le rendement grains. Les doses AO3, FM3 et FM4 seraient donc des pratiques à vulgariser pour une meilleure croissance et un rendement maximal du mil *Sanio*.

Mots clés : Mil *sanio* (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), amendement organique, fertilisation minérale, croissance, rendement, Moyenne Casamance.

ABSTRACT

Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) is the number one leading food crop in the cereals sector in Senegal. However, the soil's lack of organic matter and mineral elements, coupled with the sharp drop in rainfall, makes its yields low. That's why this study was carried out in Middle Casamance. Its objective is to identify an organo-mineral fertilization plan that offers the plant better growth and grain yield. The experimental design adopted is a two-factor split-plot. The organic amendment is the main factor with 3 levels: 0 ton.ha-1 (T1), 5 tons.ha-1 (AO2) and 10 tons.ha-1 (AO3). On the other hand, mineral fertilization is the subsidiary factor with 4 levels: 0 kg.ha-1 (T2), 75 kg.ha-1 NPK + 50 kg. ha-1 Urea (FM2), 150 kg.ha-1 NPK + 100 kg. ha-1 Urea (FM3) and 225 kg.ha-1 NPK + 150 kg. ha-1 Urea (FM4). The results of the data analysis revealed the AO*FM interaction without significant effect on all the parameters studied ($P > 0.05$) on both growth and yield of millet. Nevertheless, organic amendment and mineral fertilization had a positive and significant influence on the growth and yield of Sanio millet. In general, the dose of organic amendment AO3 generated the best performance for all parameters affected by organic matter inputs. Compared to the unamended control (T1), it increased tillers fertility by 5.77%, plant size by 20.5%, stem diameter by 12.8%, internode length by 5.2%, dry above-ground biomass yield by 49.94%, number of ears by 26.28%, dry ear weight by 49.08% and grain yield by 66.74%. The mineral fertilizer doses FM3 and FM4 gave the best results on most of the parameters affected by mineral fertilizer inputs. Compared to the unfertilized control (T2), the FM3 dose increased plant size at the end of heading by 11.7%, dry above-ground biomass yield by 81.1%, while the FM4 dose increased total tillers by 38.56%, tillers fertility by 11.42%, dry above-ground biomass yield by 80.94%, number of ears by 45.18%, dry ear weight by 48.67% and grain yield by 45.87%. The AO3, FM3 and FM4 doses would therefore be practices to be extended for better growth and maximum yield of Sanio millet.

Key words: Mil *sanio* (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), organic amendment, mineral fertilization, growth, yield, Casamance average.

INTRODUCTION

Le mil (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.) est la quatrième céréale tropicale la plus importante au monde avec une production de 28 357 451 tonnes sur une superficie de 31 705 489 ha. Il donne un rendement moyen de 900 kg.ha⁻¹ (FAO, 2015). Sa culture s'étend sur plus de 21 millions d'hectares en Afrique où près de 500 millions de personnes en dépendent pour leur survie (Moussa et al., 2017). Il constitue la base de l'alimentation humaine dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest (Diakhaté, 2013). Au Sénégal où sa production est d'au moins 1 000 000 tonnes/an (Diakhaté, 2013), le mil constitue la seconde céréale la plus consommée (28% en zone rurale et 19% en zone urbaine) après le riz (59% en zone rurale et 77% en zone urbaine) (USAID, 2017). Sa culture a toujours été la production céréalière la plus importante au Sénégal et représentait un peu plus de 43% de la production de céréales en 2013 (SECNSA et al., 2014). Malgré son importance, des contraintes entravent sa culture. En effet, selon la FAO (2003), l'agriculture des pays sahéliens est caractérisée par sa faible productivité et les faibles rendements des cultures sont souvent expliqués par les conditions pluviométriques défavorables, la très pauvre fertilité des sols et la faible utilisation des engrais. Ainsi au Sénégal, la faiblesse et la variabilité des rendements du mil sont le résultat des effets des deux contraintes principales : la sécheresse et la pauvreté des sols (Diouf, 2001) qui sont de texture sableuse et de structure instable avec de faible teneur en matière organique (Khouma, 2002 ; Gueye, 2016). Or la mise en culture des terres entraîne une diminution rapide du stock de matières organiques et l'apparition de carences en azote, phosphore et éléments divers (De Rouw et al., 1998 ; Yoni et al., 2005). Donc, les facteurs inhibiteurs de la croissance et de la production du mil restent principalement le déficit pluviométrique et l'appauvrissement du sol en matière organique et en éléments minéraux. Face à ces contraintes, des projets de recherches sur le mil ont été engagés pour améliorer sa productivité en améliorant la fertilité du sol. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre thématique de recherche dont l'objectif général est de contribuer à l'amélioration de la productivité du mil *sanio* et à la gestion durable de la fertilité des sols. Il s'agit spécifiquement de :

- ❖ étudier l'effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur certains paramètres de croissance et développement du mil *sanio* ;
- ❖ évaluer les effets de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur les rendements en grains et en biomasse du mil *Sanio* ;
- ❖ identifier un plan de fumure organo-minérale qui offre au mil *Sanio* une meilleure croissance et un meilleur rendement en grains.

Outre l'introduction et la conclusion, ce présent document est structuré en trois parties. La première traite de l'état des généralités sur la thématique. La deuxième expose le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de l'étude. La troisième présente les résultats et la discussion.

CHAPITRE 1: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Contexte justificatif de l'étude

Au Sénégal, les prévalences de la malnutrition (9,1 %) et de la pauvreté (46,7% de la population en-dessous du seuil de pauvreté et 15% en situation d'extrême pauvreté en 2011) demeurent particulièrement élevées. L'agriculture, qui joue un rôle majeur dans l'économie du pays avec 72% des ménages qui la pratiquent, est vulnérable. Les rendements agricoles généralement faibles contraignent la nation sénégalaise à importer près de 70% de ses besoins alimentaires en particulier ceux céréaliers. Ces faibles performances des rendements agricoles s'expliquent par une maîtrise limitée des ressources en eau, par la dégradation des ressources productives notamment des sols (SECNSA et *al.*, 2014). Ce contexte va engendrer des projets de recherches élaborés et entrepris pour améliorer la production agricole céréalière et hausser le niveau de vie des populations locales. C'est ainsi qu'à Sédhiou, la fertilisation organo-minérale a été appliquée sur le mil *Sanio* afin de déterminer le traitement qui offre à la spéculateur une meilleure croissance et un meilleur rendement.

1.2. Généralités sur le mil

1.2.1. Origine, domestication et propagation

Le mil est d'origine Ouest africaine (SG-FIDA, 2001 ; Clotault et *al.*, 2012 ; IRD/UM, 2015). Il a été domestiqué au sud du Sahara (SG-FIDA, 2001 ; CIRAD-GRET, 2002) entre le Niger et le Mali il y a 8000 ans (IRD/UM, 2015). Cette culture s'est par la suite répandue à travers les zones tropicales semi-arides d'Afrique et d'Asie (CIRAD-GRET, 2002).

1.2.2. Systématique et diversification

Le mil est de la famille des poaceae, de la sous-famille des *Panicoideae*, et de la tribu des *Paniceae*. Il appartient au genre *Pennisetum* divisé en cinq sections. Il est de la section *Penicillaria*, qui se caractérise par la présence d'une touffe de poils sur l'apex des étamines. Dans l'espèce *P. glaucum*, trois sous-espèces sont reconnues: *P. glaucum* subsp. *glaucum* (le mil cultivé) ; *P. glaucum* subsp. *violaceum* (la forme sauvage) et *P. glaucum* subsp. *sieberianum* qui rassemble les formes intermédiaires issues d'hybridations naturelles entre formes cultivées et formes sauvages (Bezançon et *al.*, 1997).

1.2.3. Caractéristiques botaniques

Le mil est une espèce annuelle diploïde avec sept paires de chromosomes. La plante est sexuée, hermaphrodite, préférentiellement allogame avec une protogynie fortement marquée (Bezançon et *al.*, 1997). La taille de son génome est de 2400 Mb (Moumouni, 2014).

1.2.3.1. Morphologie du mil

Le mil possède un port érigé. Sa hauteur varie entre 0,5 et 4 mètres selon les variétés (Maiti et Bidinger, 1981). La plante est constituée de tiges densément velues, rigides et pleines (Maiti et Bidinger, 1981 ; Moumouni, 2014). L'appareil racinaire est de type fasciculé. Les entre-nœuds de la base peuvent donner des talles secondaires et tertiaires. Les talles ne sont pas toutes fertiles (Maiti et Bidinger, 1981). Les feuilles sont longues, assez minces et pouvant être glabres (lisses) ou poilues et mesurer jusqu'à 1 m de long (Moumouni, 2014). L'inflorescence est une panicule (faux épi) formée d'un rachis rigide portant les épillets pédonculés et groupés en bouquets (Maiti et Bidinger, 1981). Chaque panicule peut former 870 à 3000 épillets avec une moyenne de 1600 épillets (Moumouni, 2014). La fleur supérieure de l'épillet est femelle, généralement fertile, tandis que celle inférieure est stérile ou mâle. Le fruit est un caryopse long d'environ 4 mm et de couleur variable (Maiti et Bidinger, 1981).

1.2.3.2. Mécanisme de résistance aux conditions pédoclimatiques défavorables

Le mil a un développement racinaire important pouvant atteindre jusqu'à 180 cm à la récolte, permettant une bonne adaptation aux conditions pédoclimatiques de la zone semi-aride (Maiti et Bidinger, 1981). Il se caractérise par une forte aptitude à mettre en place des mécanismes physiologiques de tolérance à la sécheresse : (i) une exploitation rapide des conditions favorables d'humectation du sol par une croissance relativement élevée; (ii) une plasticité de développement qui contrôle l'augmentation de la surface foliaire en fonction des conditions favorables de croissance en évitant une consommation excessive de la réserve en eau du sol; (iii) un volume d'exploration du sol important par les racines suivant les besoins en eau de la plante et; (iv) la sénescence des talles non fructifères, en réduisant la surface foliaire pendant la phase de remplissage des grains (Bezançon et *al.*, 1997; Moumouni et *al.*, 2015).

1.2.3.3. Les modes de reproduction

Le mil est allogame avec une pollinisation essentiellement anémophile et occasionnellement entomophile. Chez la fleur les organes femelles arrivent à maturité avant le pollen. Ce décalage favorise la fécondation croisée qui permet une utilisation aisée de l'hétérosis (CIRAD-GRET,

2002). Du fait de sa protogynie, les possibilités naturelles de fécondation croisée dominent largement sur celles d'autofécondation (Bilquez, 1970).

1.2.4. Les types de mil cultivés pour les grains

Au Sénégal, il existe deux principaux groupes de mil : les mils hâtifs ou Souna et les mils tardifs ou *Sanio* (Mahamat-Silaye, 1981). Les Souna sont peu voire non sensibles à la photopériode alors que les *Sanio* sont très sensibles à la photopériode (Kouakou, 2013 ; Kouakou et *al.*, 2013; Sy et *al.*, 2015). La durée du cycle végétatif permet de classer les variétés en trois grands groupes : Les « souna » hâtifs de 75 à 95 jours, les « *sanio* » semi-tardifs de 110 à 130 jours et les variétés tardives photopériodiques de 130 à 200 jours. Tant que les jours restent plus longs que les nuits, le *Sanio* ne fleurit pas (Sy et *al.*, 2015).

1.2.5. Exigences écologiques du mil

1.2.5.1. Le sol et l'eau

Le mil est une plante peu exigeante et s'accommode sur sols pauvres et secs (Bilquez, 1970). Il est généralement mieux adapté que la plupart des autres cultures aux régions sèches et aux sols sableux et pauvres. Son aire de prédilection se situe autour des isohyètes 430 à 900 mm (SG-FIDA, 2001). De 600 à 1000 mm de pluies, on trouve surtout les mils tardifs et de 350 à 600 mm, on trouve des mils hâtifs. Le mil peut résister à la sécheresse en début de végétation mais les besoins en eau sont importants de la montaison à la maturité avec un maximum à l'épiaison. Une sécheresse pendant la montaison, la floraison ou la maturation peut entraver la formation des grains (Moumouni, 2014).

1.2.5.2. La température et la lumière

Selon Loumrem (2004), le mil exige, pour son développement, une somme de température de 2050 à 2550°C. Ses températures de germination sont: 10-12°C (minimum), 37-44°C (optimum) et 44-50°C (maximum). Le mil est une plante héliophile chez laquelle la lumière joue un rôle déterminant, aussi bien dans les processus morphogénétiques de sa croissance que sur le déterminisme de sa floraison. La durée de l'insolation (photopériode) constitue une source de variabilité de la date de floraison des variétés photosensibles (Chaïbou, 2013).

1.2.6. Stades principaux de développement du mil et leur description

Selon Vidal (1963) le mil se développe en six phases principales que sont : feuillaison-tallage, montaison, épiaison, floraison, fructification, et maturation.

1.2.6.1. Feuillaison et tallage

La germination est hypogée. La graine peut germer au bout de 24 heures et la levée s'achever au bout de 2 à 5 JAS. La radicule apparaît la première ensuite les tiges et les feuilles. Environ 8 JAS, la radicule ou la racine principale disparaît et est remplacée par des racines secondaires ou adventives. Cette phase se caractérise par la prédominance du développement de l'appareil foliaire (Vidal, 1963). Le tallage qui est l'émission des tiges secondaires à partir des tiges primaires au niveau du plateau de tallage commence 10 jours après levée (JAL) et peut se poursuivre jusqu'au 55^e JAL pour les variétés tardives (Toudou, 2003). Le nombre définitif de talles est atteint vers 60 JAS. A ce stade la plante se présente en touffe feuillue compacte d'où émergent l'extrémité de la tige principale et de quelques tiges secondaires (Vidal, 1963).

1.2.6.2. Montaison

Elle se situe entre 60 et 90 JAS et se caractérise par un allongement inter nodal considérable des tiges et par l'apparition des dernières feuilles. Cette phase se termine par l'apparition de l'épi à l'extrémité de la tige au niveau de la dernière gaine (Vidal, 1963). Pour les variétés précoces elle va du 35-60^{ème} JAL ; pour les variétés tardives, 60-80^{ème} JAL (Toudou, 2003).

1.2.6.3. Epiaison

Durant cette phase, l'épi apparaît à l'extrémité de la dernière gaine et acquiert son format définitif. Le développement de l'épi débute à l'intérieur de la tige au cours de la montaison mais ce n'est qu'après l'allongement inter nodal de la tige que la croissance de l'épi devient active. Le nombre définitif de feuilles est atteint dès l'apparition de l'épi (Vidal, 1963). Cette apparition de l'épi est annoncée par un renflement du bourgeon terminal. Elle intervient entre le 60-70^{ème} JAL pour les variétés précoces et entre 80-105^{ème} JAL pour celles tardives (Toudou, 2003).

1.2.6.4. Floraison

Cette phase est le début de la phase reproductrice. Elle commence par l'apparition de stylets et de stigmates 3 à 5 jours avant l'apparition des anthères (Toudou, 2003). L'apparition des stigmates puis des étamines se fait du sommet à la base dès la complète apparition de l'épi et la complète floraison de l'épi se réalise 108 JAS (Vidal, 1963).

1.2.6.5. Fructification

Ce terme englobe l'ensemble des phénomènes post floraux comprenant le développement de l'ovaire, la nouaison, et la formation des graines. Bien qu'étalée, cette phase peut être située entre 108 et 124 JAS et conduit les graines à un stade de développement avancé mais de consistance encore laiteuse, ou plus ou moins pâteuse (Vidal, 1963).

1.2.6.6. Maturation des grains

La maturation est le développement progressif du caryopse du sommet vers la base de l'épi. La graine atteint sa maturité en général 25-35 jours après la fécondation (Vidal, 1963). Elle comprend : (i) la maturité laiteuse : le grain est brun verdâtre et laiteux ; (ii) la maturité cireuse ou pâteuse : le grain atteint son aspect presque définitif, son contenu est pâteux et (iii) la maturité complète : le grain est dur à ce niveau. A ce stade, le grain prend sa couleur et sa taille définitive (Toudou, 2003). Cette dernière phase (124 à 150 JAS) conduit les grains du stade laiteux au stade durci et physiologiquement mûrs (Vidal, 1963).

1.2.7. Importance du mil

Le mil est une céréale d'importance très secondaire sur le plan économique mondial (Bilquez, 1970). Il peut être utilisé comme plante fourragère (Bilquez, 1970 ; Bezançon et *al.*, 1997) et est utile dans le traitement de l'obésité et des problèmes de constipation (Ramulu et Rao, 2003). Il est également important dans l'alimentation. En effet, en fonction des variétés, le grain de mil contient 8,2 à 11,7% de protéines; 5,1 à 9,3% de lipides; 69,5 à 77% de glucides totaux ; 1,5 à 1,8% de cendres (éléments minéraux) ; 1 à 5,1% de fer. La valeur énergétique moyenne est de 393 kcal/100 g (Songre-Ouattara et *al.*, 2015). Le mil est riche en vitamines B, en potassium, phosphore, magnésium, fer, zinc, cuivre et manganèse (Ramulu et Rao, 2003). Le grain peut aider à augmenter le taux d'hémoglobines grâce à sa quantité élevée en fer (Moussa et *al.*, 2017). Les tiges entrent dans la fabrication de toitures et de clôtures traditionnelles (Bezançon et *al.*, 1997).

1.2.8. Principaux nuisibles du mil et méthodes de lutte

1.2.8.1. Maladies fongiques

Le Mildiou est provoqué par *Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schroet (Ndiaye et *al.*, 2005). C'est la maladie la plus dangereuse du mil dans le Sahel (Mbaye, 1993). Elle cause des pertes annuelles de 0,2 à 21 % du rendement du mil au Sénégal (Mbaye, 1988). Cette maladie se caractérise par la transformation partielle ou totale de l'épi en organes foliacés ou la mort totale de la plante (Moumouni, 2014). L'utilisation de variétés résistantes, le traitement des semences

avec un mélange insecticide-fongicide (CNRA, 2005), la destruction des pieds malades et la rotation culturale (Ndoye et *al.*, 1984) constituent des moyens de lutte.

Le charbon du mil, lié à *Tolyposporium peniciluriae* Bref., occupe la 2^{ème} place après le mildiou dans le Sahel (Maye, 1993). Sa sévérité moyenne a varié de 1 à 20% en 1985 et de 1 à 4% en 1986 au Sénégal (Mbaye, 1988). Les grains sont transformés en glomérules verdâtres puis noirs à maturité. L'utilisation des variétés résistantes ou tolérantes, l'arrachage et le brûlage des plantes atteintes (Ndoye et *al.*, 1984 ; Moumouni, 2014), le choix d'épis sains pour des semences saines et le choix des dates de semis permettant au mil de fleurir en dehors des périodes de forte pluviométrie (CNRA, 2005) constituent les principales méthodes de lutte.

L'ergot du mil, causé par *Claviceps fusiformis* (Loveless), est la 3^{ème} maladie la plus importante du mil dans le Sahel. Elle se caractérise par la formation des sclérotés sur les chandelles à la place des grains. Les pertes en grains peuvent atteindre 100% (Mbaye, 1993). En cas d'attaque, la formation de grains est inhibée dans les épillets non atteints du fait de la sécrétion de miellat (Ndoye et *al.*, 1984). La lutte contre l'ergot du mil est basée sur l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes, l'arrachage et le brûlage des pieds atteints (Moumouni, 2014) et l'usage des insecticides systémiques à la floraison limitant les insectes vecteurs de la maladie (CNRA, 2005).

1.2.8.2. Les adventices

Les mauvaises herbes constituent un grand problème dans la culture du mil dans la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest (Mbaye, 1993). Le désherbage manuel est la plus pratique courante pour lutter contre les mauvaises herbes (Touré, 2012).

Le *Striga hermonthica* (Del.) Benth. : C'est un parasite obligatoire qui vit au dépend du mil. Il cause des dégâts appréciables (Mbaye, 1993). Au Sénégal les pertes sur le mil Souna varient entre 30 et 52% (Wade et Kamara, 2007). Dans le cas d'attaques sévères aucun épi n'est produit (Bezançon et *al.*, 1997).

Le shibra (*P. stenostachyum*) provient d'un croisement entre mil cultivé et mil sauvage. Par mimétisme il échappe au sarclage et présente à la récolte des épis différents (Niangado, 1989).

1.2.8.3. Les insectes

Les mineuses de l'épi sont dominées par *Raghuva albipunctella* qui est la plus nuisible au Sénégal (Ndoye, 1979). Les pertes associées varient de 3,8 à 34,1% (Mbaye, 1993).

Les foreurs de tige les plus dangereux sont *Acigona ignefusalis* sur les variétés précoces et *Sesamia calmistis* sur les variétés tardives (Ndoye, 1982).

Les avorteurs d'épis sont surtout *Geromya penniseti* felt (cecidomyiidae) qui provoque l'avortement des épis. Les dégâts peuvent atteindre 100% (Mbaye, 1993).

Les acridiens dont le criquet pèlerin (*Schisfocercu gregaria*) est le plus dangereux d'Afrique et peut causer des pertes de 100% sur le mil (Mbaye, 1993).

1.2.8.4. Les oiseaux

Parmi les espèces les plus nuisibles, figurent *Quelea quelea* (travailleur à bec rouge), *Q. erythroptus* (travailleur à tête rouge), *Ploceus cucumillatus* (le gendarme) et *Passer luteus* (moineau doré). Ils sont polyphages et les dégâts varient de 10 à 30 % (Mbaye, 1993).

1.2.9. Entretien de la culture

Faire un premier sarclage (15 JAS). Démarier à 3 plants par poquet 21 JAS. Repiquer les pieds issus du démariage dans les poquets manquants dès que le sol est bien mouillé. Sarcler ultérieurement selon l'état d'enherbement de la parcelle. Maintenir un couloir propre de deux mètres tout autour de la parcelle par sarclage répété. A la montaison apporter 50 kg par hectare d'urée comme engrais de couverture (CNRA, 2005).

La lutte chimique contre les insectes préconise l'utilisation d'une gamme de produits tels que : Furadan, Granox, Spitox, Décis, Bénomil, Endosulfant, Diél-direct 10 cl pour 12 L d'eau, diméthoate, thimul 35 (Touré, 2012).

1.2.10. Amendement organique et fertilisation minérale

La fertilité est un facteur limitant des rendements du mil (Kouakou, 2013). Les amendements font partie des moyens permettant de préserver ou d'améliorer cette fertilité (Asdrubal et al., 2006). La bonne productivité du mil exige des sols assez fertiles (Mahamat-Silaye, 1981). La fertilisation est un élément-clé pour accroître les rendements et la production agricole (DAPS, 2009). Les éléments qui limitent le plus la croissance et le rendement des cultures sont l'azote, le phosphore et le potassium. Une fertilisation équilibrée améliore la résistance des cultures aux maladies, aux ravageurs et aux mauvaises herbes (Asdrubal et al., 2006). Les amendements

améliorent les propriétés physiques, chimiques et l'activité biologique des sols (Soltner, 2003 ; Asdrubal *et al.*, 2006 ; Agronomie, 2009). Ainsi, la restitution organique sous forme de fumier permet de relever sensiblement les rendements (SG-FIDA, 2001) puis qu'un apport de fumier, composté ou non, apporte au sol à la fois de l'azote, du soufre, du phosphore, du potassium, du magnésium, et des oligo-éléments (Agronomie, 2009). Sarr (1986) a démontré que les rendements en mil grains obtenus avec le fumier sont au moins 3 à 4 fois supérieurs à ceux obtenus sans amendement organique.

Les engrais minéraux apportent au moins l'azote, le phosphore et le potassium (Asdrubal *et al.*, 2006). L'azote permet une croissance vigoureuse des plants pendant la phase végétative (Lacharme, 2011) et a un impact décisif sur le rendement (Etter, 2017). Le phosphore permet une meilleure croissance racinaire, favorise un tallage plus actif avec des talles fertiles et agit sur le bon développement des grains (Lacharme, 2011). Le potassium favorise le tallage, la résistance à la verse, à la sécheresse et accroît la taille et le poids des grains (Lacharme, 2011).

La fertilisation organo-minérale corrige les déficiences naturelles du sol, évite l'épuisement du sol et améliore la productivité des cultures (Asdrubal *et al.*, 2016). Les apports de matières organiques à une fertilisation minérale induisent une meilleure alimentation du mil et ont une influence nette sur son développement et sa production (Cissé, 1988). Les engrais minéraux et la matière organique améliorent les propriétés physiques du sol et augmentent les rendements culturaux par rapport aux seuls apports d'engrais chimiques (Ganry et Feller, 1977). Ils constituent d'importantes sources (réserve) d'éléments nutritifs pour les plantes (Ganry et Feller, 1977 ; Biaou *et al.*, 2017). Ils amoindrissent le risque d'acidification du sol et augmentent la durabilité et la productivité des systèmes de production (Harris, 2002).

1.2.11. Rendement et potentiel productif du mil

Au Sénégal, les rendements du mil sont plus faibles (400-600 kg de grains à l'hectare) que ceux des autres céréales (SG-FIDA, 2001 ; Diouf, 2000) alors que son potentiel productif atteint 2500 à 3000 Kg/ha (Diouf, 2000).

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. Le site de l'étude

La station de Séfa (12°47' N, 15°32' O et 10 m d'altitude) est dans la région de Sédhiou qui correspond à la sous zone agro écologique de la Moyenne Casamance (Gueye, 2016). Elle est à cheval entre la commune de Koussi et celle de Diendé (Figure 1). Le climat est de type sud-soudanien continental (Sagna, 2005).

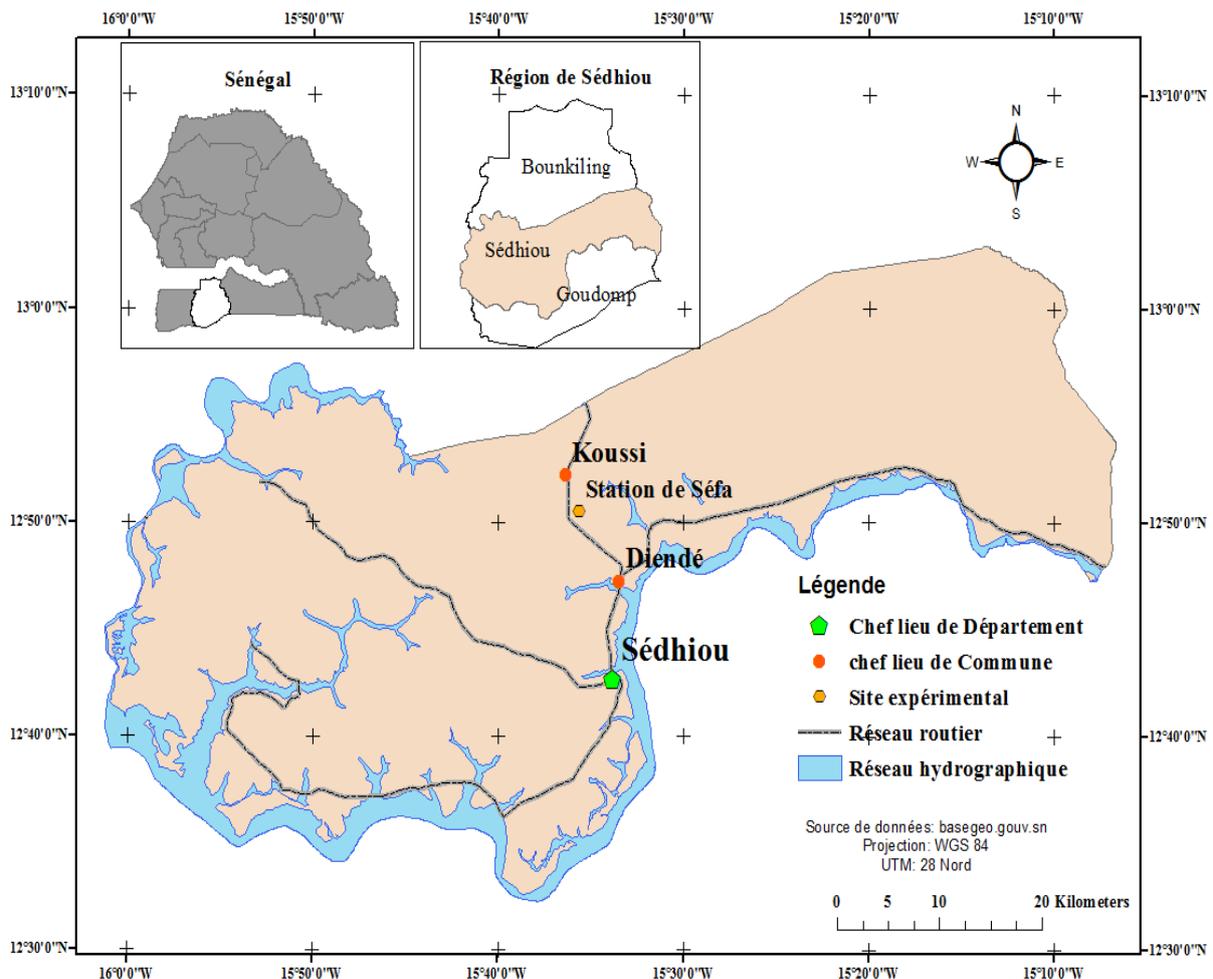


Figure 1: Carte de localisation de la station de Séfa

Son climat de type sud-soudanien continental compte deux saisons : une sèche et l'autre pluvieuse. Celle pluvieuse s'étend souvent de Mai à Octobre et correspond à la période des activités agricoles, la culture du mil en particulier. Les totaux mensuels de la normale climatique 1981-2010 ont atteint 1065,4 mm. En 2017, le cumul de la pluviométrie mensuelle a atteint 1028,9 mm en 42 jours. Les mois d'Août et Septembre ont été les plus pluvieux avec respectivement 317,9 mm et 310,6 mm de pluies enregistrés. En comparaison au cumul de la normale climatique, le cumul de 2017 a connu un déficit de 3,42% (Figure 2).

L'essai a été conduit sur un sol sableux acide (pH variant entre 4,5 et 5,0), de faible capacité de rétention en eau. Sa composition granulométrique est à 93,3% de sable ; 3,4 % de limon et 3,3 % et d'argile (Gueye, 2016). Le sol est lessivé et mal drainant et contient entre 87 et 93,3% de sable. Il est très peu pourvu en matière organique (0,4-1,0%) et en argile (3,3-7,8%) d'où leur faible capacité de rétention (CEC) variant entre 3,1 et 5,0 cmol+/kg. Le phosphore assimilable varie entre 20 et 26 mg/kg (Gueye, 2016).

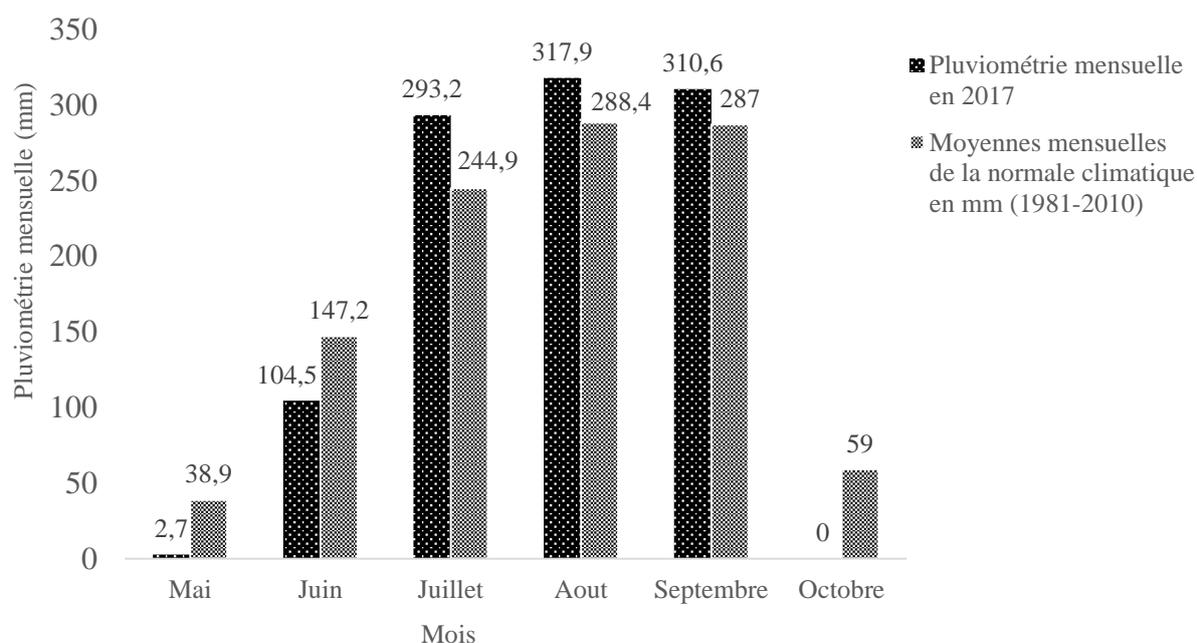


Figure 2: Evolution et répartition de la pluviométrie mensuelle (2017) et des moyennes mensuelles de la normale climatique (1981-2010 de la station de Séfa

2.2. Matériel

Le matériel chimique utilisé concerne les engrais minéraux NPK (15-15-15) et l'urée (46% N). Le matériel biologique est de deux types : le végétal « mil *Sanio* » et la fumure organique. Le mil *Sanio* est un cultivar de la station de Séfa. C'est une variété à cycle long (130 à 150 jours) dont les épis sont aristés et les grains plus gros que ceux des mils précoces, mais plus petits que ceux des sorghos Diouf (2001). Elle est sensible à une photopériode de jours courts. La fumure organique est un fumier d'étable (poudrette bovine). Ses caractéristiques sont présentées dans le Tableau 1 (Gueye, 2016).

Tableau 1: Propriétés chimiques de la poudrette bovine utilisée comme matière organique

MS (%)	MO	Azote	Carbone	C/N	Phosphore	Potassium	Calcium	pH
	% ¹				% ¹			
93,5 ± 3,0	42,4 ± 20,5	1,3 ± 0,5	18,6 ± 3,6	14,31	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0,2	0,9 ± 0,4

Les valeurs des colonnes représentent la moyenne et l'écart-type ; 1 Valeur en % de matière sèche (MS) ; MO (matière organique).

2.2. Méthodes

2.2.1. Facteurs étudiés

Les facteurs étudiés sont l'amendement organique (AO) et la fertilisation minérale (FM). L'amendement organique comptait trois niveaux dont T1 : témoin non amendé ; AO2 : 5 tonnes.ha⁻¹ de fumier d'étable (FE) et AO3 : 10 tonnes.ha⁻¹ de fumier d'étable. La fertilisation minérale comprenait quatre modalités dont T2 : témoin non fertilisé ; FM2 : 50% DR (NPK + Urée) ; FM3 : 100% DR (NPK + Urée) et FM4 : 150% DR (NPK + Urée).

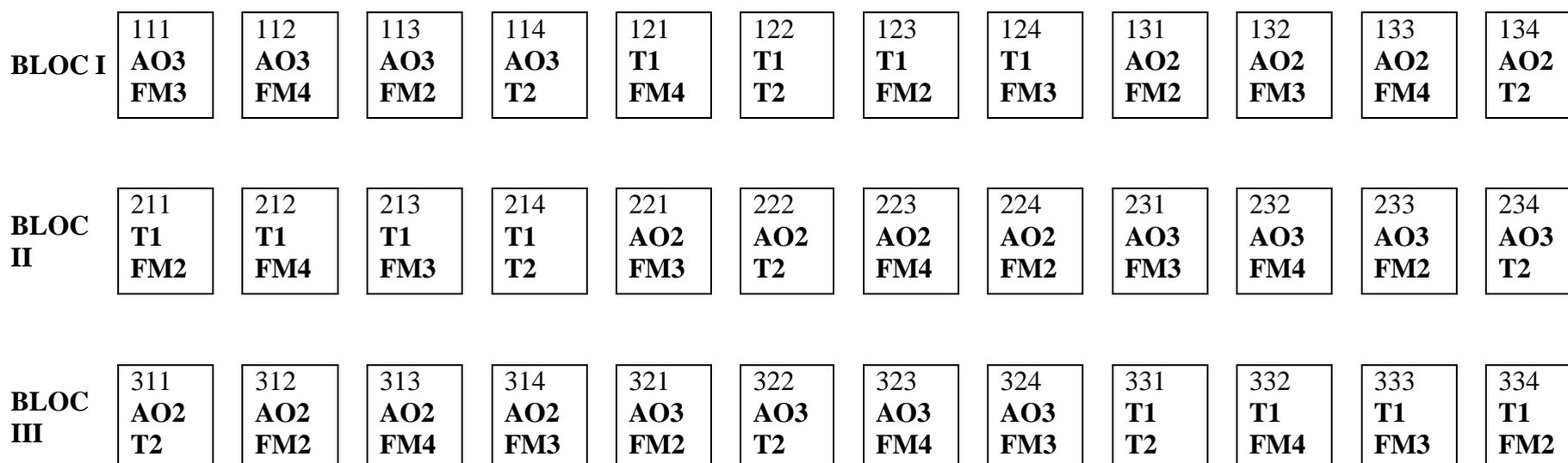
Tableau 2: Informations complémentaires sur les niveaux ou modalités des facteurs étudiés

Facteurs étudiés	Type de parcelles	Niveaux ou Modalités
Amendement organique (AO)	Grandes parcelles	T1 : 0 tonne.ha ⁻¹ (témoin non amendé)
		AO2 : 5 tonnes.ha ⁻¹ (80 kg de FE/grande parcelle)
		AO3 : 10 tonnes.ha ⁻¹ (160 kg de FE/grande parcelle)
Fertilisation minérale (FM)	Petites parcelles	T2 : témoin non fertilisé
		FM2: 75 kg.ha ⁻¹ NPK + 50 kg. ha ⁻¹ Urée (50% DR)
		FM3 : 150 kg.ha ⁻¹ NPK + 100 kg. ha ⁻¹ Urée (100% DR)
		FM4 : 225 kg.ha ⁻¹ NPK + 150 kg. ha ⁻¹ Urée (150% DR)

NPK = 15-15-15 ; Urée = 46-0-0 ; DR = dose recommandée ; FE = fumier d'étable (poudrette bovine)

2.2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un split-plot design (parcelles divisées) avec trois répétitions. L'amendement organique (facteur principal) a été attribué aux grandes parcelles (Bar-Hen, 1998 ; Dagnelie, 2012). La fertilisation minérale (facteur secondaire) a été appliquée aux petites parcelles (Bar-Hen, 1998 ; Dagnelie, 2012). Les grandes parcelles sont séparées entre elles de 1,5 m. Chaque bloc compte 12 petites parcelles dont chacune est une unité expérimentale. Elles sont distantes de 1 m. Chaque unité expérimentale compte 8 lignes de 7,2 m de long et couvre une superficie de 50,4 m² (7,2 m x 7 m). L'espacement entre les lignes est de 1 m. La parcelle utile compte 6 lignes centrales de 7,2 m x 5 m soit une superficie de 36 m² dans la parcelle élémentaire. Une ligne compte 6 poquets espacés de 1,44 m entre eux. Le schéma du dispositif expérimental est présenté à la Figure 3



Légende

Bloc I, Bloc II, Bloc III = répétition I, II, III	111 = numéro d'unité expérimentale (petite parcelle n°1 de la grande parcelle n°1 dans le bloc I)
Dimension parcelle: L : 7,2 m ; l : 7 m Superficie totale : 50,4 m ² Superficie parcelle utile : 7,2 m x 5 m = 36 m ²	Distance entre blocs = 1,5 m Distance entre unité expérimentale dans un bloc = 1 m Distance entre lignes : 1 m
T1 : 0 tonne.ha ⁻¹ (pas de fumier d'étable, FE); AO2 : 5 tonne.ha ⁻¹ (80 kg de FE/grande parcelle) ; AO3 : 10 tonne.ha ⁻¹ (160 kg de FE/grande parcelle)	T2 : sans engrais ; FM2 : 75 kg.ha ⁻¹ NPK+50 kg.ha ⁻¹ Urée (50% DR) ; FM3 : 150 kg.ha ⁻¹ NPK+100 kg.ha ⁻¹ Urée (100% DR) ; FM4 : 225 kg.ha ⁻¹ NPK+150 kg.ha ⁻¹ Urée (150% DR)

Figure 3: Dispositif expérimental en split-plot design

2.2.3. Conduite de l'essai

L'essai a été conduit durant l'hivernage de 2017, de Juillet à Décembre. Le précédent cultural est une jachère d'un an. Le mil *sanio* a été installé en humide. Les techniques culturales pratiquées ont été le semis en poquets, le démariage à 3 plants par poquet et le sarclage. Les opérations culturales ont été essentiellement les travaux pré-cultureux et les activités culturales.

2.2.3.1. Travaux pré-cultureux

Les travaux pré-cultureux concernent la préparation du sol. Ainsi un défrichage et un nettoyage ont été réalisés sur le site expérimental.

2.2.3.2. Activités culturales

Après labour et nivellement du sol, les blocs et les unités expérimentales ont été installés sur le site expérimental. Ensuite le semis en poquets à raison de 8 à 12 grains/poquet a été réalisé le 19 Juillet 2017 sur des lignes de 7,2 m.

La fumure organique (FE) a été épanchée après le labour avant le semis selon les niveaux du facteur principal (Tableau 2). L'engrais de fond NPK (15-15-15) a été appliqué après le semis avant le démariage en conformité aux modalités du facteur secondaire étudié (Tableau 2).

La levée a été notée 5 JAS correspondant à la date du 24 Juillet de l'année. Après la levée, un démariage à 3 plants par poquet a été effectué 10-15 JAL. Une moitié de l'engrais de couverture (Urée 46% N) a été apportée aux plantes au tallage et l'autre moitié à la montaison conformément aux modalités du facteur secondaire (Tableau 2).

Trois sarclages nécessaires ont été effectués respectivement au démariage (12-13 JAL), au tallage (32-33 JAL) et à la montaison. Une surveillance contre les oiseaux a été faite sur les parcelles de la levée à la fin du cycle.

Entre 140 et 142 JAS, la récolte des épis et de la biomasse aérienne a été réalisée. Une ligne était délaissée de part et d'autre par parcelle élémentaire pour éviter l'effet de bordure. Ainsi, sur 8 lignes, 6 qui constituaient la parcelle utile étaient récoltées tant en biomasse qu'en épis.

Les épis de chaque parcelle utile ont été dénombrés le jour même de leur récolte. Les poids secs des épis et de la biomasse aérienne sèche (tiges + feuilles) ont été déterminés à la pesée par parcelle utile. Une ficelle a servi à lier les épis en bottes et la biomasse végétale aérienne en gerbes pour faciliter la pesée et le transport des épis pour les sécher et les stocker avant

l'égrainage. Les épis et la biomasse aérienne ont été séchés au soleil et leur poids constant a été relevé 22 à 24 jours après récolte (JAR).

2.2.4. Pratique de comptage, de mesure ou de pesée de paramètres

Le comptage, la mesure et la pesée des paramètres sont exécutés dans la parcelle utile de chaque unité expérimentale. Ces observations ont été faites sur les paramètres agro morphologiques et les paramètres de production.

2.2.4.1. Comptage des paramètres agro morphologiques et de production

Le nombre de poquets après démariage, le nombre de talles total, le nombre de talles fertiles et le nombre d'épis ont été déterminé par comptage.

Avant la montaison, le nombre total de talles a été défini (56 JAS) en fin de tallage sur 10 tiges prises au hasard. Au 97^e JAL, le comptage des talles totales et des talles fertiles a été fait sur 10 tiges prises aléatoirement.

Le dénombrement des épis avait été effectué à la récolte à 140 ; 141 et 142 JAS. Le nombre d'épis à l'hectare a été déterminé en faisant le rapport entre le nombre d'épis et la superficie de la parcelle utile.

Soient NPLD le nombre de poquets levés après démariage dans la parcelle utile ; NPP le nombre de plants par poquets avant le tallage et SPU la superficie de la parcelle utile. La densité (plants.ha⁻¹) des plantes est donc définie à partir du rapport du produit NPLD*NPP sur la SPU.

$$D = \frac{NPLD * NPP}{SPU}$$

Le pourcentage de talles fertile a été obtenu en faisant le rapport entre le nombre de talles fertiles sur le nombre total de talles après épiaison.

2.2.4.2. Mesure des paramètres agro morphologiques

Les paramètres mesurés sont la taille et le diamètre des tiges, la longueur et le diamètre des épis et la longueur des entre-nœuds.

Pour la hauteur des tiges, quatre mesures (60^eJAS, 75^eJAS, 90^eJAS et 105^eJAS) ont été faites sur 10 tiges prises au hasard à l'aide d'une règle métrée. Avant l'épiaison, les feuilles des tiges sont relevées et la mesure de la feuille la plus haute correspondait à la hauteur du plant. Après l'épiaison, la hauteur des plants est mesurée du bas de la tige jusqu'à l'initiation pédonculaire

de l'épi (dernier nœud formé) ; ce qui explique la baisse légère des hauteurs de la dernière mesure (105^eJAS) par rapport à la troisième (90^eJAS).

Les mesures de diamètre au collet des tiges et de diamètre des épis ont été réalisées, à l'aide d'un pied à coulisse, à la même date (102 JAS) sur 10 tiges aléatoirement choisies.

La longueur des épis a été mesurée à l'aide d'une règle métrée au 104^e JAS sur 10 tiges sur pieds prises au hasard.

La longueur des entre-nœuds résulte du rapport entre la hauteur finale de la plante (sans l'épi) et le nombre d'entre-nœuds de 10 plantes sur pieds choisies de façon aléatoire. Le nombre d'entre-nœuds a été compté 99 JAL.

2.2.4.3. Mesure des paramètres de production

Les paramètres de la pesée sont essentiellement les poids des épis secs, des grains et de la biomasse aérienne sèche (tiges + feuilles).

Les poids secs des épis et de la biomasse aérienne sèche ont été déterminés à la pesée à l'aide d'une balance mécanique (graduation 200 g) aux mêmes dates 22 ; 23 et 24 jours après récolte (JAR) soit 163 JAS pour l'ensemble des parcelles utiles.

Le poids des 1000 grains a été déterminé à la balance électronique de précision 0,01 g.

Le rendement en grains est le rapport entre le poids grains et la surface de la parcelle utile. Celui de la biomasse aérienne sèche a été obtenu en faisant le rapport entre le poids de la biomasse aérienne sèche (tiges + feuilles) et la surface de la parcelle utile.

2.2.5. Gestion et analyse statistique des données

Les données collectées ont été insérées dans un Tableur Excel. L'analyse de variance (ANOVA) au seuil de 5% et les comparaisons multiples des moyennes au test de Tukey ont été réalisées à l'aide du logiciel Genstat Discovery Edition 4. Les résultats du traitement et de l'analyse de ces données seront présentés au chapitre suivant.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur la densité des plantes

Le Tableau 3 présente la densité des plantes de mil *Sanio* en fonction de l'amendement organique et de la fertilisation minérale. La densité par hectare n'est significativement affectée que par la fertilisation minérale (Pr = 0,019). L'amendement organique (Pr =0,978) et l'interaction amendement et engrais minéral AO*FM (Pr = 0,87) n'ont pas significativement affecté la densité des plantes quelle que soit la dose appliquée. Par rapport à l'amendement organique, la fertilisation minérale permet d'obtenir les plus fortes densités. La densité du mil *sanio* a atteint en moyenne $36737 \pm 573,41$ plants à l'hectare. Le témoin non fertilisé (T2) et la dose recommandée (FM3) ont donné la plus importante densité $30000 \pm 0,0$ plants.ha⁻¹.

Tableau 3: Densité des plantes de mil *Sanio* en fonction de l'amendement et de l'engrais minéral

Source de variation :	Densité (plantes/ha)
Amendement Organique (AO) :	
T1 : 0 tonne.ha ⁻¹ (témoin non amendé)	$29722 \pm 542,8^a$
AO2 : 5 tonnes.ha ⁻¹	$29861 \pm 481,1^a$
AO3 : 10 tonnes.ha ⁻¹	$29653 \pm 970,4^a$
Moyenne ± Ecart-type (AO)	$29745,33 \pm 664,77$
Fertilisation minérale (FM) :	
T2 : sans engrais (témoin non fertilisé)	$30000 \pm 0,0^a$
FM2 :75 kg.ha ⁻¹ NPK+50 kg.ha ⁻¹ urée (50% DR)	$29907 \pm 277,8^b$
FM3 : 150 kg.ha ⁻¹ NPK+100 kg.ha ⁻¹ urée (100% DR)	$30000 \pm 0,0^a$
FM4 : 225 kg.ha ⁻¹ NPK+150 kg.ha ⁻¹ urée (150% DR)	29074 ± 1137^b
Moyenne ± Ecart-type (FM)	$29745,25 \pm 353,7$
Moyenne ± Ecart-type (AO*FM)	$29745,29 \pm 487,01$
Coefficient de variation (%)	2,1
Probabilité et signification :	
AO	0,780 ^{ns}
FM	0,013 [*]
AO*FM	0,858 ^{ns}

DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5% ; * = différence significative au seuil de 1%

3.1.2. Effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur le tallage

L'effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur le nombre de talles et le pourcentage de talles fertiles par plante de mil sont renseignés dans le Tableau 4.

L'analyse révèle que le tallage est fortement affecté par la fertilisation minérale. La dose FM4 (150%DR) a donné le plus grand nombre de talles par plant ($5,081 \pm 0,746$ talles/plant). Elle a augmenté le nombre de talles par plants de 38,56% par rapport au témoin non fertilisé. En moyenne, le tallage a atteint $4,39 \pm 0,59$ talles/plant.

La fertilité des talles par plant est influencée significativement par l'amendement organique ($Pr = 0,055$) et très significativement par la fertilisation minérale ($Pr < 0,001$). Avec la dose AO3, le meilleur pourcentage de fertilité des talles par plant ($85,09 \pm 3,801\%$) est obtenu et la fertilité est augmentée de 5,77% par rapport au témoin non amendé. La dose FM4 a produit le plus pertinent pourcentage de talles fertiles par plant ($84,21 \pm 4,021\%$) et a fait croître de 11,42% le pourcentage de talles fertiles par plant par rapport au témoin non fertilisé. Le taux de talles fertiles par plant est en moyenne de $81,95 \pm 4,932\%$.

L'interaction amendement organique et fertilisation minérale (AO*FM) est sans effet significatif sur le tallage des plants ($Pr = 0,254$) et sur le pourcentage de talles fertiles ($Pr = 0,762$).

Tableau 4: Nombre de talles totales et nombre de talles fertiles en fonction de l'amendement organique et de la fertilisation minérale

Source de variation	Nombre de talles/plant	Talles fertiles/plant (%)
Amendement Organique (AO) :		
T1 : 0 tonne.ha ⁻¹ (témoin non amendé)	4,364 ± 0,771 ^a	79,32 ± 6,169 ^c
AO2 : 5 tonnes.ha ⁻¹	4,394 ± 0,688 ^a	81,43 ± 6,050 ^{ab}
AO3 : 10 tonnes.ha ⁻¹	4,417 ± 0,724 ^a	85,09 ± 3,801 ^a
Moyenne ± Ecart-type (AO)	4,39 ± 0,73	81,95 ± 5,34
Fertilisation minérale (FM) :		
T2 : sans engrais (témoin non fertilisé)	3,667 ± 0,386 ^c	75,58 ± 5,384 ^c
FM2 : 75 kg.ha ⁻¹ NPK+50 kg.ha ⁻¹ urée (50% DR)	4,333 ± 0,490 ^b	83,97 ± 3,979 ^{ab}
FM3 : 150 kg.ha ⁻¹ NPK+100 kg.ha ⁻¹ urée (100% DR)	4,485 ± 0,325 ^b	84,03 ± 5,123 ^a
FM4 : 225 kg.ha ⁻¹ NPK+150 kg.ha ⁻¹ urée (150% DR)	5,081 ± 0,746 ^a	84,21 ± 4,021 ^a
Moyenne ± Ecart-type (FM)	4,39 ± 0,49	81,95 ± 4,63
Moyenne ± Ecart-type (AO*FM)	4,39 ± 0,59	81,95 ± 4,932
Coefficient de variation (%)	12	4,8
Probabilité et signification :		
AO	0,941 ^{ns}	0,055 [*]
FM	<0,001 ^{***}	<0,001 ^{***}
AO*FM	0,254 ^{ns}	0,762 ^{ns}

Dans chaque colonne les valeurs représentent la moyenne et l'écart-type ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5% ; * = différence significative au seuil de 5% ; ** = différence significative au seuil de 1% ; *** = différence significative au seuil de 0,1%

3.1.3. Effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur le diamètre des tiges et la longueur des entre-nœuds

Le Tableau 5 présente le diamètre des tiges et la longueur des entre-nœuds en fonction de l'amendement organique et de l'engrais minéral. Son analyse révèle que l'amendement organique agit très significativement sur le diamètre des tiges (Pr <0,001) et significativement sur la longueur des entre-nœuds (Pr = 0,038). Les parcelles amendées à la dose AO3 ont produit un diamètre de tiges plus élevé (1,164 ± 0,1 cm) et une longueur d'entre-nœuds plus pertinente (24,72 ± 1,523 cm). Cette dose (AO3) a fait croître le diamètre des tiges de 12,8% et la longueur des entre-nœuds de 5,2% par rapport au témoin non amendé (T1).

La fertilisation minérale et l'interaction (AO*FM), quant à elles, n'affectent pas de façon significative le diamètre des tiges ($Pr > 0,05$) ainsi que la longueur des entre-nœuds ($Pr > 0,05$). Les tiges ont atteint un diamètre moyen de $1,101 \pm 0,104$ cm avec une longueur moyenne d'entre-nœuds de $24,04 \pm 1,369$ cm.

Tableau 5: Croissance en diamètre des collets et des épis du mil *Sanio* selon l'amendement organique et de la fertilisation minérale

Source de variation	Diamètre des tiges (cm)	Longueur entre-nœuds (cm)
Amendement Organique (AO) :		
T1 : 0 tonne.ha ⁻¹ (témoin)	$1,032 \pm 0,111$ ^c	$23,50 \pm 1,458$ ^c
AO2 : 5 tonnes.ha ⁻¹	$1,106 \pm 0,0811$ ^b	$23,91 \pm 1,176$ ^{ab}
AO3 : 10 tonnes.ha ⁻¹	$1,164 \pm 0,100$ ^a	$24,72 \pm 1,523$ ^a
Moyenne ± Ecart-type (AO)	$1,10 \pm 0,10$	$24,04 \pm 1,39$
Fertilisation minérale (FM) :		
T2 : sans engrais (témoin)	$1,096 \pm 0,0928$ ^a	$23,48 \pm 1,212$ ^a
FM2 : 75 kg/ha NPK+50 kg/ha Urée (50% DR)	$1,112 \pm 0,0790$ ^a	$24,49 \pm 1,595$ ^a
FM3 : 150 kg/ha NPK+100 kg/ha Urée (100% DR)	$1,124 \pm 0,0967$ ^a	$23,40 \pm 1,166$ ^a
FM4 : 225 kg/ha NPK+150 kg/ha Urée (150% DR)	$1,071 \pm 0,164$ ^a	$24,80 \pm 1,451$ ^a
Moyenne ± Ecart-type (FM)	$1,10 \pm 0,11$	$24,04 \pm 1,36$
Moyenne ± Ecart-type (AO*FM)	$1,101 \pm 0,104$	$24,04 \pm 1,369$
Coefficient de variation (%)	9,8	5,2
Probabilité et signification :		
AO	<0,001 ^{***}	0,038 [*]
FM	0,744 ^{ns}	0,063 ^{ns}
AO*FM	0,342 ^{ns}	0,151 ^{ns}

Les valeurs des colonnes représentent la moyenne et l'écart-type ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5% ; * = différence significative au seuil de 5% ; ** = différence significative au seuil de 1% ; JAS = jour après semis.

3.1.4. Effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur la hauteur

L'effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur la taille des plantes de mil est indiqué dans le Tableau 6. Son analyse montre que la taille des plantes ($Pr < 0,05$) est significativement influencée par l'amendement organique et l'engrais minéral durant la phase végétative (60 à 105 JAS).

Par rapport à l'amendement organique, les hauteurs les plus importantes sont observées dans les parcelles ayant reçu la dose AO3. A 90 et 105 JAS, la hauteur des plantes est évaluée à $301,6 \pm 12,95$ cm et $283,1 \pm 20,86$ cm respectivement avec le traitement AO3. Déductivement, la taille des plantes a baissé de 18,5 cm. Par rapport au témoin non amendé (T1), le traitement AO3 a augmenté la taille des plantes de 20,5% au 105^e JAS.

Quant à la fertilisation minérale, les parcelles ayant reçu la dose (FM3) ont donné les plantes les plus hautes de la montaison à l'épiaison. Avec cette dose (FM3), les plantes ont atteint $296,5 \pm 18,11$ cm au 90^e JAS et $271 \pm 25,73$ cm au 105^e JAS. La hauteur des plantes a donc régressé de 25,5 cm entre le 90^e JAS et le 105^e JAS dans les parcelles fertilisées à la dose recommandée (FM3). En fin d'épiaison la dose FM3 a augmenté la taille des plantes de 11,7% par rapport au témoin non fertilisé (T2).

L'interaction amendement organique et fertilisation minérale (AO*FM) n'a eu aucun effet significatif sur la hauteur des plantes. Celles-ci atteignent une taille moyenne de $260,8 \pm 24,4$ cm à la fin de leur cycle végétatif.

Tableau 6: Effet de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur la taille des plantes de mil *Sanio*

Source de variation	Hauteur des plantes (cm)			
	60°JAS	75°JAS	90°JAS	105°JAS
Amendement Organique (AO) :				
T1 : 0 tonnes.ha ⁻¹ (témoin)	105,5 ± 14,00 ^c	190,4 ± 22,58 ^c	263,2 ± 16,61 ^b	234,9 ± 18,28 ^b
AO2 : 5 tonnes.ha-1	120,4 ± 20,50 ^{ab}	214,2 ± 23,86 ^{ab}	288,7 ± 21,76 ^a	264,2 ± 23,54 ^a
AO3 : 10 tonnes.ha-1	133,4 ± 19,28 ^a	231,7 ± 20,69 ^a	301,6 ± 12,95 ^a	283,1 ± 20,86 ^a
Moyenne ± Ecart-type (AO)	119,77 ± 17,93	212,1 ± 22,38	284,5 ± 17,11	260,73 ± 20,89
Fertilisation minérale (FM) :				
T2 : témoin non fertilisé	104,9 ± 20,66 ^c	194,1 ± 30,02 ^c	270,4 ± 25,87 ^c	242,7 ± 25,13 ^d
FM2: 75 kg/ha NPK+50 kg/ha Urée	115,8 ± 12,49 ^b	211,0 ± 20,53 ^{ab}	284,6 ± 16,43 ^b	259,9 ± 22,01 ^c
FM3: 150 kg/ha NPK+100 kg/ha Urée	128,1 ± 15,27 ^a	226,6 ± 17,47 ^a	296,5 ± 18,11 ^a	271 ± 25,73 ^a
FM4 : 225 kg/ha NPK+150 kg/ha Urée	130,2 ± 25,69 ^a	216,8 ± 33,24 ^{ab}	286,4 ± 27,33 ^b	269,3 ± 35,33 ^{ab}
Moyenne ± Ecart-type (FM)	119,75 ± 18,53	212,13 ± 25,32	284,48 ± 21,94	260,73 ± 27,05
Moyenne ± Ecart-type (AO*FM)	119,76 ± 18,27	212,11 ± 24,06	284,5 ± 19,87	260,73 ± 24,41
Coefficient de variation (%)	11,6	9	5,2	7,3
Probabilité et signification :				
AO	0,027 [*]	0,022 [*]	0,006 ^{**}	0,009 ^{**}
FM	0,004 ^{**}	0,014 ^{**}	0,013 ^{**}	0,021 [*]
AO*FM	0,393 ^{ns}	0,624 ^{ns}	0,421 ^{ns}	0,708 ^{ns}

Les valeurs des colonnes représentent la moyenne et l'écart-type ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5% ; * = différence significative au seuil de 5% ; ** = différence significative au seuil de 1% ; JAS = jour après semis.

3.1.5. Effet de l'amendement et de l'engrais sur le diamètre et la longueur des épis

Le Tableau 7 présente la croissance en diamètre et en longueur des épis en fonction de l'amendement et de la fertilisation minérale. Statistiquement, le diamètre et la longueur de l'épi ne sont pas significativement influencés ni par l'amendement organique, ni par les engrais minéraux et ni par l'interaction amendement organique et fertilisation minérale (AO*FM). Néanmoins, pour l'amendement organique, le témoin non amendé (T1) a donné les épis de plus gros diamètre ($1,386 \pm 0,341$ cm) et de longueur plus importante ($40,61 \pm 2,799$ cm). Et pour la fertilisation minérale, le témoin non fertilisé a donné les plus longs épis ($40,64 \pm 1,959$ cm) pendant que la dose FM2 génère les plus gros diamètres d'épis ($1,353 \pm 0,175$ cm). Le diamètre moyen des épis et leur longueur moyenne sont respectivement $1,339 \pm 0,227$ et $39,93 \pm 2,27$ cm quelles que soient les quantités de matière organique et d'engrais minéral appliquées.

Tableau 7: Diamètre et longueur des épis de mil en fonction de l'amendement organique et de la fertilisation minérale

Source de variation	Diamètre épis (cm)	Longueur épis (cm)
Amendement Organique (AO) :		
T1 : 0 tonne.ha ⁻¹ (témoin non amendé)	$1,386 \pm 0,341$ a	$40,61 \pm 2,799$ a
AO2 : 5 tonnes.ha ⁻¹	$1,341 \pm 0,188$ a	$40,17 \pm 1,859$ a
AO3 : 10 tonnes.ha ⁻¹	$1,289 \pm 0,116$ a	$39,02 \pm 2,074$ a
Moyenne ± Ecart-type (AO)	$1,339 \pm 0,215$	$39,93 \pm 2,244$ a
Fertilisation minérale (FM) :		
T2 : Témoin non fertilisé	$1,32 \pm 0,264$ a	$40,64 \pm 1,959$ a
FM2 : 75 kg/ha NPK+50 kg/ha Urée	$1,353 \pm 0,175$ a	$40,26 \pm 2,894$ a
FM3 : 150 kg/ha NPK+100 kg/ha Urée	$1,336 \pm 0,196$ a	$39,6 \pm 1,548$ a
FM4 : 225 kg/ha NPK+150 kg/ha Urée	$1,346 \pm 0,308$ a	$39,23 \pm 2,733$ a
Moyenne ± Ecart-type (FM)	$1,339 \pm 0,236$ a	$39,93 \pm 2,284$ a
Moyenne ± Ecart-type (AO*FM)	$1,339 \pm 0,227$	$39,93 \pm 2,267$
Coefficient de variation (%)	11,6	5,5
Probabilité et signification :		
AO	0,801 ^{ns}	0,501 ^{ns}
FM	0,972 ^{ns}	0,529 ^{ns}
AO*FM	0,618 ^{ns}	0,338 ^{ns}

Les valeurs des colonnes représentent la moyenne et l'écart-type ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5%.

3.1.6. Effet de l'amendement et de l'engrais sur la biomasse aérienne sèche

L'effet de l'amendement organique et de l'engrais minéral sur le rendement de la biomasse aérienne sèche est présenté par le Tableau 8. L'analyse montre que le rendement en biomasse aérienne sèche est significativement influencé par l'amendement organique ($Pr = 0,021$). La variation de la fertilisation minérale entraîne une variation très significative du rendement ($Pr < 0,001$). Par contre, l'interaction AO*FM n'a pas d'effet significatif sur le rendement de cette biomasse ($Pr = 0,739$).

Les parcelles amendées avec la dose (AO3) ont généré le plus important rendement en biomasse aérienne sèche (7824 ± 2216 kg MS.ha⁻¹). Celles fertilisées à la dose recommandée (FM3) ont donné le meilleur rendement (8093 ± 1782 kg MS.ha⁻¹). Par rapport au témoin non amendé (T1), le traitement AO3 a augmenté de 49,94% le rendement de la biomasse aérienne sèche. Et avec les doses de fertilisants minéraux (FM3) et (FM4), ce rendement est rehaussé de 81,1% et 80,94% respectivement par rapport au témoin non fertilisé. Le rendement moyen de la biomasse aérienne sèche est évalué à $6716 \pm 1824,43$ kg.ha⁻¹.

Tableau 8: Influence de l'amendement organique et de la fertilisation minérale sur le rendement de la biomasse aérienne sèche (tiges + feuilles)

Source de variation	Rendement biomasse aérienne sèche (kg MS/ha)
Amendement Organique (AO) :	
T1 : 0 tonne.ha ⁻¹	5218 ± 1832 ^b
AO2 : 5 tonnes.ha ⁻¹	7106 ± 1956 ^{ab}
AO3 : 10 tonnes.ha ⁻¹	7824 ± 2216 ^a
Moyenne générale ± Ecart-type (AO)	6716 ± 2001,33
Fertilisation minérale (FM) :	
T2 : sans engrais (témoin non fertilisé)	4469 ± 1724 ^c
FM2 : 75 kg.ha ⁻¹ NPK+50 kg.ha ⁻¹ Urée (50% DR)	6216 ± 1183 ^b
FM3 : 150 kg.ha ⁻¹ NPK+100 kg.ha ⁻¹ Urée (100%DR)	8093 ± 1782 ^a
FM4 : 225 kg.ha ⁻¹ NPK+150 kg.ha ⁻¹ Urée (150% DR)	8086 ± 2078 ^a
Moyenne générale ± Ecart-type (FM)	6716 ± 1691,75
Moyenne générale ± Ecart-type (AO*FM)	6716 ± 1824,43
Coefficient de variation (%)	19,9
Probabilité et signification :	
AO	0,021 [*]
FM	<0,001 ^{***}
AO*FM	0,739 ^{ns}

Les valeurs des colonnes représentent la moyenne et l'écart-type ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5% ; * = différence significative au seuil de 5% ; ** = différence significative au seuil de 1%.

3.1.7. Effet de l'amendement organique et de l'engrais minéral sur le nombre d'épis, le poids d'épis, le rendement grains et le poids 1000 grains

Le Tableau 9 présente le nombre d'épis, le poids d'épis secs, le rendement grains et le poids des 1000 grains en fonction de l'amendement organique et de la fertilisation minérale.

Le nombre d'épis est influencé significativement par l'amendement organique ($Pr = 0,028$) et très significativement par l'engrais minéral ($Pr < 0,001$). L'interaction AO*FM n'agit pas de façon significative sur le nombre d'épis ($Pr = 0,194$). Le plus grand nombre d'épis est obtenu à la dose d'amendement organique AO3 (108102 ± 19705 épis.ha⁻¹) et à celle de fertilisant minéral FM4 (110278 ± 17145). Par rapport au témoin non amendé, la dose AO3 a augmenté de 26,28% le nombre d'épis. La dose FM4 a permis d'accroître le nombre d'épis de 45,18% par rapport au témoin non fertilisé. En moyenne le nombre d'épis à l'hectare est de $96998 \pm 16461,86$.

Le poids des épis secs est significativement affecté par les apports de matière organique ($Pr = 0,030$) et par l'engrais minéral ($Pr = 0,004$). L'interaction amendement organique et fertilisation minérale (AO*FM) n'exerce aucun effet significatif sur lui ($Pr = 0,862$). Le poids des épis secs est plus élevé avec les doses AO3 ($2102 \pm 453,7$ kg.ha⁻¹) et FM4 ($2074 \pm 427,0$ kg.ha⁻¹). Il est augmenté de 49,08% à la dose d'amendement organique AO3 par rapport au témoin non amendé et de 48,67% à la dose de fertilisant minéral FM4 par rapport au témoin non fertilisé. En moyenne, le poids d'épis sec a atteint $1779 \pm 465,33$ kg.ha⁻¹.

L'amendement organique ($Pr = 0,004$) et la fertilisation minérale ($Pr = 0,037$) agissent significativement sur le rendement grains alors que l'interaction entre ces deux facteurs (AO*FM) ne manifeste aucun effet significatif sur lui ($Pr = 0,318$). Les parcelles amendées aux doses AO3 et FM4 ont donné les meilleurs rendements 767 ± 85 kg.ha⁻¹ et 741 ± 85 kg.ha⁻¹ respectivement. A la dose AO3, le rendement grain s'accroît de 66,74% par rapport au témoin non amendé et de 45,87% avec la dose FM4 par rapport au témoin non fertilisé. Le rendement grains moyen a atteint $632 \pm 69,714$ kg.ha⁻¹ suite aux apports combinés de matière organique et de fertilisants minéraux.

Le poids de 1000 grains n'est significativement influencé ni par l'amendement organique ($Pr = 0,090$), ni par la fertilisation minérale ($Pr = 0,731$) et ni par l'interaction AO*FM ($Pr = 0,431$) quelle que soit la quantité de matière organique et de fertilisants minéraux apportée. Néanmoins les doses d'amendement organique AO2 et AO3 ont accru de 4,14% le poids des 1000 grains. Le poids des 1000 grains est de $4,9 \pm 0,043$ g en moyenne.

Tableau 9: Le nombre d'épis, le poids d'épis secs, le poids grains et le poids de 1000 grains en fonction de l'amendement organique et de la fertilisation minérale

Source de variation	Nombre épis.ha ⁻¹	Poids épis (kg.ha ⁻¹)	Rendement grains (kg/ha)	Poids de 1000 grains (g)
Amendement Organique (AO) :				
T1 : 0 tonne.ha ⁻¹ (témoin)	85602 ± 21132 ^b	1410 ± 434,2 ^b	460 ± 49 ^b	4,8 ± 0,0 ^a
AO2 : 5 tonnes.ha ⁻¹	97292 ± 13136 ^{ab}	1826 ± 462,7 ^{ab}	669 ± 45 ^a	5,0 ± 0,0 ^a
AO3 : 10 tonnes.ha ⁻¹	108102 ± 19705 ^a	2102 ± 453,7 ^a	767 ± 85 ^a	5,0 ± 0,1 ^a
Moyenne générale ± Ecart-type (AO)	96998,667 ± 17991	1779,33 ± 450,2	632 ± 59,67	4,93 ± 0,033
Fertilisation minérale (FM) :				
T2 : sans engrais (témoin)	75957 ± 17275 ^d	1395 ± 489,4 ^c	508 ± 76 ^b	5,0 ± 0,0 ^a
FM2 :(50% DR)	95710 ± 10105 ^c	1735 ± 465,0 ^b	562 ± 56 ^{ab}	5,0 ± 0,0 ^a
FM3 : (100% DR)	106049 ± 16735 ^b	1914 ± 525,8 ^{ab}	717 ± 92 ^a	4,9 ± 0,1 ^a
FM4 : (150% DR)	110278 ± 17145 ^a	2074 ± 427,0 ^a	741 ± 85 ^a	5,0 ± 0,1 ^a
Moyenne générale ± Ecart-type (FM)	96998,500 ± 15315	1779,5 ± 476,8	632 ± 77,25	4,98 ± 0,05^a
Moyenne générale ± Ecart-type (AO*FM)	96998,57 ± 16461,86	1779,43 ± 465,4	632 ± 69,714	4,96 ± 0,043
Coefficient de variation (%)	11,3	19,5	29,1	2,6
Probabilité et signification :				
AO	0,028 [*]	0,030 [*]	0,004 [*]	0,090 ^{ns}
FM	<0,001 ^{***}	0,004 ^{**}	0,037 [*]	0,731 ^{ns}
AO*FM	0,194 ^{ns}	0,862 ^{ns}	0,318 ^{ns}	0,431 ^{ns}

Les valeurs des colonnes représentent la moyenne et l'écart-type ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5% ; * = différence significative au seuil de 5% ; ** = différence significative au seuil de 1%.

3.2. Discussion

L'objectif de l'expérimentation est d'identifier le meilleur plan de fumure organo-minérale permettant d'atteindre une croissance maximale et un meilleur rendement grain pour le mil *sanio* en Moyenne Casamance.

La densité des plants a été affectée par la fertilisation minérale et non par l'amendement organique. En effet l'engrais minéral est directement disponible et utilisable par la plante pour son développement. L'absence d'effet significatif de la fumure organique sur la densité serait due au fait que le processus de minéralisation de la matière organique (fumier d'étable) est progressif ; ce qui diffère le délai de disponibilité des éléments nutritifs résultants pour les plants. En effet, Segnou *et al.* (2012) soutiennent qu'en fonction de la durée de minéralisation de la matière organique, les amendements organiques ne libèrent pas toujours immédiatement les éléments nutritifs qu'ils contiennent pour la plante.

Le nombre de talles a été affecté par l'engrais minéral et non affecté par l'engrais organique. Pourtant Chaïbou (2013) a noté que le phospho-compost apporté deux semaines après le semis favorise la production de talles chez le mil. L'influence positive de l'engrais minéral sur ce paramètre serait due à l'absorption directe par les plantes des éléments nutritifs issus de la dissolution de l'engrais minéral puisque que la plante de mil a besoin de l'engrais minéral pour son développement. Lacharme (2001) a affirmé que pour les engrais azotés par exemple, les nitrates sont directement assimilables par les plantes alors que dans le cas de l'urée, une période d'environ 10 jours sera nécessaire pour que l'urée se dégrade totalement dans le sol et se transforme en nitrate NO_3 assimilable. Quant à l'amendement organique, son manque d'influence sur le tallage ne corrobore pas les travaux de Sarr (1986) et Cissé (1988) qui ont noté un effet positif de la matière organique sur le tallage du mil.

Le pourcentage de talles fertiles par plant a été influencé par l'amendement organique et l'engrais minéral. L'influence de ces facteurs sur ce paramètre s'expliquerait par une amélioration des propriétés biologiques et physicochimiques du sol par l'amendement et les engrais minéraux. En effet, selon Asdrubal *et al.* (2016), la fertilisation organo-minérale corrige les déficiences naturelles du sol, évite l'épuisement du sol et améliore la productivité des cultures. Et Cissé (1988) stipule que les apports de matières organiques à une fertilisation minérale induisent une meilleure alimentation du mil et ont une influence nette sur son développement et sa production.

Les résultats ont montré d'une part une variation de la taille des plantes en fonction de la matière organique et de l'engrais minéral appliqués. D'autre part, l'influence significative de ces deux facteurs sur la taille a été observée par Chaïbou (2013) sur le mil dont les hauteurs des plants croissent avec le phospho-compost. La variation de la taille en fonction des apports de matière organique serait provoquée par la répartition inégale du fumier d'étable sur les parcelles élémentaires. En effet, selon Dutordoi (2006), la distribution inégale du fumier entraîne une variabilité dans la croissance du mil. L'effet significatif de l'amendement organique sur la taille des plantes pourrait être dû à la disponibilité des éléments nutritionnels libérés par la minéralisation du fumier. Cet effet positif de l'amendement sur la taille des plantes a été démontré par certains auteurs. Cissé (1988) a affirmé que la matière organique induit une augmentation de la hauteur de plantes. Et Sarr (1986) a affirmé que le fumier favorise la croissance linéaire. Diallo *et al.* (2010) ont montré des effets significatifs de fortes doses de fumier (60 tonnes de terreau/ha) sur la taille des plantes de riz. Celui de la fertilisation minérale sur ce même paramètre de croissance serait expliqué par l'assimilation directe des nutriments fournis par la dégradation de la matière minérale (Lacharme, 2001). L'effet positif de la fertilisation azotée sur la taille des plantes a été rapporté sur le blé par Annabi *et al.* (2013). Par rapport aux témoins, l'accroissement de taille des plantes par l'amendement et l'engrais minéral est conforme aux observations faites par Somda *et al.* (2017) sur le sorgho en combinant les doses de NPK à la matière organique. La régression de la hauteur des plantes constatée au 105^e JAS par rapport au 90^e JAS s'explique par la façon dont les mesures ont été prises. En effet, jusqu'au 90^e JAS, les mesures étaient faites du sol à la feuille la plus haute de la plante. Mais au 105^e JAS, la mesure était effectuée du pied de la tige (sol) à l'initiation pédonculaire.

Pour le diamètre des tiges et la longueur des entre-nœuds, l'analyse des résultats a révélé que seuls les apports de matière organique ont eu un effet significatif sur ces paramètres. Cette influence positive de l'amendement sur le diamètre des tiges et la longueur des entre-nœuds pourrait se justifier par la disponibilité et l'absorption des éléments nutritifs en provenance de la minéralisation de la matière organique, par l'amélioration des propriétés du sol et la séquestration du carbone dans le sol. En effet, selon Soltner (2003), Adrubal *et al.* (2006) et Agronomie (2009), les amendements améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. De Rouw (1998) a estimé que l'apport de fumure organique, même en faibles doses et de qualité médiocre, peut toutefois pallier la diminution du stock de matière organique. Quant à Sarr (1986), le fumier favorise la croissance linéaire et pondérale du mil. De plus, le rapport C/N (14,31) du fumier d'étable étant inférieure à 20, la matière organique

contiendrait alors une concentration importante de nutriments qu'elle fournirait aux plantes de mil; ce qui expliquerait l'effet significatif de l'amendement sur le diamètre des tiges et la longueur des entre-nœuds. En effet, il a été affirmé que les sources d'engrais organiques possédant un rapport C/N en dessous de 20 contiennent une concentration élevée de nutriments (Chaves *et al.*, 2007; Tognetti *et al.*, 2008) et possèdent des potentiels d'immobilisation de l'azote (De Neve *et al.*, 2004). Bilong *et al.* (2017) ont noté une influence significative des apports de matière organique combinés aux engrais minéraux sur le diamètre des tiges de manioc. L'absence d'effet significatif des engrais minéraux sur ces deux paramètres peut être due aux pertes des éléments minéraux issus de la dégradation de l'engrais minéral par lessivage et/ou volatilisation puisque le sol est de texture à forte dominance sableuse.

Sur les paramètres de production tels que le rendement en biomasse aérienne sèche, le nombre d'épis à l'hectare, le poids des épis secs et le rendement grains, les résultats ont signalé un effet significatif de l'amendement organique et la fertilisation minérale. Cette influence de l'amendement organique sur ces paramètres est due à l'amélioration des propriétés biologiques et physicochimiques du sol par les apports de matière organique. Selon Cissé (1988), les apports de matière organique améliorent le niveau de fertilité du sol par la réduction de l'acidité et par l'accroissement des éléments échangeables et induisent une meilleure alimentation minérale du mil. Cet auteur a noté une influence très nette des apports de matière organique sur le développement et la production du mil et de l'arachide. De même, Diallo *et al.* (2010) ont montré des effets significatifs de fortes doses de fumier sur la production de paddy chez le riz de plateau. Quant à la fertilisation minérale, l'effet positif sur ces mêmes paramètres de production serait dû au fait que l'engrais minéral a corrigé les déficiences nutritionnelles et a amélioré les qualités nutritionnelles pour la plante de mil (Dutordoi, 2006).

L'effet positif de l'amendement organique et/ou de la fertilisation minérale sur le rendement en biomasse aérienne sèche a aussi été démontré par plusieurs autres auteurs. Traoré *et al.* (2015) ont noté une amélioration significative de la production de paille chez le mil par des tourteaux de *Jatropha curcas*. Cissé (1988) présente l'effet positif de la matière organique sur la biomasse aérienne rapporté sur l'arachide et le mil. Dutordoi (2006) a trouvé significatif l'effet de l'engrais minéral sur le rendement en paille chez le mil. Gueye (2016) a démontré une amélioration significative de la biomasse aérienne du fonio par les apports d'azote à Bandafassi et Séfa. Et Gueydon *et al.* (1994) ont observé une augmentation de la production de matière sèche par les apports réguliers de fumier sur une prairie exploitée en foin.

L'influence significative de l'amendement sur le nombre d'épis a aussi été constatée par Ganry et al. (1974) suite à l'enfouissement de pailles compostées sur un sol Dior et par De Rouw et al. (1998) suite aux apports de bouse de zébus.

L'effet positif de l'amendement organique et/ou de l'engrais minéral sur le rendement en grains a été rapporté sur le mil (Sarr, 1986 ; Chaïbou, 2013 ; Zeinabou et al., 2014), sur le niébé, le mil et le sorgho (Saba et al., 2017), sur le riz de plateau (Diallo et al., 2010), sur le maïs (Nyami et al., 2014). Des résultats similaires ont été rapportés sur la production de carotte (Biaou et al., 2017), de piment (Segnou et al., 2012) et de manioc (Akanza, 2015 ; Bilong et al., 2017). Le faible rendement en grains serait dû aux pertes des grains par égrenage et par attaques des oiseaux granivores. Quoique le rendement grains soit faible, l'amendement organique et la fertilisation minérale l'ont accru par rapport à leur témoin. Cette augmentation du rendement par la fertilisation organo-minérale confirme les travaux de Sanon et al. (2015) et Saba et al. (2017) sur le mil, le sorgho et le niébé, et ceux d'Akanza, (2015) sur le manioc.

Par ailleurs, les résultats ont démontré que le poids des épis secs a été significativement influencé par l'amendement organique et les engrais minéraux. Cet effet positif de la fertilisation organo-minérale a été observé sur le poids des tubercules de manioc par Bilong et al. (2017). Kaho et al. (2011) ont montré que la combinaison ou non des biomasses de *Tithonia diversifolia* aux engrais inorganiques améliorait la fertilité du sol et la production du maïs.

L'amendement organique et la fertilisation minérale ont accru le nombre d'épis par rapport à leur témoin. Ce résultat est similaire à celui de Traoré et al. (2015) qui a noté, sur le mil, un accroissement du nombre d'épis par les tourteaux de *J. curcas* par rapport à la fertilisation minérale.

Quant au poids des 1000 grains, la matière organique et l'engrais minéral n'ont pas eu d'effet significatif. Siri (2015) a observé un effet non significatif de l'engrais minéral sur le poids des 1000 grains chez le riz. Par contre De Rouw et al. (1998) ont réalisé le poids des 1000 grains de mil corrélé aux apports de bouses et ont défini que les bouses libèrent une quantité d'éléments nutritifs dont le mil profite lors du stade de remplissage des grains. Abga (2013) a trouvé un effet positif de ces facteurs sur le poids des 1000 grains chez le maïs. Gueye (2016) a de son côté observé une influence significative de la fertilisation azotée sur le poids de 1000 grains paddy du fonio à Séfa en 2012.

L'absence d'interaction amendement organique et fertilisation minérale (AO*FM) a été notée pour l'ensemble des paramètres étudiés : les paramètres de comptage, de dimension et de pesée. Ce résultat pourrait être expliqué par l'application première de l'amendement organique sur le sol de l'expérimentation ; ce qui corrobore les résultats de Dembélé (1994) qui a noté une absence d'interaction entre la fumure organique et minérale en première année d'application. Cette faible réponse aux effets combinés de l'amendement organique et de la fertilisation minérale a été montrée sur le fonio par Gueye (2016). Par contre Hu et *al.* (2015) cité par Gueye (2016) ont montré les effets combinés de matière organique et d'engrais minéraux sur le rendement dans un système riz-blé.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La réalisation de cette étude a permis de faire connaître clairement l'effet de la fertilisation organo-minérale sur la croissance et la production du mil *Sanio*. Au terme de cette étude, nous concluons que l'interaction amendement organique et fertilisation minérale (AO*FM) ne manifeste aucun effet significatif sur les paramètres de croissance et de production de la plante. Néanmoins, l'amendement organique et la fertilisation minérale ont affecté significativement les paramètres de croissance et de production à l'exception du diamètre des épis, de la longueur des épis et du poids des 1000 grains. Les paramètres influencés significativement par les apports de matière organique sont : la fertilité des talles, la taille de plantes, le diamètre des tiges, la longueur des entre-nœuds, le rendement en biomasse aérienne sèche, le nombre d'épis, le poids des épis secs et le rendement grains. Ceux affectés significativement par les engrais minéraux sont : la densité, le tallage total, la fertilité des talles, la taille des plantes, le rendement en biomasse aérienne sèche, le nombre d'épis, le poids sec des épis et le rendement en grains. Pour l'amendement organique, la dose AO3 a provoqué par rapport aux autres doses les meilleures performances sur le tallage total et le tallage fertile, sur la taille des plantes, sur le diamètre de tiges, sur le rendement en biomasse aérienne sèche et en grains et sur le nombre et le poids d'épis. Quant à la fertilisation minérale, les doses FM3 et FM4 ont donné les meilleurs résultats. La dose FM3 a permis d'obtenir la taille des plantes la plus élevée et le rendement en paille sèche le plus pertinent. Celle FM4 a donné le nombre de talles par plant, le pourcentage de talles fertiles par plant, le nombre d'épis, le poids d'épis secs et le rendement grains les plus importants.

Afin de recommander une meilleure pratique culturale, nous suggérons en perspective de :

- reconduire l'essai afin de pouvoir donner des recommandations sur le meilleur plan de fumure organo-minérale à vulgariser pour une croissance et une production meilleures du mil *Sanio*.
- étudier l'influence de l'association légumineuse/mil et de la rotation légumineuse/mil sur la croissance et le rendement du mil,
- évaluer les effets de la triple combinaison (amendement organique * engrais minéral * rotation légumineuses/mil) sur la croissance et le rendement du mil,
- évaluer les effets de la triple combinaison (amendement organique * engrais minéral * légumineuse) sur la croissance et la production du mil.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abga P. T. (2013). Détermination des options de fertilisation organo-minérale et de densité de semis pour une intensification de la production du maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso. Mémoire de Master II en Science du sol, Spécialité : Gestion Intégrée de la Fertilisation des Sols à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 85 pages.
2. Agronomie (2009). La fertilisation organique en agriculture biologique. Fiche n°6, 04 pages.
3. Akanza P. (2015). Effets des fumures sur la fertilité, les composantes de rendement et diagnostic des carences du sol sous culture de manioc sur les ferralsols en Côte d'Ivoire. Science de la vie, de la terre et agronomie, REV. CAMES - VOL.03 NUM.01. 2015 * ISSN 2424-7235.
4. Annabi M., Bahri H., Behi O., Sfayhi D. and Cheikh Mhamed H. (2013). La fertilisation azotée du blé en Tunisie: évolution et principaux déterminants. *Tropicultura* 31(4): 247-252.
5. Asdrubal M., Deblay S., Charonnat C., Denys F., Fresse J.C., Thomas J-M., Riman K., Roche J-L. (2006). Fertilisation et amendements. Educagri éditions, 131 pages.
6. Bar-Hen A. (1998). Quelques méthodes statistiques pour l'analyse des dispositifs forestiers, 110 pages.
7. Bezançon G. Renno J.F. and Anand Kumar K. (1997). Le mil. In "L'amélioration des plantes tropicales." (M. J. André Charrier, S.Hamon et D. Nicolas, ed.), pp. 457-482. CIRAD et ORSTOM.
8. Biaou O. D. B., Saïdou A., Bachabi F-X., Padonou G. E. et Balogoun I. (2017). Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota L.*) sur sol ferrallitique au sud Bénin. Article in Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(5): 2315-2326, 2017, 12 pages.
9. Bilong E. G., Ajebesone F. N., Abossolo-Angue M., BIRANG À MADONG, NDAKA BONGUEN S. M. et Bilong P. (2017). Effets des biomasses vertes de *Tithonia diversifolia* et des engrais minéraux sur la croissance, le développement et le rendement du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en zone forestière du Cameroun. Article in Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(4): 1716-1726, 2017, 11 pages.
10. Bilquez A.F. (1970). Aspect général des recherches sur les mils en Afrique. Séminaire Mil-Sorgho, Bambey 31 Août-4 Septembre 1970, 16 pages.

11. Chaïbou Z. (2013). Effet du phospho-compost sur la production du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) cas de la commune urbaine de Niamey. Mémoire de Master II à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), Option : Science du sol, Spécialité : Gestion Intégrée de la Fertilité des sols, 56 pages.
12. Chaves B., De Neve S., Piulats L. M., Bocckx P., Van Cleemput O. et Hofman G. (2007). Manipulation the N release from N- rich crop residues by using organic wastes on soils with different textures. *Soil Use and Man.*, Univ Ghent, Dept Soil Management and Soil Care. *Coupure Links 653, B-9000 Ghent, Belgium.*, 23: 212-219.
13. CIRAD-GRET (2002). Memento de l'Agronome. Editions du GRET, Editions du CIRAD, Ministère français des Affaires étrangères. Impression : Société Jouve, France, www.jouve.fr, ISBN 2-86844-129-7/ 2-87614-522-7, 1700 pages.
14. Cissé L. (1988). Influence d'apports de matière organique sur la culture de mil et d'arachide sur un sol sableux du Nord Sénégal. II. – Développement des plantes et mobilisations minérales. *Agronomie*, EDP Sciences, 1988, 8 (5), pp.411-417. <hal-00885118>.
15. Clotault J. et *al.*, (2012). *Mol Biol Evol.* 29(4): 1199–12 Conférence des Ministres de L'Agriculture de l'Afrique de l'Ouest et du Centre (CMA/AOC), 2005. Filière MIL /sorgho. Note Technique.
16. CNRA (2005). Bien cultiver le mil en Côte d'Ivoire. Réalisation : Direction des programmes de recherche et de l'appui au développement - Direction des systèmes d'information, 04 pages.
17. Dagnelie P. (2012). Principes d'expérimentation : planification des expériences et analyse de leurs résultats. Les presses agronomiques de Gembloux, A.S.B.L. 414 pages.
18. DAPS (2009). Rapport de l'étude sur l'évolution du secteur agricole, des conditions de vie des ménages et de la vie chère au Sénégal, 124 pages.
19. Dembélé I. (1994). Production et utilisation de la fumure organique. Fiche synthétique d'information. Document N°94/19, 19 pages.
20. De Neve S., GaonaSae'z S., Chave B., Sleutel S., Hofman G. (2004). Manipulation N Mineralization from high N crop residues using on- and off farm organic materials. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 127-134.
21. De Rouw A. (1998). Comment assurer la production de mil: jachère ou parcage ?, 14 pages.
22. De Rouw A., Rajot J-L. et Schmelzer G. (1998). Effet de l'apport des bouses de Zébus sur les composantes du rendement du mil, sur les mauvaises herbes et sur l'encroûtement superficiel du sol au Niger, 18 pages.

23. Diakhaté M. (2013). Caractéristiques de la chaîne de valeur du mil dans la région de Kaolack : détermination des coûts de production. Mémoire de fin d'étude de master en agrobusiness et développement des chaînes de valeurs à École Nationale Supérieure d'Agriculture-ENSA de l'Université de Thiès, 67 pages.
24. Diallo D., Tamini Z., Barry B. et Faya A.O. (2010). Effet de la fumure organique sur la croissance et le rendement du riz NERICA 3 (WAB 450 IBP 28HB) à Faranah. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4(6): 2017-2025.
25. Diouf O. (2000). Réponses agrophysiologiques du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.) à la sécheresse : influence de la nutrition azotée. Thèse de Doctorat en Sciences, Université Libre de Bruxelles, 160 pages.
26. Diouf O. (2001). La culture du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) en zone semi-aride : bases agrophysiologiques justificatives d'une fertilisation azotée. Mémoire de titularisation à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA). 75 pages.
27. Dutordoir C.D. (2006). Impact de pratiques de gestion de la fertilité sur les rendements en mil dans le Fakara (Niger). Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade de bio-ingénieur. Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale, Université Catholique de Louvaine, 214 pages.
28. Etter A. (2017). Engrais organiques: rendement et qualité. *Revu UFA* 10/ 2017, 2 pages.
29. FAO (2003). Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne, FAO, 63 pages.
30. FAO (2015). [http : FAOSTAT3. FAO.org/Download/Q/QC/F/](http://FAOSTAT3.FAO.org/Download/Q/QC/F/) consulté en Mai, 2016.
31. Ganry F., Bideau J. et Nicou R. (1974). Action de la fertilisation azotée et de l'amendement organique sur le rendement et la valeur nutritionnelle du mil Souna III. *Agron. Trop.* 29 (10), 1006-1015.
32. Ganry F. et Feller C. (1977). Effet de la fertilisation azotée (urée et de l'amendement organique (compost) sur la productivité du sol et la stabilisation matière organique, en monoculture de mil, dans les conditions des zones tropicales semi-arides, 24 pages.
33. Gueydon C., Perrolaz G. et Drieu Y. (1994). Les fumiers de bovins : valeur fertilisante et intérêt de leur épandage sur les prairies permanentes du nord-est du Massif Central. Travail présenté aux Journées d'information de l'A.F.P.F., «Valorisation des engrais de ferme par les prairies», les 29 et 30 mars 1994, 8 pages.
34. Gueye M. (2016). Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf, Poaceae) au Sénégal. Thèse de doctorat en Biologie,

- Physiologie et Productions Végétales. Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 101 pages + Annexes.
35. Harris F. (2002). Management of manure in farming systems in semi-arid West Africa. *Experimental Agriculture*, 38, 131-148.
 36. Hu C., Li S.-L., Qiao Y., Liu D.-H. and Chen Y.-F. (2015). Effects of 30 years repeated fertilizer applications on soil properties, microbes and crop yields in rice-wheat cropping systems. *Experimental Agriculture* 51(3): 355-369.
 37. IRD/UM (2015). Le mil, une céréale des zones arides. Fascination in plants day, 01 page.
 38. Kaho F., Yemefack M., Feujio-Teguefouet et Tchantchaouang J.C. (2011). Effet combine des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. *Tropicultura* 29 (1) : 39-45, 7 pages.
 39. Khouma M. (2002). Les grands types de sols du Sénégal, Rapport de la quatorzième réunion du sous-comité ouest et centre africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres, Abomey, Bénin, 9-13 octobre 2000, FAO, Rome, Italie, p. 77–94.
 40. Kouakou P.K. (2013). Amélioration de la prévision des rendements du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) au Sénégal par l'utilisation de modèles de culture : prise en compte de la sensibilité à la photopériode des variétés et de la fertilité dans les parcelles d'agriculteurs. Thèse de doctorat Biologie, Physiologie et Pathologies végétales. Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 117 pages.
 41. Kouakou P. K., Muller B., Guissé A., Yao R. N., Fofana A. et Cissé N. (2013). Étude et prise en compte en modélisation de l'effet de la latitude sur la réponse à la photopériode chez divers génotypes de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) du Sénégal. Article in *Journal of Applied Biosciences* 67:5289 – 5301, 13 pages.
 42. Lacharme M. (2001). La fertilisation minérale du riz. Fascicule 6, Ministère du Développement Rural et de l'Environnement Direction de la Recherche Formation Vulgarisation, Coopération Française, 19 pages.
 43. Loumrem M. (2004). Etude de la variabilité des populations de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) cultivées dans les régions arides tunisiennes et sélection de variétés plus performantes. PhD, Université de Gent, Faculté d'agronomie de Gent.
 44. Mahamat-Silaye O. (1981). Etude de la composition chimique et de la valeur nutritive de quelques aliments du Sénégal. Rapport de stage 1980/1981, 43 pages.
 45. Maiti, R. K., Bidinger F. R. 1981. Growth and development of the pearl millet plant. ICRISAT research bulletin No 6.

46. Mbaye D. F. (1988). Méthode simple d'évaluation des pertes occasionnées par le mildiou (*S. graminicola*), le charbon (*J. penicillariae*) et l'ergot (*C. fusiformis*) du mil. (Atelier du mil de l'ICRISAT, Zaria Nigeria 1988). 10 pages.
47. Mbaye, D. F. (1993). Contraintes phytosanitaires du mil dans le Sahel: Etat des connaissances et perspectives.
48. Moumouni K. H. (2014). Construction d'une carte génétique pour le mil *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., par une approche de génotypage par séquençage (GBS). Mémoire de Maîtrise en biologie végétale à l'Université de LAVAL, 111p.
49. Moumouni KH, Kountche BA, Jean M, Hash CT, Vigouroux Y, Haussmann, BIG and Belzile F. (2015). Construction of a genetic map for pearl millet, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., using a genotyping-by-sequencing (GBS) approach. *Mol Breeding* 35, 10.
50. Moussa H., Soumana I., Chaïbou M., Souleymane O. et Kindomihou V. (2017). Potentialités fourragères du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) : Revue de littérature ; *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2017. Vol.34, Issue 2: 5424-5447 Publication date 30/10/2017, <http://www.m.elewa.org/JAPS>; ISSN 2071-7024.
51. Ndiaye A., Fofana A., Ndiaye A., Mbaye D.F., Sene M., Mbaye I., Chantereau J. (2005). Les céréales. In : Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal.; 241 - 257. Ed ISRA-ISTA-CIRAD, Dakar, Sénégal.
52. Ndoye M. (1979). L'entomofaune nuisible du mil à chandelle (*P. Typhoïdes*) au Sénégal. In *Proceeding du Congrès sur la lutte contre les insectes en milieu tropical*. Marseille, France: 515-530.
53. Ndoye M. (1982). Programme de recherches entomologiques du mil de l'ISRA (1^{ère} réunion des Comités Scientifiques Nationaux du Projet Régional d'Amélioration des mils, sorgho, niébé maïs du CILSS à Tarna, Niger. ISRA/CNRAd Bambeby, 6 pages.
54. Ndoye M., Gahukart R.T., Carson A.G., Selvaraj C.J., Mbaye D.F. et Diallo S. (1984). Les problèmes phytosanitaires du mil dans le Sahel. Extrait de compte-rendu du séminaire international du projet CILSS de lutte intégrée Niamey (Niger) 6-13 Décembre 1984, 79-94.
55. Niangado O. (1989). Production amélioration variétale du mil au Mali. In *Plantes vivrières tropicales* (éd. Aupelf-Uref). John Libbey Eurotext, Paris, Ch. 8, p. 69-82.
56. Nyami B. L., Sudi C. K. et Lejoly J. (2014). Effet du biochar et des feuilles de *Tithonia diversifolia* combiné à l'engrais minéral sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) et les propriétés d'un sol ferrallitique à Kinshasa (RDC). *BASE*-volume 20 (2016) Numéro 1.

57. Ramulu P. and Rao P.U. (2003). Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis* 16, 677-685.
58. Saba F., Taonda S. J. B., Serme I., Bandaogo A. A., Sourwema A. P. et Kabré A. (2017). Effets de la microdose sur la production du niébé, du mil et du sorgho en fonction de la toposéquence, Article *in* *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(5): 2082-2092.
59. Sagna P. (2005). Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique occidentale. Thèse de doctorat d'état ES lettre, UCAD, faculté des lettres et sciences humaines, département de Géographie, 790 pages.
60. Sanon B., Serme I., Pouya M., Kiba I., Gnankambary Z., Sedogo M. P. (2015). Valorisation des tourteaux de *Jatropha curcas* (L.) sous forme de fertilisant, 9 pages.
61. Sarr P.L. (1986). Fertilisation minérale et organique du mil au Sénégal. Document présenté à la réunion d'évaluation du programme mil, 13 pages.
62. SECNSA, FAO, OMS, PAM et UNICEF (2014). Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition (AGVSAN). Published : July 2014 Front cover Photo : WFP/Jenny Matthews, 96 pages.
63. Segnou J., Akoa A., Youmbi E. and Njoya J. (2012). Effet de la fertilisation minérale et organique sur le rendement en fruits du piment (*Capsicum annum* L. ; Solanaceae) en zone forestière de basse altitude au Cameroun. *Agronomie Africaine* 24(3) : 231 -240.
64. SG-FIDA (2001). Culture et la production du mil et du sorgho au Sénégal : Bilan diagnostic et perspectives. Direction de l'agriculture, Sénégal.; 130 pages.
65. Siri A. (2015). Optimisation de la fertilisation minérale et rentabilité économique de la production de riz irrigué dans la vallée du Sourou (Burkina Faso). Mémoire à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles, Option : Système de production végétale, spécialité : Science du sol, 58 pages.
66. Soltner D. (2003). Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son amélioration. Collection Sciences et Techniques Agricoles. 23^{ème} Ed. Paris. 472 pages.
67. Somda B. B., Ouattara B., Serme I., Pouya M. B., Lompo F., Taonda S. J-B. et Sédogo P. M. (2017). Détermination des doses optimales de fumures organo-minérales en microdose dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. Article *in* *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(2): 670-683, 2017, 14 pages.
68. Songre-Ouattara L. T., Bationo F., Parcouda C., DAO A., Bassolé I. H. N. et Diawara B. (2015). Qualité des grains et aptitude à la transformation : cas des variétés de *Sorghum*

- bicolor*, *Pennisetum laucum* et *Zea mays* en usage en Afrique de l'Ouest. Article in *Int. J. Biol. Chem.* 9(6): 2819-2832, 2015, 14 pages.
69. Sy O., Fofana A., CISSE N., Noba K., Diouf D., Ndoye I., Sané D., Kane A., Kane N.A., Hash T., Haussman B. et Elwegan E. (2015). Étude de la variabilité agromorphologique de la collection nationale de mils locaux du Sénégal. *Journal of Applied Biosciences* 87:8030–8046, ISSN 1997–5902, 18 pages.
 70. Tognetti C, Mazzarino MJ, Laos F. (2008). Compost of municipal organic waste: effects of different management practices on degradability and nutrient release capacity. *Soil Biology Biotechnology*, 49: 2290-2296.
 71. Toudou A. (2003). Cours d'Agriculture Spéciale Agro3. Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey.
 72. Touré S. M. (2012). L'impact socio-économique de la recherche agronomique en milieu rural : cas du CNRA de Bambey dans son arrière-pays immédiat. Mémoire de Master II : Economie Rurale. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD). Faculté des Sciences Economiques et de Gestion (FASEG), 71 pages.
 73. Traoré M., Nacro H.B., Doamba W. F., Tabo R. & Nikiema A (2015). Effets de doses variées du tourteau de *Jatropha curcas* sur la productivité du mil (variété HKP) en condition pluviale en Afrique de l'Ouest. In : TROPICULTURA, 2015, 33,1, 1925, 7 pages.
 74. USAID (2017). Evaluation de la consommation de céréales de base au Sénégal. Livrable 3, Juillet 2017. Projet NAATAL Mbaye, 108 pages.
 75. Vidal P. (1963). Croissance et nutrition des mils (*Pennisetum*) cultivés au Sénégal. Thèse présentée à la faculté des sciences de l'université de Dakar pour l'obtention du diplôme de docteur. Ingénieur, 589-689 pages.
 76. Wade I. et Kamara O. (2007). Formation de Formateurs et de producteurs sur la lutte intégrée durable contre *Striga* au Sénégal, *In Progress on Farmers Training on Parasitic Weed Management*. Ricardo Labrada, FAO, Rome, p. 129–138.
 77. Yoni M., Hien V., Abbadie L. et Serpentié G. (2005). Dynamique de la matière organique du sol dans les savanes soudaniennes du Burkina Faso. *Cahiers d'Agriculture.*, 14(6):525-532.
 78. Zeinabou H., Mahamane S., Bismarck N. H., Bado B. V., Lompo F. et Bationo A. (2014). Effet de la combinaison des fumures organo-minérales et de la rotation niébé-mil sur la nutrition azotée et les rendements du mil au sahel. Article in *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(4): 1620-1632, 2014, 13 pages.