

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR Sciences et Technologies

Département d'Agroforesterie

MEMOIRE DE LICENCE PROFESSIONNELLE EN AGRORESSOURCES VEGETALES
ET ENTREPRENEURIAT

**Effets d'une nouvelle formule d'engrais chimique (NPK
(12-33-19) +Urée (46 % N) sur les performances
agronomiques du mil (*Pennisetum glaucum* L. R. Br) en
Basse Casamance**

Présenté par :

Boubacar SONKO

Sous la direction de :

Pr Ismaïla COLY, Enseignant

Chercheur au département d'Agroforesterie

Dr Baboucar BAMBA,

Chercheur à l'ISRA de DJIBELOR

Année universitaire 2020-2021

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui me sont chères, particulièrement :

- mon défunt père Mamadou Lamine SONKO et à ma défunte grand-mère Fatoumata dit Mouskéba SEYDI, qu'ils reposent en paix .Que Dianatoul firdaws soit leur demeure éternelle ;
- ma maman Aissatou SOW, que Dieu lui garde encore plus longtemps pour nous avec plein de santé et de bonheur ;
- ma tante Fatou BA qui a pleinement investie pour ma réussite dans mes études, longue vie à elle, que Dieu lui garde jusqu'à ma réussite totale ;
- mes tuteurs et tutrices, je veux nommer ici Mouhamadou Sanoussi TOURE et son frère Moustapha Touré mais aussi leurs femmes Saraba KOTE et Fatou KONTA qui m'ont hébergé comme leur propre fils durant tous mes parcours moyen et secondaire au lycée de Marsasoum. Je prie pour que Dieu leurs donne une paix totale dans leur foyer et les bénis tous ;
- à mes oncles et tantes paternel(le)s et maternel(le)s ;
- à mes frères et sœurs Alioune badara SONKO, Kasse SONKO, Assane SONKO, Mariama GARBA, Fatou SONKO , Fatou SONKO dit Assonko ,Amie SONKO, Fanseyini SONKO Fatouba SONKO plus spécialement à Binta SONKO pour ses conseils et soutiens matériels et moraux, je lui dit encore merci.
- à mes amis de classe ou d'ailleurs

Et à tous ceux pour qui la réussite dans mes études constitue une légitime fierté.

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à DIEU, le Tout Puissant qui m'a donné la force et le courage d'accomplir ce travail qui marque la fin d'une formation en Licence Professionnelle et je prie sur son noble prophète Mohamed Paix et Salut sur Lui (PSL).

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements les plus sincères à mon encadrant, Pr Ismaïla COLY, Enseignant chercheur à l'UASZ, pour avoir accepté d'encadrer ce travail mais également pour l'aide apportée malgré son calendrier très serré. Il m'a surtout marqué par son sens d'écoute, sa compréhension et sa générosité dans l'effort de partager son savoir. J'associe à ces remerciements le Dr Baboucar BAMBA et le Dr Abdoulaye BADIANE pour avoir acceptés de diriger ce travail. Qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde reconnaissance, mon immense gratitude et mon grand respect, pour leurs efforts, leurs implications, leurs confiances et leurs encouragements.

Nos remerciements vont à l'endroit de tout le personnel enseignant à savoir, Dr Djibril SARR, Chef de Département d'Agroforesterie, Dr Joseph Saturnin DIEME Coordonnateur de la Licence Professionnelle, Pr Mohamed Mahmoud CHARAHABIL, Pr Siré DIEDHIOU, Pr Ngor NDOUR, Dr Antoine SAMBOU, Dr Boubacar CAMARA, Dr Aly DIALLO, Dr Abdoulaye SOUMARE, Dr Saboury NDIAYE et Dr Oulimata DIATTA pour les efforts consentis pour la qualité de notre formation.

Je remercie tous les Enseignants vacataires du Département d'Agroforesterie pour avoir contribué à notre formation.

A tous les docteurs et doctorants du Département d'Agroforesterie nous disons merci pour leur disponibilité et leur contribution dans ce travail.

Je remercie vivement tout le personnel administratif de l'université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ).

Je remercie infiniment le Directeur du CRA de Djibélor, Dr Paterné DIATTA et tout le personnel (Chercheurs, Ouvrier, Chauffeurs, Stagiaires, Gardiens personnel administratif) pour m'avoir accueilli dans de bonnes conditions pour mener à bien mon travail.

Il m'est aussi agréable d'exprimer mes remerciements aux stagiaires de l'ISRA qui m'ont aidé dans le suivi de l'essai et le déroulement de ce travail. Je veux nommer Rose GOMIS, Ousmane DARRY, Cheikh SOW, Babacar Lamane Pouye, Yaya BALDE et Maimouna BALDE.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail, trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	vi
RESUME	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1.1. Généralités sur le mil (<i>Pennisetum glaucum</i>).....	3
1.1.1. Origine et répartition.....	3
1.1.2. Systématique	4
1.1.3. Description botanique du mil.....	4
1.1.4. Exigences écologiques du mil	5
1.1.5. Croissance et développement du mil	6
1.1.5.1. Phase végétative	7
1.1.5.2. Phase de reproduction	7
1.1.5.3. Phase de maturation	8
1.1.6. Contraintes à la production du mil	8
1.1.6.1. Contraintes abiotiques	8
1.1.6.2. Contraintes biotiques	9
1.1.7. Les variétés du mil.....	12
1.1.7.1. Variétés cultivées	12
1.1.7.2. Les formes aristées.....	13
1.2. Fertilisations organique et minérale	14
1.2.1. Fertilisations organiques.....	14
1.2.1.1. Le compost.....	14
1.2.1.2. Le fumier	15
1.2.2. Fertilisation minérale.....	16
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES	17
2.1. Présentation de la zone d'étude	17
2.2. Matériel végétal.....	18
2.3. Facteur étudié.....	19
2.4. Dispositif expérimental	19
2.5. Conduite de l'essai	20

2.5.1. Préparation du sol et application des doses de fertilisants.....	20
2.5.2. Semis	20
2.5.3. Démariage, repiquage et sarclo-binages.....	20
2.6. Paramètres mesurés	21
2.6.1. Paramètres de croissance et développement	21
2.6.2. Paramètres de production.....	22
2.7. Traitements statistiques	23
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	24
3.1. Résultats.....	24
3.1.2. Paramètres de croissance et développement	24
3.1.2.1. Densité des plants.....	24
3.1.2.2. Tallage du mil	24
3.1.2.3. Hauteur des plants	25
3.1.2.4. Diamètre au collet des plants	26
3.1.3. Paramètres de production.....	27
3.1.3.1. Diamètre et longueur des épis	27
3.1.3.2. Biomasse en paille et en épis.....	28
3.1.3.3. Rendement et ses composantes.....	29
3.1.4 Typologie des traitements sur les performances agronomique du mil.....	30
3.2. Discussion.....	32
Conclusion et perspectives.....	34
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	35

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANOVA : Analysis Of Variance (Analyse de la variance)

BAT : Biomasse Aérienne Totale

CRA : Centre de Recherches Agricoles

FNIE : Fédération Nationale de l'Industrie des Engrais

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

IPNI : Index International des Noms des Plantes

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

JAS : Jours Après Semis

JAL : Jours Après Levée

ROCAFREMI : Réseau Ouest et Centre Africain de Recherche sur le Mil

Rdt : Rendement

UASZ : Université Assane SECK de Ziguinchor

UFR : Unité de Formation et de Recherche

LISTE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Evolution de l’histoire du mil et sélection des gènes à la floraison depuis sa domestication (Clotault et <i>al.</i> , 2012)	3
Figure 2: Représentation schématique des stades de développement du mil	6
Figure 3 : Carte de localisation de la zone d’étude (Manga et Diouf, 2019).....	17
Figure 4 : Pluviométrie décadaire de la station de l’ISRA/Djibélor en 2022.....	18
Figure 5 : Schéma du dispositif expérimental	19
Figure 6 : Nombre de talles produits par m ² en fonction des traitements.....	25
Figure 7 : Typologie des traitements testés	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Variation de la densité des plants à l’hectare en fonction des traitements	24
Tableau 2: Variation de la hauteur moyenne des plants (cm) en fonction des traitements	26
Tableau 3 : Evolution du diamètre au collet de plants (cm) en fonction des traitements et de la date de mesure	27
Tableau 4: Variation du diamètre moyen et de la longueur moyenne des épis en fonction des traitements.	28
Tableau 5 : Variation de la biomasse épis, de la biomasse paille et de la biomasse aérienne totale en fonction des traitements.....	29
Tableau 6: Variation du nombre d’épis, du rendement grains, du poids 1000 grains et de l’indice de récolte en fonction des traitements.....	30

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Epis du mil Thialack 2	13
Photo 2 : Champ du mil Thialack2.....	18
Photo 3 : Epannage d’Urée.....	20
Photo 4 : Champ du mil après démariage.....	21
Photo 5 : Premier sarclo-binage	21
Photo 6 : Mesure de la hauteur du mil.....	22
Photo 7 : Pesage de biomasse fraîche.....	22
Photo 8 : Pesage des épis du carré de rendement	23

RESUME

La présente étude vise à contribuer à la mise au point de nouvelles formules d'engrais basées sur les carences en nutriments du sol et les besoins des cultures. Il s'agit spécifiquement d'évaluer les effets d'une nouvelle formule d'engrais chimiques sur les performances agronomiques du mil en basse Casamance. Le dispositif utilisé est un dispositif en blocs complets aléatoires ou blocs de Fischer avec 4 blocs ou répétitions. Chaque bloc comporte 5 traitements à savoir T0 ou témoin sans apport ; T1 :150kg/ha de NPK (15N-10P-10K) en engrais de fond +100 kg /ha Urée (46N-0P-0K) ; T2 :150kg /ha de NPK (12N-33P-19K) en engrais de fond + 100kg/ha Urée (46N-0P-0K) ; T3 : 5t/ha de Compost en fond +150kg/ha NPK (12N-33P-19K) en engrais de fond +100kg/ha Urée (46N-0P-0K) et T4 : Compost 5t/ha. Les résultats obtenus indiquent que la fertilisation n'a pas affectée la densité et le tallage des plants. Par contre, la hauteur moyenne des plants de mil est statistiquement plus élevée au niveau du traitement T3 avec $30,77 \pm 2,74$; $70 \pm 8,99$ cm ; $158,93 \pm 15,27$, $216,18 \pm 10,83$ et $229,23 \pm 10,49$ cm respectivement au 20^{ème}, 35^{ème}, 50^{ème} 65^{ème} et 80^{ème} JAS. Comme pour la hauteur, les diamètres au collet les plus grands sont observés avec le traitement T3 avec $1,7 \pm 0,34$; $2,18 \pm 0,34$; $2,99 \pm 0,62$ et $3,22 \pm 0,39$ cm respectivement au 20^{ème}, 35^{ème}, 50^{ème} 65^{ème} et 80^{ème} JAS. Concernant les paramètres de production, le diamètre moyen et la longueur moyenne des épis ont été plus importants au niveau du traitement T3 avec respectivement $44,33 \pm 2,16$ mm et $48,66 \pm 3,74$ cm. Les rendements grains obtenus ont été statistiquement plus importants avec les traitements T2 ($929,36 \pm 338,86$ kg/ha) et T3 ($956,79 \pm 32,41$ kg/ha). Le traitement T3 correspondant à la nouvelle formule +Compost apparaît ainsi plus performant que les modes de fertilisation traditionnelles.

Mots clés : NPK (12N-33P-19K), performances agronomiques, Mil Thialack2 (*Pennisetum glaucum* L. R. Br).

ABSTRACT

The present study aims to contribute to the development of new fertilizer formulas based on soil nutrient deficiencies and crop needs. Specifically, the effects of a new chemical fertilizer formula on the agronomic performance of millet in the Lower Casamance were evaluated. The design used is a randomized complete block design or Fischer block design with 4 blocks or replications. Each block has 5 treatments, namely T0 or no fertilizer application; T1: 150kg/ha of NPK (15N-10P-10K) as a base fertilizer +100 kg/ha of Urea (46N-0P-0K); T2: 150kg /ha of NPK (12N-33P-19K) in bottom dressing + 100kg/ha Urea (46N-0P-0K); T3: 5t/ha Compost in bottom dressing +150kg/ha NPK (12N-33P-19K) in bottom dressing +100kg/ha Urea (46N-0P-0K) and T4: Compost 5t/ha. The results obtained indicate that fertilization did not affect the density and tillering of the plants. However, the average height of millet plants was statistically higher in treatment T3 with 30.77 ± 2.74 ; 70 ± 8.99 cm; 158.93 ± 15.27 , 216.18 ± 10.83 and 229.23 ± 10.49 cm respectively at the 20th, 35th, 50th, 65th and 80th day of the season. As for height, the largest neck diameters were observed with the T3 treatment with 1.7 ± 0.34 ; 2.18 ± 0.34 ; 2.99 ± 0.62 and 3.22 ± 0.39 cm respectively at the 20th, 35th, 50th, 65th and 80th JAS. Concerning the production parameters, the average diameter and the average length of the ears were more important in the T3 treatment with 44.33 ± 2.16 mm and 48.66 ± 3.74 cm respectively. Grain yields were statistically higher in treatments T2 (929.36 ± 338.86 kg/ha) and T3 (956.79 ± 32.41 kg/ha). The T3 treatment corresponding to the new fertilizer formula thus appears to perform better than the traditional fertilization methods.

Key words: NPK (12N-33P-19K), agronomic performance, Thialack2 millet (*Pennisetum glaucum* L. R. Br).

INTRODUCTION

La production mondiale de mil est évaluée à 30,5 millions de tonnes (Mt) en 2020, selon les chiffres de la FAO. Cette culture est essentiellement produite en Asie (52% de la production mondiale) et en Afrique (45%). En 2020, l'Afrique de l'Ouest a globalement produit 10,2 millions de tonnes, soit 77% de la production africaine et 33% de celle mondiale. Au Sénégal, la production de mil est de 1,1 millions de tonnes par la FAO (2020).

Toutefois, du fait de la pluviométrie déficitaire, des superficies cultivables réduites en raison de l'avancée de langue salée et de la poussée démographique mais aussi de l'appauvrissement des sols, la production vivrière décroît d'année en année. Cette baisse de la production se traduit par une réduction de la consommation par habitant et par année de céréales dont la norme est fixée à 185kg per capita par la FAO (2020).

Le mil ne fait pas exception à cette tendance baissière de la production. Et la faiblesse de ses rendements en grains est essentiellement due à la combinaison de facteurs biotiques (insectes ravageurs, maladies, adventices) et abiotiques (déficit pluviométrique, matériel local rustique et peu productif, pauvreté des sols) mais aussi à l'inadéquation des pratiques culturales (Kouakou et *al.*, 2013). En outre, au Sénégal, la capacité de production des sols est limitée d'une part par le faible accès aux intrants (semences de qualités, biofertilisants, bio-pesticides, etc) et d'autre part, par le faible accès aux engrais de qualité pour mieux répondre aux objectifs de rendements des différentes cultures développées. Face à cette situation, l'amélioration de la productivité agricole doit passer par une augmentation de la fertilité des sols plutôt que par l'extension des superficies cultivées au détriment des forêts et des terres marginales. C'est ainsi des auteurs comme Akanza et Yao, (2011) ; Akanza et *al.* (2016); SOMDA et *al.* (2017) et Zenabou et *al.* (2014) se sont intéressés à l'association de la fumure organique aux engrais minéraux, en vue d'augmenter le niveau de fertilité des sols et le rendement des cultures.

Fort de ce constat, le projet IFDC-ISRA/ Dundeel Suuf, dans le cadre de la mise en œuvre de ses activités, s'est orienté dans la réalisation de tests agronomiques d'évaluation et de validation de nouvelles formules d'engrais.

C'est dans cette optique que cette étude a été initiée et a pour objectif général de contribuer à l'amélioration de la productivité agricole en basse Casamance à travers une gestion judicieuse de la fertilité des sols. Spécifiquement, il s'agit d'évaluer l'effet d'une nouvelle formule d'engrais chimique (NPK (12-33-19) + Urée (46 % N) comparativement aux types de fertilisations habituelles sur les performances agronomiques du mil.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier présente la synthèse bibliographique sur le mil, le deuxième aborde, le matériel utilisé et la méthodologie appliquée et enfin les résultats obtenus et la discussion sont relatés dans le troisième.

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralités sur le mil (*Pennisetum glaucum*)

1.1.1. Origine et répartition

L'origine probable du mil est située dans la partie centrale du désert du Sahara en Afrique de l'Ouest (Hamadou *et al*, 2017). Selon les travaux de Clotault *et al*, (2012), la domestication du mil a eu lieu quelque part entre le Niger et le Mali actuel il y a 4 800 ans (figure 1). Le mil domestiqué en Afrique de l'Ouest s'est propagé rapidement pour atteindre l'Inde où plusieurs cultivars ont été identifiés faisant de cette région le deuxième centre de diversification (Manning, 2010).

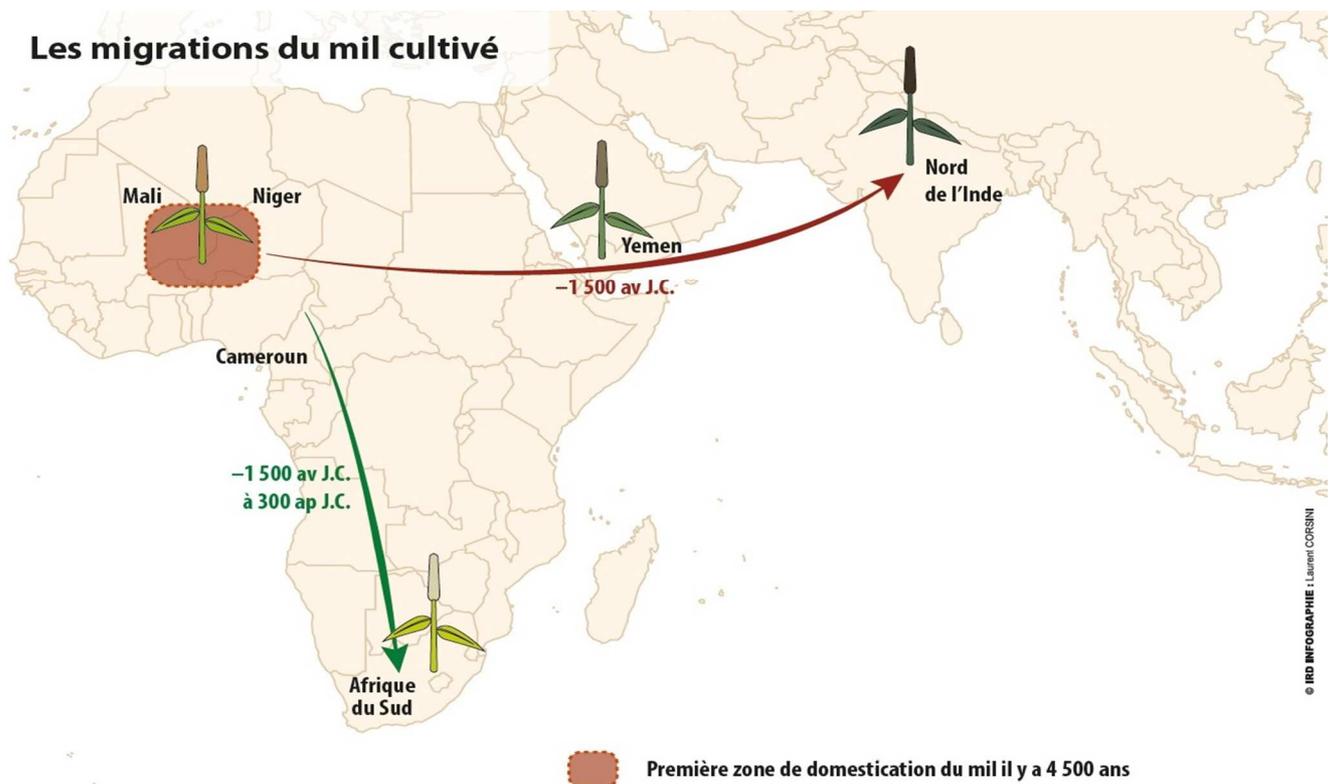


Figure 1 : Evolution de l'histoire du mil et sélection des gènes à la floraison depuis sa domestication (Clotault *et al.*, 2012)

1.1.2. Systématique

Le mil est une monocotylédone qui appartient au genre *Pennisetum*, à la famille des *Poaceae* (Graminées), à la sous-famille des *Panicoideae* et à la tribu des *Paniceae* (Loumerem, 2004). Le genre *Pennisetum* est constitué de 140 espèces et sous-espèces qui sont réparties dans les régions tropicales et subtropicales (Hamadou et al., 2017). Il est divisé en cinq sections. Le mil appartient à la section *Penicellariae*, qui se caractérise par la présence d'une mince touffe de poils au sommet des anthères et un nombre haploïde de chromosomes qui est égal à 7 ou un multiple de 7 (Bezançon et al., 1997).

1.1.3. Description botanique du mil

Le mil est une plante à port érigé, possédant des tiges épaisses et à hauteur variant de 1,5 à 3 m, mais on peut trouver des mils de près de 4 mètres (Moumouni, 2014). L'appareil racinaire est de type fasciculé avec une seule racine séminale principale suivie de nombreuses racines adventives. Une des causes de la bonne adaptation du mil aux conditions pédoclimatiques de la zone semi-aride est son développement racinaire important, pouvant atteindre 300 cm de profondeur à la récolte (Ahmadi et al., 2002 ; ROCAFREMI, 2002).

Les tiges du mil sont dressées et rigides avec des entre-nœuds pleins (Bouzou, 2009). Les entre-nœuds de la base s'allongent en dernier et sont plus courts. Les nœuds de la base sont capables de donner des talles secondaires et tertiaires. Les nombres de talles productives varient de 1 à 7 (Anonyme, 2004). Le mil émet parfois des ramifications sur les nœuds supérieurs de la tige et donnent des panicules de petites dimensions (Illiassou, 2009).

Les feuilles alternes et à nervures parallèles s'insèrent au niveau des nœuds. Elles sont formées d'une gaine entourant complètement la tige et d'un limbe lancéolé (Anonyme, 2004). Ses feuilles sont longues, glabres, assez minces, lisses ou poilues et mesurent jusqu'à 1 m de long. L'inflorescence est une panicule apicale raide, compacte de forme cylindrique et conique. Elle a généralement 2 à 3 cm de diamètre mais peut atteindre jusqu'à 18 cm de diamètre et 15 à 45 cm de longueur. Cependant, certains cultivars locaux (Zongo du Niger) peuvent atteindre 150 cm (Anonyme, 2004 ; Moumouni, 2014 ; Hamadou, 2015). Dans le descripteur du mil, on trouve 9 formes de panicule (IBPGR & ICRISAT, 1993).

La panicule est constituée par un rachis (axe central), droit, cylindrique, dur et épais de 8 à 9 mm. Il s'étend sur toute la longueur de l'inflorescence. Il est recouvert de poils doux et courts. Sur ce rachis sont implantés, par l'intermédiaire des pédicelles, les involucre formés par un bouquet de soies contenant des épillets (Loumerem, 2004). Chaque panicule peut former 870 à 3000 épillets avec une moyenne de 1600 épillets. Il y a plusieurs types d'épillets : uniflores, biflores, triflores et jusqu'à six fleurs. Chaque épillet est constitué de deux (2) glumes dont une

glume inférieure courte, plus large que longue, et une glume supérieure plus longue qui atteint environ la moitié de la longueur de l'épillet. La glume supérieure a une forme ovale et montre 3 à 4 nervures. Certaines des fleurs d'épillets sont fertiles et forment des caryopses (Moumouni, 2014 ; Hamadou et *al.*, 2017).

Les fruits sont des caryopses enveloppés dans des glumes et glumelles. Les graines sont de 3 à 5 mm de long, obovales à globuleuses (IBPGR & ICRISAT, 1993). Leur couleur varie du gris cendre à légèrement bleue. Certaines variétés sont de couleur brun-grise, brun-jaune et même noire.

1.1.4. Exigences écologiques du mil

Le mil est généralement cultivé sur des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés de type « Dior » (Diouf, 2001). Environ, 80% des sols cultivés du mil au Sénégal sont des sols ferrugineux tropicaux. Ces sols se caractérisent par une texture à dominance sableuse (85 à 95% de sables totaux), pauvre en argile avec un faible taux de matières organiques (Diouf, 1990). A côté des sols « Dior », le mil est aussi cultivé sur les sols « Deck » ayant une texture intermédiaire avec des teneurs en argiles de 5 à 12% (Diouf, 1990). On le trouve parfois sur des terres plus fertiles, telles que les terres de terrasses sablo-argileuses ou sur les terres autour des cases réservées en priorité au maïs et parfois au sorgho (Moumouni, 2014). Dans les bas-fonds, il ne supporte pas les excès d'eau. Le mil talle peu ou pas du tout sur les sols durs, les sols lourds et dégradés (Illiassou, 2009). Le mil Sanio est généralement cultivé sur des sols légers (sableux et sablo-argileux), à pH faiblement acide et de faible fertilité. Il est moins exigeant et plus rustique que le mil Souna et supporte assez bien les sols salins et alcalins.

La pluviométrie annuelle optimale de 350 à 500 mm bien répartie sur 75 jours au minimum, peut assurer une récolte du mil satisfaisante (Upadhyaya et *al.*, 2008). Selon la précocité de la variété, Moumouni (2014) a fait la répartition suivante : de 600 à 1000 mm de pluies, on trouve surtout les mils tardifs et de 350 à 600 mm, on trouve des mils hâtifs. Des conditions de précipitation et d'humidité relative faibles sont souhaitables lors du mûrissement et de la maturation des graines (Upadhyaya et *al.*, 2008). La culture est généralement pratiquée sans irrigation sur des sols pauvres en matière organique. Dans ces conditions de culture extensive, les rendements sont bas (moins de 1 tonne/ha).

Au Sénégal, le mil Sanio est rencontré surtout dans la moitié Sud du pays, notamment dans les régions naturelles de la Casamance et du Sénégal Oriental où on note une forte pluviométrie variant entre 400 et 1000 mm et répartie sur 3 à 6 mois.

Le mil exige pour son développement des températures de germination de 10 à 12°C (minimum), 37 à 44°C (optimum) et 44 à 55°C (maximum) (Loumerem, 2004). Le

développement floral et la formation des grains se déroulent normalement à des températures élevées mais à condition que la plante dispose de suffisamment d'eau dans le sol.

Le mil est une plante à jour court quoiqu'il existe des variétés indifférentes à la longueur du jour (Loumerem, 2004). Une journée de 12 heures convient à la croissance de la culture (Upadhaya *et al.*, 2008). La différence de précocité que l'on observe entre le type « Souna » et le type « Sanio » n'a qu'une valeur relative et dépend étroitement des conditions d'éclairement journalier auxquelles les plantes peuvent être soumises au cours de leur développement (Bilquez et Clément, 1969). En effet, le « Sanio » apparaît plus tardif par rapport au « Souna ».

1.1.5. Croissance et développement du mil

Le cycle de croissance du mil peut être subdivisé en trois phases : la phase végétative, la phase reproductive et la phase de maturation des grains (Figure 2).

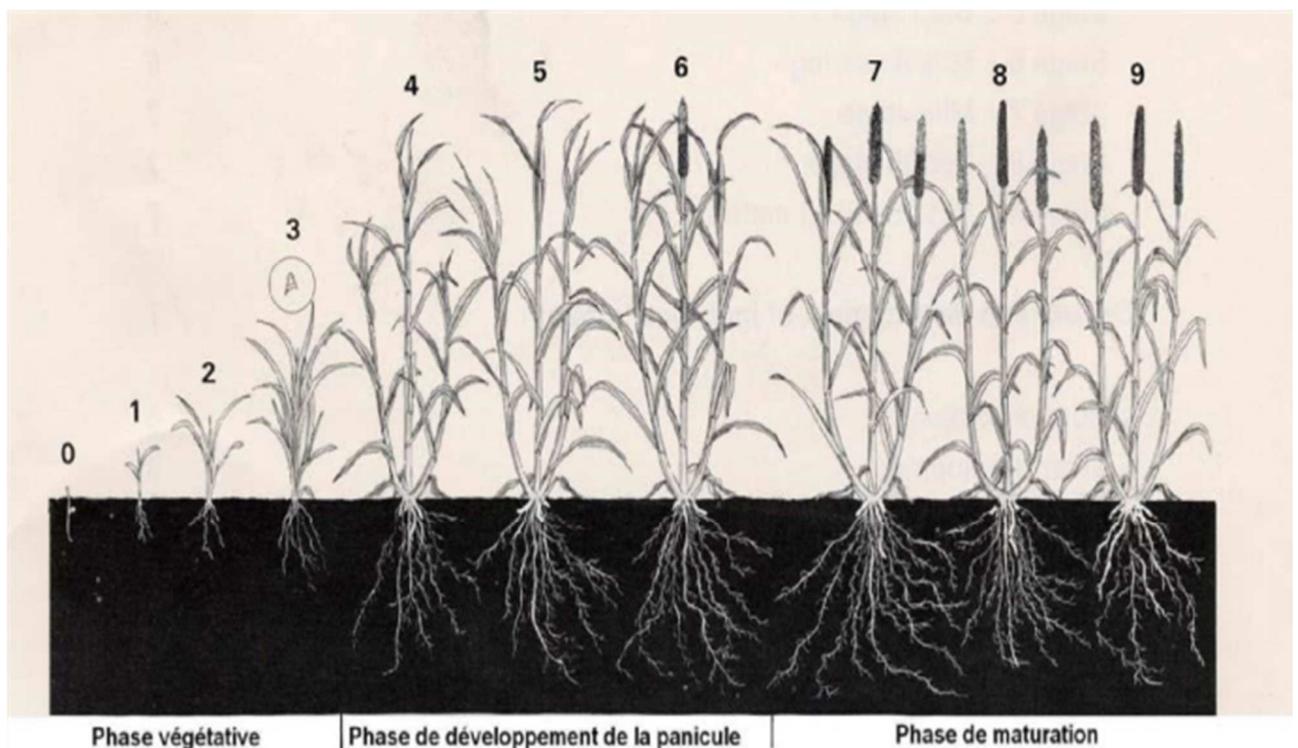


Figure 2: Représentation schématique des stades de développement du mil

(0 = levée ; 1 = 3 feuilles ; 2 = 5 feuilles ; 3 = initiation florale ; 4 = apparition dernière feuille ; 5 = gonflement ; 6 = 50% floraison ; 7 = grain laiteux ; 8 = grain pâteux ; 9 = maturité physiologique) (Maiti et Bidinger 1981).

1.1.5.1. Phase végétative

La phase végétative a une durée de 30 à 50 jours, allant de l'émergence à la formation de la panicule. Elle commence par la germination de la graine et l'apparition des jeunes plants, le tallage et continue jusqu'à l'initiation de la panicule (Maiti et Bidinger, 1981).

La germination est hypogée, c'est-à-dire qu'elle se fait entièrement sous terre. La graine germe au bout de 24 heures dans les bonnes conditions et la levée s'achève au bout de 2 à 5 jours après le semis (JAS). La radicule apparaît en premier puis suivent les tiges et les feuilles. Environ 8 JAS, la radicule ou la racine principale disparaît et est remplacée par des racines secondaires ou adventives (Adam, 2003).

Le tallage, ou émission des tiges secondaires à partir des tiges primaires, débute 15 jours après la levée et se poursuit pendant 10 à 20 jours. A ce stade, l'accumulation de biomasse concerne essentiellement les feuilles et les racines (Anonyme, 2004).

L'élongation de la tige se produit par l'élongation séquentielle des entre-nœuds en commençant à la base : c'est la montaison. Les talles suivent les mêmes phases que la tige principale mais avec un léger retard (Loumerem, 2004). L'accumulation de la biomasse concerne la tige en plus des racines et des feuilles (Anonyme, 2004). L'initiation de la panicule est marquée par la transformation du bourgeon végétatif apical en bourgeon floral, synonyme du début de la phase suivante.

1.1.5.2. Phase de reproduction

Elle commence avec l'initiation de la panicule de la tige principale entre 22 et 30 jours après l'émergence (Anonyme, 2004). Cette phase comprend l'épiaison, la floraison et la fructification. Elle est marquée par le développement total des feuilles et par la sénescence des feuilles à la base de la tige principale et a une durée de 18 à 25 jours suivant les variétés (Loumerem, 2004).

Durant la montaison, la feuille paniculaire se renfle au niveau de la gaine 6 à 10 jours avant l'émergence de la panicule (=épi). Cette dernière subit une série de changements : différenciation des épillets, des glumes, des stigmates des fleurs et des anthères. Dès l'émergence de l'épi (épiaison), les parties femelles des fleurs s'épanouissent les premières par l'exposition des stigmates bifides blanchâtres. Les anthères ne s'épanouissent que trois à cinq jours après émergence de l'épi : c'est la floraison (Anonyme, 2004 ; Loumerem, 2004). En général, ce sont les pollens des anthères épanouies sur d'autres épis qui fécondent les ovaires de ceux qui émergent à la faveur du vent, des insectes ou autre source de pollinisation.

La fécondation conduit à l'œuf qui donne la graine : c'est la fructification ou nouaison. Au terme de sa croissance, l'épi constitue une masse allongée à l'intérieur de la feuille paniculaire au sommet de la tige.

1.1.5.3. Phase de maturation

La maturation est le développement progressif du caryopse ou fruit du sommet vers la base de l'épi (Moumouni, 2014). Cette phase débute avec la fécondation des fleurs de la panicule principale et continue jusqu'à la maturité de toute la plante (tige principale et talles), (Loumerem, 2004).

Les grains atteignent leurs maturités en général 22 à 30 jours après la fécondation suivant la variété. L'accumulation de biomasse se produit surtout dans les caryopses mais peut continuer dans d'autres parties car les talles sont en retard du développement (Anonyme, 2004). Il s'agit d'une phase d'élaboration de substances de réserves (amidon, protéines), la migration de celles-ci vers l'albumen du grain et parallèlement la formation de l'embryon (Loumerem, 2004). En passant par 3 stades (laiteux, cireux et vitreux), les grains arrivent à la maturité physiologique 20 à 50 jours après la floraison selon les variétés (Dutordoir, 2006). Du stade laiteux à la maturité complète, les grains ont des caractéristiques différentes (Moumouni, 2014) :

- au stade laiteux : le grain est brun verdâtre et laiteux.
- au stade cireux ou pâteux : le grain atteint son aspect presque définitif, son contenu est pâteux.
- à la maturité complète : le grain est dur, à ce niveau on ne peut le casser avec l'ongle. On constate une déshydratation naturelle maximum. A ce stade, le grain prend sa couleur et sa taille définitive.

1.1.6. Contraintes à la production du mil

De nombreuses contraintes pèsent sur la production agricole des céréales et du mil en particulier. Celles-ci sont à la base de la baisse du rendement du mil observée en milieu paysan. L'ensemble de ces contraintes peuvent être regroupées en deux catégories : abiotiques et biotiques.

1.1.6.1. Contraintes abiotiques

La réduction du rendement du mil est causée non seulement par un bilan hydrique déficitaire mais aussi par la baisse progressive de la fertilité des sols, la mise en culture des terres marginales, l'absence de jachère (BA et *al.*, 2014 ; Zakari et al., 2016).

En effet, les zones semi-arides où le mil est fréquemment cultivé présentent une variation importante du point de vue pluviométrique. Cette variabilité va de 200 à 800 mm / an au Niger (Moumouni, 2014). Au Niger, la forte croissance démographique accélère la surexploitation

des sols entraînant un appauvrissement des terres de culture et donc des rendements de plus en plus faibles. Face à la dégradation généralisée de la fertilité des sols, les agriculteurs ont systématiquement recours à la mise en valeur de nouvelles terres de culture (terres marginales) qui ne sont pas à vocation agricole (FAO, 2009). La variabilité des dates de semis en début de campagne, le semis à sec en cas de retard des pluies, les sécheresses possibles en cours de campagne et le peu d'intrants apportés au sol par les paysans constituent des contraintes importantes dans la croissance de la plante.

1.1.6.2. Contraintes biotiques

En dehors des contraintes abiotiques, la pression parasitaire est l'une des principales contraintes à l'élévation de la production du mil. En effet, le mil est attaqué par des ravageurs et ennemis de tous ordres : des maladies, des insectes, des adventices, des oiseaux.

❖ Principaux nuisibles du mil

✓ Maladies

Des pertes importantes de rendement sont causées par diverses maladies (virus, champignons, bactéries, nématodes et autres) dont les plus importantes sont les maladies fongiques. Parmi elles figurent le mildiou, le charbon et l'ergot.

○ Mildiou du mil

Le mildiou causé par un champignon, *Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schröet, est la maladie du mil la plus importante en Inde et en Afrique de l'Ouest (Jogaiah et al., 2008 ; Sudhakar et al., 2012). La maladie a été rapportée pour la première fois par Butler (1907). C'est une maladie hautement destructrice et répandue dans la plupart des zones de culture du mil de l'Asie et de l'Afrique (Aparna, 2003 ; Thakur et al., 2008). Le mildiou du mil peut occasionner des pertes de rendement de l'ordre de 20 à 40% (Thakur et al., 2011). Il attaque la plante dès le stade plantule par les feuilles, la tige et l'épi. La maladie se caractérise par la transformation partielle ou totale de l'épi en organes foliacés ou la mort totale de la plante. Plusieurs études ont été réalisées sur les méthodes de contrôle du mildiou du mil tant qu'en Afrique qu'en Inde. Ces études ont trait dans leurs grandes majorité à la résistance variétale et au contrôle chimique (Thakur et al., 2003 ; Afiniki, 2005 ; Rao et al., 2005 ; Sharma et al., 2007 ; Wilson et al., 2008 ; Ati et al., 2015).

○ **Charbon du mil**

Le charbon, causé par *Tolyposporium peniciluriae* (Bref.) Vanky, occupe la deuxième place après le mildiou. Cependant, son impact sur les rendements est variable d'une zone à une autre et d'une année à l'autre (Mbaye, 1993). Il provoque des pertes directes des grains en les remplaçant par des spores de charbon, des structures remplies de téliosporos. Ces pertes de rendement s'élèvent jusqu'à 30% (Thakur et King, 1988). Les grains sont individuellement remplacés par des sacs ovales plus longs qu'eux. Ces sacs sont de couleur vert-foncé et deviennent brun ou noir à la maturité. La maladie est confinée au niveau de l'épi et atteint la plante à travers les stigmates au moment de la floraison. On lutte principalement contre le charbon en utilisant des variétés résistantes ou tolérantes ou en arrachant et en brûlant les plantes atteintes (Moumouni, 2014).

○ **Ergot du mil**

L'ergot ou maladie sucrée du mil est causé par *Claviceps fusiformis* (Loveless). C'est une maladie très répandue en Asie et en Afrique. Au Sahel, l'ergot est la troisième maladie la plus importante du mil. L'attaque de la plante a lieu dès la floraison et se caractérise par un écoulement de gouttelettes d'exsudats visqueux et sucrés mais toxiques au niveau des ovaires. Sur la chandelle, à la place des grains, il se forme des sclérotés, (Mbaye, 1993). Dans des conditions favorables au développement de la maladie (forte humidité relative et protogynie longue) et en fonction de la variété cultivée, les pertes de rendement en grains peuvent atteindre 58- 70% (Thakur et King, 1988 ; Mbaye, 1993). Les grains du mil attaqués par l'ergot, sous n'importe quelle forme, provoquent une intoxication et une somnolence chez l'individu (homme ou animal) qui l'aura consommé. Les méthodes de lutte les plus utilisées sont l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes, l'arrachage et le brûlage des plantes atteintes.

✓ **Insectes nuisibles au mil**

Comparé aux autres céréales, le mil est attaqué par un nombre limité d'insectes. Ils peuvent cependant revêtir une grande importance dans certaines régions de production en Afrique de l'Ouest (Ahmadi et al., 2002 ; Nomaou et al., 2015). Gahukar (1990) rapporte que les principaux insectes ravageurs du mil peuvent être classés en cinq groupes : les ravageurs des plantules, les foreurs de tiges, les insectes phyllophages, les ravageurs de l'épi ou de la chandelle et les insectes des stocks. Certains de ces ravageurs ont été signalés comme étant

économiquement très néfastes. Ils s'agissent de la mineuse de l'épi, des foreurs de tiges et des acridiens. Chenille mineuse de l'épi.

- **La chenille mineuse de l'épi**

Heliocheilus albipunctella (De Joannis) a été décrite pour la première fois en 1925 par Joannis sous le nom de *Raghuva albipunctella* (Gaikobi, 1995). C'est un papillon commun au Sud du Niger. La femelle pond ses œufs au moment de l'émergence et de la floraison des épis du mil. Après éclosion, les chenilles restent sur l'épi et se nourrissent des grains avec création d'une mine autour du rachis de l'épi, pour compléter leur développement. A maturité, elles tombent à proximité de la plante et s'enfouissent dans le sol pour se transformer en nymphes. Près de 70% des épis peuvent être attaqués et les pertes de rendement peuvent atteindre 15% (Youm et Owusu, 1998). Les études de Krall et al. (1995) en zone sahélienne révèlent des pertes de rendement de l'ordre de 8 à 95% dues à ce ravageur.

- **Foreurs des tiges du mil**

Environ une dizaine d'espèces de foreurs des tiges endommagent le mil à partir d'un mois et demi jusqu'à la récolte. Parmi ces espèces, deux se sont avérées les plus dangereuses : *Acigona* (Coniesta) *ignefusalis* et *Sesamia calamistis* (Hampson). Le premier est le plus important sur les variétés précoces et le deuxième sur les variétés tardives (Ndoye, 1982). L'espèce la plus abondante est *C. ignefusalis* et constitue un ennemi redoutable du mil dans les zones sahéliennes et soudaniennes d'Afrique de l'Ouest (Youm et al., 1998 ; David, 2000 ; Tanzubil et Mensah, 2000). Les larves du papillon détruisent les feuilles au cornet et pénètrent dans les nervures principales de la tige qu'elles creusent en se nourrissant de la moelle. À la saison sèche, la larve se met en diapause dans la tige jusqu'à la saison suivante. Selon Drame-Yaye et al. (2003), la sévérité et la nature des dommages dépendent de la date de semis et du moment de l'infestation.

- **Acridiens**

Un grand nombre d'espèces d'acridiens (Locustes et Sautériaux) attaquent le mil dont une vingtaine sont susceptibles de revêtir une importance économique vu l'ampleur des dégâts qu'ils occasionnent (Launois, 1978). Parmi les Sautériaux, *Oedaleus senegalensis* (Krauss) par son abondance, sa capacité de migration et les dégâts causés dans les cultures en général et le mil en particulier est à l'origine d'importantes pertes financières subies par les agriculteurs. Cet insecte vit dans la zone tropicale sèche et se déplace rarement en zone désertique et pas du tout en zone tropicale humide (Mbaye, 1993). L'invasion est plus sévère durant la croissance végétative que pendant le stade de développement des grains. Cependant, ce type de criquet

n'est grégaire qu'épisodiquement (Moumouni, 2014). L'espèce la plus dangereuse des locustes est le criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* (Forsk.). Il forme régulièrement des essaims dévastateurs qui peuvent migrer sur de très longues distances. Les migrations sont déclenchées quand la population atteint une certaine densité. Cette situation rend cette espèce particulière par sa capacité à passer de la phase solitaire à la phase grégaire (ObengOfori et al., 1993). Ce criquet ravage tout ce qui est vert sur son passage et peut manger chaque jour son poids en verdure. En cas d'invasion, le criquet pèlerin peut causer des pertes de 100% sur le mil (Mbaye, 1993).

✓ **Adventices**

Les adventices constituent un grand problème pour la culture du mil dans la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Le mil est généralement concurrencé par trois groupes d'adventices dont les Dicotylédones annuelles à larges feuilles, les Graminées annuelles (groupe le plus important des herbes nuisibles au mil) et les Cypéracées (Carson, 1988). Elles occasionnent des pertes de rendement de l'ordre de 30% au Sahel (Lagoke et al., 1988). En zone sahélienne, *Striga hermonthica* (Del.) Bent. Constitue un des facteurs non négligeables responsables de la baisse du rendement du mil (Mbaye, 1993). C'est une plante parasite obligatoire qui vit au dépend du mil. Elle infeste plus de 40% des superficies de production céréalière et cause une perte de rendement comprise entre 90 et 100% certaines années (Wilson et al., 2000). Il est possible de contrôler l'infestation de *S. hermonthica* en réduisant la quantité de semences dans le sol et en augmentant la fertilité du sol par les techniques culturales (Wilson et al., 2004).

✓ **Oiseaux**

Les attaques d'oiseaux sur les épis du mil sont fréquemment observées avec des dégâts assez élevés. Les ravages causés par les oiseaux granivores sont surtout importants dans les vallées et bassins des fleuves (fleuve Sénégal, boucle du Niger et bassin du Lac Tchad). Les espèces les plus dangereuses sont *Quelea quelea* (travailleur à bec rouge), *Q. erythrops* (travailleur à tête rouge), *Ploceus cucumillatus* (le gendarme), *Passer luteus* (moineau doré). Ces espèces sont polyphages et les pourcentages des dégâts sur mil varient de 10 à 30% et parfois plus, surtout sur les variétés précoces qui mûrissent avant les autres (Mbaye, 1993).

1.1.7. Les variétés du mil

1.1.7.1. Variétés cultivées

Les variétés de mil cultivées au Sénégal se divisent en deux grands types, qui se distinguent par leur précocité en période normale de culture pluviale (Diouf, 1990) : formes tardives et hâtives.

✚ Les formes hâtives ou type « Souna » (cycle végétatif de 80 à 100 jours) se caractérisent par des épis non aristés et de petits grains. Elles préfèrent les jours courts, mais peuvent fleurir en jours longs.



Photo 1 : Epis du mil Thialack 2

✚ Les formes tardives ou « Sanio » dont le cycle est de 120 à 150 jours, les épis aristés ou non et les grains plus gros que ceux des formes précoces. Elles sont sensibles à une photopériode de jours courts et ne fleurissent que si la longueur du jour est suffisamment faible. Chez les Sanios, la variabilité des caractères morphologiques du faux épi, apparaît plus importante que celle observée chez les Sounas. Par ailleurs, l'aristation, généralement associée à l'appellation Sanio, n'est pas pour autant commune à l'ensemble des formes tardives rencontrées dans le pays. Il existe en effet au sein des mil Sanio des formes mutiques (épis non poilus) se différenciant nettement des formes aristées.

1.1.7.2. Les formes aristées

Deux types se rencontrent avec chacun une aire géographique qui lui est propre :

➤ Le Sanio du Sine Saloum

Il représente le Sanio sénégalais typique. La chandelle longue de 70 à 80 cm est de forme très légèrement conique effilée. Le grain gris plus gros que chez le Souna, est de bonne vitrosité. La durée semis-récolte se situe entre 130 et 150 jours. L'aristation est du type monoaristé.

➤ Le Sanio de la Casamance

La chandelle est nettement plus courte, 30 à 40 cm, plutôt de forme conique. L'involucre est porté par un pédicelle assez long et moins densément répartis le long du rachis. L'aristation, à la différence de la variété précédente, serait du type polyaristé. Cette forme rencontrée en Casamance est également présente d'une façon très ponctuelle dans les pays limitrophes : le Mali et la Guinée Conakry.

1.2. Fertilisations organique et minérale

1.2.1. Fertilisations organiques

Les matières organiques utilisées dans la fertilisation des sols sont de nature et de formes diverses. Elles sont surtout constituées du compost, de fumiers, etc.

1.2.1.1. Le compost

Le compost est de l'humus fabriqué à partir d'un mélange de matières végétales et animales que sont la paille, les brindilles, les feuilles mortes, les déchets d'animaux, etc.

- ✓ Rôle dans l'amélioration de la structure et de la stabilité structurale du sol.

Le compost joue un important rôle dans l'amélioration de la structure et de la stabilité structurale du sol. En effet, parmi les différents éléments minéraux présents dans le sol, les argiles s'associent à la matière organique du sol (l'humus) et aux micro-organismes pour former, sous l'action stabilisatrice du calcium, le complexe argilo-humique. La structure en feuillets de ce dernier lui confère une puissante charge négative permettant à une certaine quantité de cations libres de la solution du sol de s'y fixer (Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ , HPO_4^{2-} ; Na^+ , etc.). Le complexe argilo humique est ainsi un véritable réservoir d'éléments nutritifs pour la culture. La formation d'agrégats stables rend ainsi le sol plus résistant aux agressions d'origine éolienne et hydrique, par conséquent, moins soumis à l'érosion (Savadogo, 2011).

- ✓ Rôle dans la rétention d'eau et la porosité

L'eau disponible pour les végétaux grâce à l'utilisation d'un compost correspond au double du volume d'eau pouvant être retenue par un sol minéral. Ainsi en augmentant le taux d'humus du sol de 0,20 %, la quantité d'eau disponible pour la plante croît de 0,50 % et la porosité du sol de 1% (Charnay, 2005). L'amélioration de la porosité entraîne également une meilleure aération du sol et ainsi le développement de l'activité biologique.

- ✓ Influence sur la chimie du sol

Les substances basiques du compost et les substances humiques sont bénéfiques contre l'acidification du sol et le stabilisent chimiquement. Une revitalisation des sols fortement dégradés et un développement de la végétation sont favorisés.

✓ Effet phytosanitaire

Cet effet décrit la faculté fongicide du compost. D'une manière générale le compost contient des substances donnant plus de vigueur aux végétaux et augmentant ainsi leur résistance vis à vis de certains pathogènes (Savadogo ,2011).

1.2 1.2. Le fumier

Le fumier est un matériau semi-solide composé de différents déchets de matières organiques, issus de lisier (mélanges d'excréments et d'urines d'animaux) associé à de la litière absorbante et structurante de composition plutôt carbonée de type pailles de céréales, fougères, granulés de bois, etc. Le fumier contient des éléments nutritifs importants dont la plante a besoin tout au long de son cycle végétatif. C'est un amendement que l'on apporte au sol en vue d'améliorer son niveau de fertilité. D'une manière générale le fumier contient de l'Azote de formule NH_2 non encore assimilable par la plante et dont la minéralisation libère de l'acide nitrique ($HN0_3$), du nitrate de potassium ($KN0_3$), du nitrate de sodium ($NaN0_3$) bénéfiques aux plantes.

✓ Azote (N) et rapport C/N

L'azote des amendements organiques est sous forme organique (emprisonné dans la structure des fibres) et sous forme minérale. La forme minérale est disponible immédiatement aux plantes. La fraction organique doit être minéralisée pour devenir disponible aux plantes. Il y a deux formes d'azote minéral : la forme ammoniacale (NH_4^+) et la forme nitrate (NO_3^-). Dans le sol, la forme ammoniacale se transforme rapidement en forme nitrate, mieux absorbée par les plantes, grâce à l'activité des bactéries nitrifiantes. Les fumiers contiennent de l'azote minéral, principalement sous forme ammoniacale, et de l'azote organique, alors que les composts ne contiennent pratiquement que de l'azote organique. Si le fumier n'est pas incorporé rapidement après son épandage, la fraction ammoniacale se perd dans l'atmosphère par volatilisation de l'ammoniac. Le rapport C/N est le ratio entre la quantité de carbone et la quantité d'azote contenue dans les fumiers et composts. Cette donnée permet d'estimer de façon très grossière la rapidité de minéralisation de l'azote des fumiers et composts. Plus le rapport C/N est élevé, moins l'azote est rapidement disponible (Weil et Jean Duval, 2009).

✓ Phosphore (P)

Le phosphore du fumier ou du compost est surtout sous forme organique. De 50 à 70 % du phosphore des fumiers et composts devient disponible aux plantes durant la période de croissance. En fertilisation, les quantités de phosphore sont toujours données en termes de P_2O_5 . La conversion entre P et P_2O_5 est la suivante : $P \text{ (kg)} \times 2,29 = P_2O_5 \text{ (kg)}$

✓ Potassium (K)

Le potassium du fumier ou du compost est principalement sous forme minérale et est immédiatement disponible aux plantes. En fertilisation, les quantités de potassium sont toujours données en termes de K₂O. La conversion entre K et K₂O est la suivante : $K \text{ (kg)} \times 1,2 = K_2O \text{ (kg)}$ (Weil et Jean Duval, 2009).

1.2.2. Fertilisation minérale

Les engrais minéraux sont utilisés pour apporter les éléments nutritifs essentiels tels que l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). On distingue les engrais simples qui ne contiennent qu'un élément fertilisant des engrais complexes pouvant contenir 2 ou 3 et même 4 éléments fertilisants. Ces éléments jouent un rôle essentiel dans la croissance et le développement du mil. L'absence ou la déficience d'un de ces éléments peuvent se répercuter sur la production en grain et en fourrage du mil.

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

L'expérimentation a été conduite au Centre de Recherches Agricoles de Djibélor (12°33'39"N ; 16°18'25"O) situé sur la route du Cap Skiring dans la commune de Niaguis, région de Ziguinchor (figure 3). Le sol est de type ferrugineux tropical de texture sableuse avec une faible teneur en matières organiques (moins de 1%). Le climat de la région est du type soudanien côtier Sud (Sagna, 2005). Il est caractérisé par l'existence de deux saisons : une saison sèche de 7 à 8 mois qui s'étale de novembre à mai et une saison pluvieuse qui dure 4 à 5 mois (de juin à octobre). Le cumul pluviométrique de l'hivernage 2022 est de 1732 mm. Les mois les plus pluvieux sont Aout (518 mm) et Septembre (396 mm).

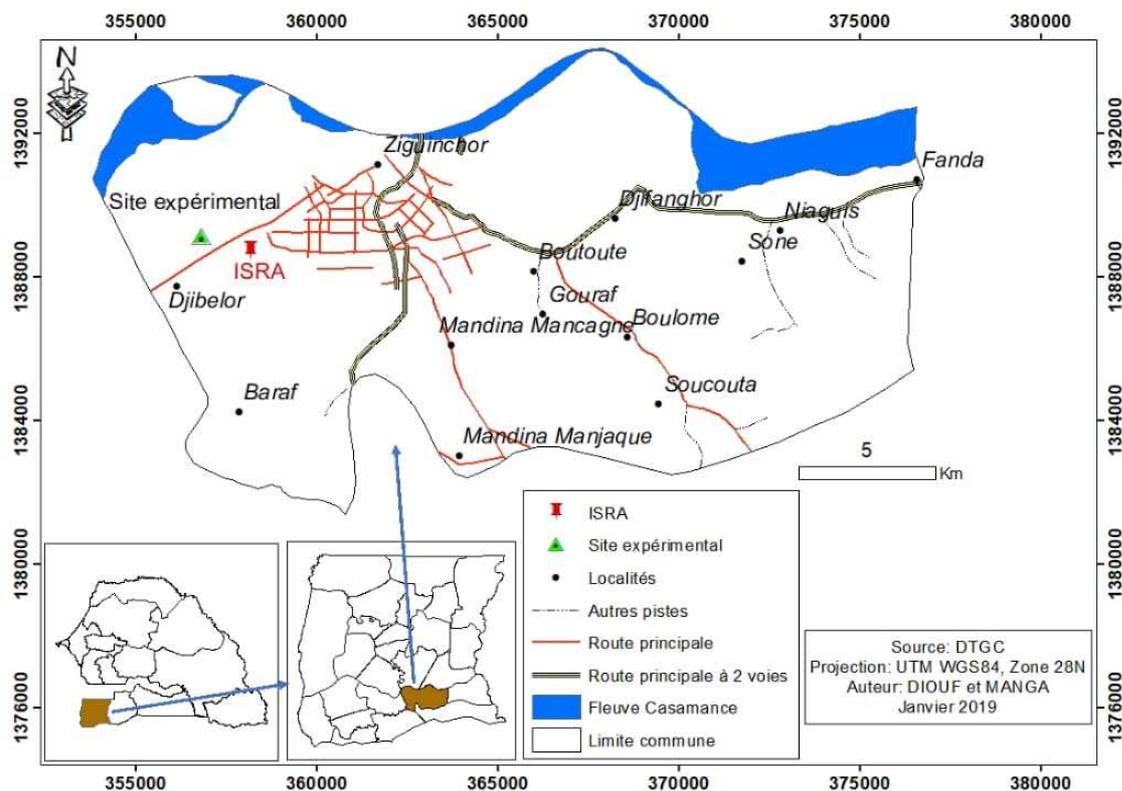


Figure 3 : Carte de localisation de la zone d'étude (Manga et Diouf, 2019)

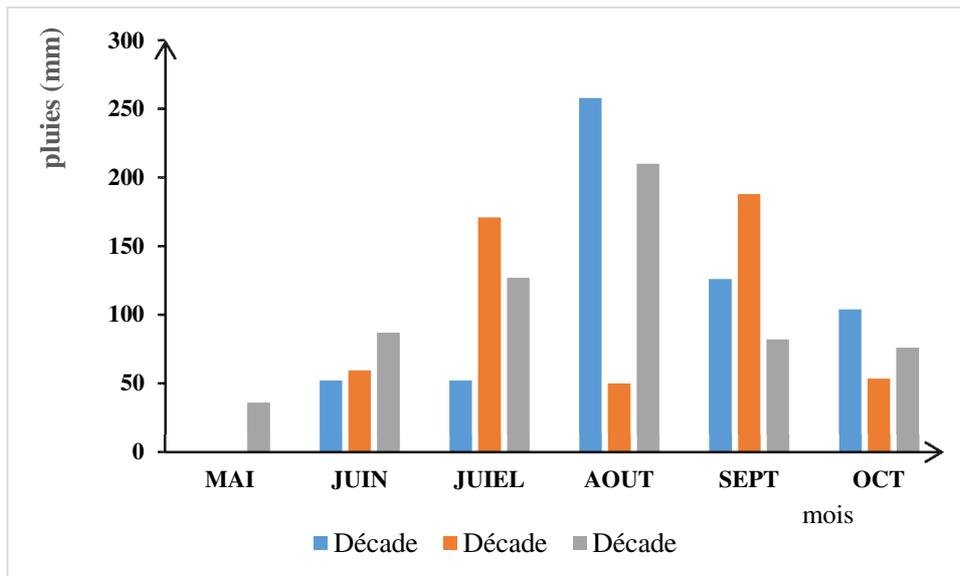


Figure 4 : Pluviométrie décadaire de la station de l'ISRA/Djibélor en 2022

2.2. Matériel végétal

La variété de mil utilisée est appelée Thialack 2 qui : a un cycle de développement de 95 jours, une hauteur moyenne des plantes de 250 cm, un rendement potentiel grain de 2 à 3 t/ha, un rendement au battage de 55 % et un poids de 1000 grains de 7,5 g.



Photo 2 : Champ du mil Thialack2

2.3. Facteur étudié

Un seul facteur est étudié à savoir le type de fertilisation avec 5 niveaux :

- T0 : Témoin absolu (0 kg/ha, 00-00-00 NPK)
- T1 : 150 kg/ha de NPK (15N-10P-10K) en engrais de fond +100 kg /ha Urée (46N-0P-0K)
- T2 : 150 kg /ha (12N-33P-19K) en engrais de fond + 100kg/ha Urée (46N-0P-0K)
- T3 : 5 t/ha de Compost en fond +150kg/ha NPK (12N-33P-19K) en engrais de fond +100 kg/ha Urée (46N-0P-0K)
- T4 : Compost 5 t/ha

2.4. Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé est en blocs complets aléatoires (ou blocs de Fischer) avec 4 blocs ou répétitions. Chaque bloc comporte 5 traitements ou parcelles élémentaires. Chaque parcelle élémentaire mesure 6,3 m de longueur et 4,5 m de largeur et comporte 48 poquets (figure 5). Les blocs sont séparés d'un mètre et les traitements de 0,5 m. Au total chaque bloc comporte 240 poquets soit 960 poquets pour l'ensemble du dispositif.

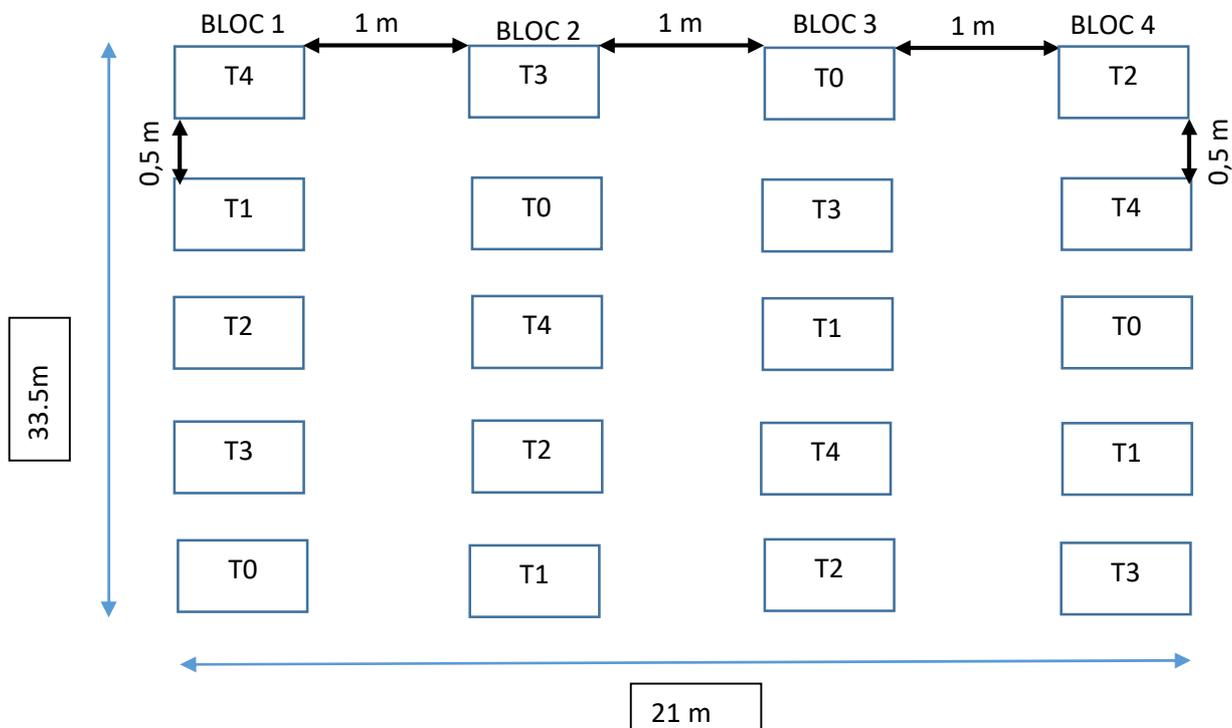


Figure 5 : Schéma du dispositif expérimental

2.5. Conduite de l'essai

2.5.1. Préparation du sol et application des doses de fertilisants

Le précédent cultural est une jachère d'un an. Le piquetage a été effectué sur une parcelle labourée (703,5 m²) puis nivelée. Suivant les traitements un engrais de fond a été apporté avec différentes doses :

T0 : témoins absolu

T1 : 0,425 kg de NPK (15-10-10) + Urée (46 % N) application au tallage (0,141 kg) et initiation paniculaire (0,141 kg).

T2 : 0,425 kg de NPK (12-33-19) + Urée (46 % N) application au tallage (0,141 kg) et initiation paniculaire (0,141 kg).

T3 : 14,175kg de Compost + 0,425kg de NPK (12-33-19) + Urée (46 % N) application au tallage (0,141kg/28,35m²) et initiation paniculaire (0,141kg).

T4 : 14,175kg de Compost.



Photo 3 : Epannage d'Urée

2.5.2. Semis

Le mil a été semé directement suivant l'écartement 0,9 m entre les poquets et 0,9 m entre les lignes. La levée des plants a été observée 4 jours après semis.

2.5.3. Démariage, repiquage et sarclo-binages

Un démariage à 3plants/ poquet a été effectué 12 jours après germination. Ensuite des repiquages ont été effectués pour corriger les faibles densités. En plus, 3 sarclo-binages ont été

effectués après levée. Le premier, le deuxième et le troisième sarclo-binage ont été effectués respectivement à 15, 30 et 45 JAL



Photo 4 : Champ du mil après démariage



Photo 5 : Premier sarclo-binage

2.6. Paramètres mesurés

Les mesures ont portées sur les paramètres de croissance et développement et de production :

2.6.1. Paramètres de croissance et développement

Il s'agit :

- de la densité des plants dans la parcelle élémentaire. Elle a été évaluée à la levée, à 20 ; 35 et 80 jours après semis ;
- du nombre total de talles/m² qui a été évalué à partir de 10 plants pris au hasard par parcelle utile ;
- de la hauteur des plants à 20 ; 35 ; 50; 65 et 80 jours après semis sur 10 plants pris au hasard par parcelle utile ;



Photo 6 : Mesure de la hauteur du mil.

- du diamètre de la tige au collet à 35 ; 50; 65 ; et 80 jours après levée sur 10 plants pris au hasard par parcelle utile ;
- du poids sec de la biomasse aérienne (des tiges, des feuilles et des épis) dans la parcelle utile après 21 à 30 jours de séchage au soleil.



Photo 7 : Pesage de biomasse fraîche

2.6.2. Paramètres de production

Il s'agit :

- de la longueur et du diamètre de l'épis, évalués à partir des épis récoltés dans la parcelle utile ;
- du nombre d'épis/ha qui a été évalué à partir du nombre d'épis récoltés dans la parcelle utile ;
- du rendement épis évalué à partir du poids sec des épis récoltés dans la parcelle utile à 21-30 jours après séchage,



Photo 8 : Pesage des épis du carré de rendement

- du rendement grains évalué à partir du poids des grains produits dans chaque parcelle utile ;
- Poids 1000 grains évalué à partir de 3 lots de 1000 grains par parcelle élémentaire.

2.7. Traitements statistiques

Les données collectées ont été saisies à l'aide du tableur Excel qui a permis l'élaboration des graphiques et tableaux. Le logiciel XLSTAT version 2014 a permis de réaliser l'analyse de variance. La comparaison des moyennes au seuil de signification 5% a été réalisée à l'aide du test de Fisher. Le logiciel XLSTAT a aussi permis d'effectuer une analyse multi variée (ACP) afin de déterminer le niveau de corrélation entre les traitements testés et paramètre étudiés.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.2. Paramètres de croissance et développement

3.1.2.1. Densité des plants

L'analyse du tableau 1 montre que le type de fertilisation n'a pas affectée la densité des plants ($P>0,05$) quelles que soient les dates de mesure. Les densités les plus élevées sont observées sur le traitement T2 quelles que soient les dates de mesure.

Tableau 1: Variation de la densité des plants à l'hectare en fonction des traitements

TRAITEMENTS	Jours après semis			
	5 JAS	20 JAS	35 JAS	80 JAS
T0	16490,30 ± 3346 ^a	16843,03 ± 353 ^a	1675,85 ± 353 ^a	16754,85 ± 204 ^a
T1	16578,48 ± 5147 ^a	16931,22 ± 204 ^a	16754,85 ± 204 ^a	16754,85 ± 407 ^a
T2	16843,03 ± 4493 ^a	16931,22 ± 176 ^a	16843,03 ± 176 ^a	16843,03 ± 176 ^a
T3	16754,85 ± 4471 ^a	16843,03 ± 338 ^a	16666,67 ± 338 ^a	16666,67 ± 353 ^a
T4	16813,64 ± 4343 ^a	16931,23 ± 176 ^a	16813,64 ± 176 ^a	168113,64 ± 176 ^a
Moyenne				
Générale	12438,50 ± 50	16764,13 ± 245,75	16764,13 ± 245,75	16689,87 ± 333,65
Probabilité	0,9ns	0,9ns	0,9ns	0,5ns

Sur une colonne, les moyennes ayant la même lettre identique sont statistiquement équivalentes selon le test de Fisher au seuil de 5 %. Lire ns : non significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 5% ; ** : hautement significatif au seuil de 5% ; *** : Très Hautement Significatif

3.1.2.2. Tallage du mil

L'analyse de la Figure 6 montre que le tallage du mil n'est pas influencé par le type de fertilisation ($P=0,6$ ns). Les différents types d'engrais ont donné un nombre de talles par mètre carré statistiquement similaire. Toutefois la nouvelle formule (T2) a donné un nombre de talles légèrement supérieur (50 talles/m²) aux autres types de fertilisation.

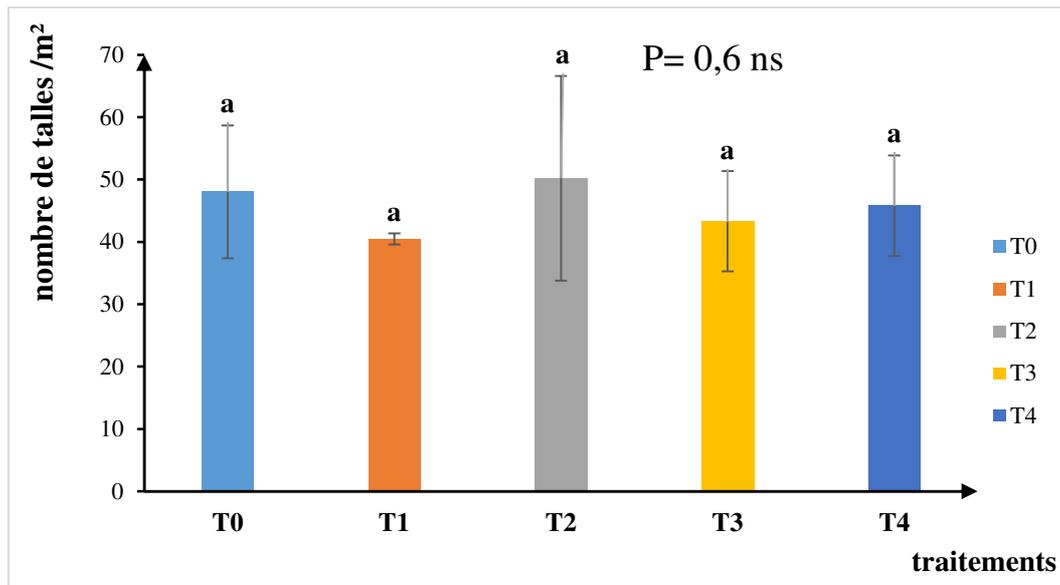


Figure 6 : Nombre de talles produits par m² en fonction des traitements

3.1.2.3. Hauteur des plants

Le type de fertilisation a affecté significativement la croissance du mil pendant tout son cycle. Du début tallage au début de maturation les hauteurs des plants les plus élevées sont enregistrées avec le traitement T3 (30,77 ± 2,74 cm à 20 JAS, 70 ± 8,99 cm à 35 JAS 158,93 ± 15,27 cm à 50 JAS, 216,18 ± 10,83 cm à 65 JAS et 229,23 ± 10,49 cm à 80 JAS). Cependant, la hauteur moyenne des plants avec ce traitement n'est pas statistiquement différente de celle obtenue avec le traitement T2 aux dates 20 et 35 JAS. Les plus faibles hauteurs des plants sont obtenues avec le traitement T0 quelle que soit la date de mesure avec 23,3 ± 2,88 cm, 50,03 ± 8,36 cm, 100,95 ± 24,78 cm, 160,18 ± 16,60 cm et 180,15 ± 28,42 cm respectivement aux 20^{ème} ; 35^{ème} ; 50^{ème} ; 65^{ème} et 80^{ème} JAS (Tableau 2).

Tableau 2: Variation de la hauteur moyenne des plants (cm) en fonction des traitements

TRAITEMENTS	Jours après semis				
	20 JAS	35 JAS	50 JAS	65 JAS	80 JAS
T0	23,3 ± 2,88 ^a	50,03 ± 8,36 ^a	100,95 ± 24,78 ^a	160,18±16,60 ^a	180,15 ± 28,42 ^a
T1	28,43 ± 1,54 ^{ab}	63,03 ± 6,57 ^{bc}	137,43 ± 4,29 ^b	212,18±16,34 ^c	219,05 ± 9,90 ^b
T2	30,04 ± 3,88 ^b	65,88 ± 5,19 ^c	136,45 ± 8,15 ^b	203,63±10,9 ^{bc}	213,63±17,12 ^b
T3	30,77 ± 2,74 ^b	70 ± 8,99 ^c	158,93 ± 15,27 ^c	216,18±10,83 ^c	229,23±10,49 ^c
T4	26,54 ± 2,84 ^{ab}	52,07 ± 3,74 ^b	117,44 ± 21,84 ^{ab}	185,35±15,48 ^b	194,1 ± 15,03 ^{ab}
Moyenne générale	28,05 ± 3,68	60,63 ± 10,07	128,73 ± 24,79	195,07 ± 24,97	206,9 ± 24,54
Probabilité	0,034*	0,005**	0,006**	0,0003***	0,01*

Sur une colonne, les moyennes ayant la même lettre identique sont statistiquement équivalentes selon le test de Fisher au seuil de 5 %. Lire ns : non significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 5% ; ** : hautement significatif au seuil de 5% ; *** : Très Hautement Significatif

3.1.2.4. Diamètre au collet des plants

L'analyse de l'évolution du diamètre au collet des plants en fonction des traitements et de la date de mesure est présentée dans le tableau 3. Les résultats consignés dans ce tableau indiquent que le diamètre au collet des plants du mil est significativement influencé par le type de fertilisation. En effet, les diamètres au collet des plants les plus grands sont obtenus avec le traitement T3 (1,7 ± 0,34 cm à 35 JAS ; 2,18 ± 0,34 cm à 50 JAS ; 2,99 ± 0,62 cm à 65 JAS ; 3,22 ± 0,42 cm à 80 JAS). Les plus faibles diamètres au collet ont été enregistrés avec le traitement témoin avec 0,82 ± 0,21 cm, 1,33 ± 0,21 cm, 1,84 ± 0,21 cm et 2,04 ± 0,39 cm respectivement aux 35^{ème} ; 50^{ème} ; 65^{ème} et 80^{ème} JAS.

Tableau 3 : Evolution du diamètre au collet de plants (cm) en fonction des traitements et de la date de mesure

TRAITEMENTS	Dates de mesure			
	35 JAS	50 JAS	65 JAS	80 JAS
T0	0,82 ± 0,21 ^a	1,33 ± 0,21 ^a	1,84 ± 0,21 ^a	2,04 ± 0,39 ^a
T1	1,32 ± 0,23 ^{bc}	1,82 ± 0,20 ^b	2,34 ± 0,21 ^a	2,61 ± 0,18 ^b
T2	1,27 ± 0,22 ^b	1,78 ± 0,22 ^b	2,19 ± 0,18 ^a	2,43 ± 0,27 ^{ab}
T3	1,7 ± 0,34 ^c	2,18 ± 0,34 ^c	2,99 ± 0,62 ^b	3,22 ± 0,42 ^c
T4	1,06 ± 0,09 ^{ab}	1,52 ± 10 ^{ab}	2,15 ± 0,13 ^a	2,31 ± 0,39 ^{ab}
Moyenne générale	1,23 ± 0,37	1,72 ± 0,36	2,33 ± 0,48	2,48 ± 0,47
Probabilité	0,002**	0,001**	0,005**	0,003**

Sur une colonne, les moyennes ayant la même lettre identique sont statistiquement équivalentes selon le test de Fisher au seuil de 5 %. Lire ns : non significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 5% ; ** : hautement significatif au seuil de 5% ; *** : Très Hautement Significatif

3.1.3. Paramètres de production

3.1.3.1. Diamètre et longueur des épis

L'analyse du tableau 4 montre que le type fertilisation n'a aucun effet significatif sur le diamètre (P= 0,16) et la longueur (P= 0,15) des épis. Toutefois en valeur absolue le diamètre moyen des épis le plus grand (44,33 ± 2,16 mm) et de la longueur moyenne des épis la plus importante (48,66 ± 3,74 cm) sont enregistrés avec le traitement T3. Le diamètre moyen des épis le plus faible (32,75 ± 9,64 mm) et la longueur moyenne des d'épis la plus faible (40,00 ± 7,34 mm) sont notés au niveau du traitement T0.

Tableau 4: Variation du diamètre moyen et de la longueur moyenne des épis en fonction des traitements.

Traitements	Diamètre épis (mm)	Longueur épis (mm)
T0	32,75 ± 9,64 ^a	40,00 ± 7,34 ^a
T1	43,75 ± 3,40 ^a	47,65 ± 4,97 ^a
T2	44,00 ± 8,12 ^a	47,95 ± 3,88 ^a
T3	44,33 ± 2,16 ^a	48,66 ± 3,74 ^a
T4	40,50 ± 7,05 ^a	43,97 ± 3,37 ^a
Moyenne Générale	40,89 ± 7,61	45,48 ± 5,55
Probabilité	0,16ns	0,15ns

Sur une colonne, les moyennes ayant la même lettre identique sont statistiquement équivalentes selon le test de Fisher au seuil de 5 %. Lire ns : non significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 5% ; ** : hautement significatif au seuil de 5% ; *** : Très Hautement Significatif

3.1.3.2. Biomasse en paille et en épis

L'analyse du tableau 5 a montré que les traitements ont induit un effet significatif sur la biomasse épis ($P= 0,02$) et hautement significatif sur la biomasse paille ($P= 0,008$) et la biomasse totale ($P= 0,004$).

La biomasse épis produite avec les traitements T3 ($1844,99 \pm 224,14$ kg/ha) et T2 ($1793,55 \pm 499,93$ kg/ha) est statistiquement plus importante que celle obtenue au niveau des autres traitements. La biomasse épis la plus faible est notée avec le traitement témoin ($1033,38 \pm 363,17$ kg/ha).

Quant à la biomasse paille, elle a été significativement plus importante avec le traitement T3 ($3429,36 \pm 969,97$ kg/ha) et plus faible avec le traitement témoin ($1371,74 \pm 740,83$ kg/ha).

La biomasse aérienne totale comme la biomasse épis est significativement plus importante avec les traitements T3 ($5274,35 \pm 1172,04$ kg/ha) et T2 ($4365,60 \pm 1042,73$ kg/ha) et plus faible avec le traitement témoin ($2266,80 \pm 1062,63$ kg/ha).

Tableau 5 : Variation de la biomasse épis, de la biomasse paille et de la biomasse aérienne totale en fonction des traitements

TRAITEMENTS	Biomasse épis (kg/ha)	Biomasse paille (kg/ha)	Biomasse Aérienne totale (kg/ha)
T0	1033,38 ± 363,17 ^a	1371,74 ± 740,83 ^a	2266,80 ± 1062,63 ^a
T1	1556,93 ± 289,15 ^{ab}	2657,75 ± 43152 ^{bc}	4214,69 ± 629,94 ^{bc}
T2	1793,55 ± 499,93 ^b	2400,55 ± 593,98 ^{abc}	4365,60 ± 1042,73 ^c
T3	1844,99 ± 224,14 ^b	3429,36 ± 969,97 ^c	5274,35 ± 1172,04 ^c
T4	1231,14 ± 281,65 ^a	1800,41 ± 514,40 ^b	3827,88 ± 1416,29 ^b
Moyenne Générale	1516,14 ± 429,89	2328,35 ± 960,35	3827,88 ± 1416,29
Probabilité	0,02*	0,008**	0,004**

Sur une colonne, les moyennes ayant la même lettre identique sont statistiquement équivalentes selon le test de Fisher au seuil de 5 %. Lire ns : non significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 5% ; ** : hautement significatif au seuil de 5% ; *** : Très Hautement Significatif

3.1.3.3. Rendement et ses composantes

Le type de fertilisation appliqué a significativement influencée le rendement en grains ($P < 0,05$) et l'indice de récolte ($P = 0,02$). Par contre, il n'a induit aucun effet significatif sur le nombre d'épis/ha ($P = 0,15$) et le poids mille grains ($P = 0,07$).

En effet, le rendement grains le plus important est obtenu avec les traitements T3 ($956,79 \pm 32,41$ kg/ha) et T2 ($929,36 \pm 338,86$ kg/ha) et le plus faible avec le traitement témoin ($507,55 \pm 221,19$ kg/ha). Quant à l'indice de récolte, il est plus important avec le traitement témoin ($0,32 \pm 0,09$) et plus faible avec le traitement T3 ($0,23 \pm 0,04$).

Tableau 6: Variation du nombre d'épis, du rendement grains, du poids 1000 grains et de l'indice de récolte en fonction des traitements.

TRAITEMENTS	Nombre d'épis/ha	Rendement grains (kg/ha)	Poids 1000 grains (g)	Indice de récolte
T0	61271,15 ± 7919,76 ^a	507,55 ± 221,19 ^a	7,58 ± 1,45 ^a	0,32 ± 0,09 ^b
T1	80932,76 ± 13853,9 ^{ab}	816,19 ± 190,57 ^{ab}	8,38 ± 0,47 ^a	0,24 ± 0,04 ^{ab}
T2	89849,11 ± 21847,6 ^{ab}	929,36 ± 338,86 ^b	8,05 ± 0,51 ^a	0,26 ± 0,06 ^{ab}
T3	89506,17 ± 19314,3 ^{ab}	956,79 ± 32,41 ^b	8,95 ± 0,39 ^a	0,23 ± 0,04 ^a
T4	73731,14 ± 8105,67 ^{ab}	672,15 ± 143,16 ^{ab}	7,76 ± 0,80 ^a	0,29 ± 0,04 ^{ab}
Moyenne Générale	79994,22 ± 17339,58	781,89 ± 258,70	8,17 ± 0,75	0,26 ± 0,06
Probabilité	0,15ns	<0,05*	0,07ns	0,02*

Sur une colonne, les moyennes ayant la même lettre identique sont statistiquement équivalentes selon le test de Fisher au seuil de 5 %. Lire ns : non significatif au seuil de 5% ; * : significatif au seuil de 5% ; ** : hautement significatif au seuil de 5% ; *** : Très Hautement Significatif

3.1.4 Typologie des traitements sur les performances agronomique du mil

L'Analyse en Composantes Principales réalisée sur la base des 5 traitements testés et les paramètres agro-morphologiques (figure 7) a permis de discriminer deux groupes de traitements :

- le groupe A constitué des traitements T1 ; T2 et T3 caractérisés par une influence positive sur tous les paramètres agromorphologiques à l'exception du tallage et qui induisent un indice de récolte faible ;
- Et le groupe B constitué des traitements T0 et T4 qui induisent un bon tallage et un meilleur indice de récolte.

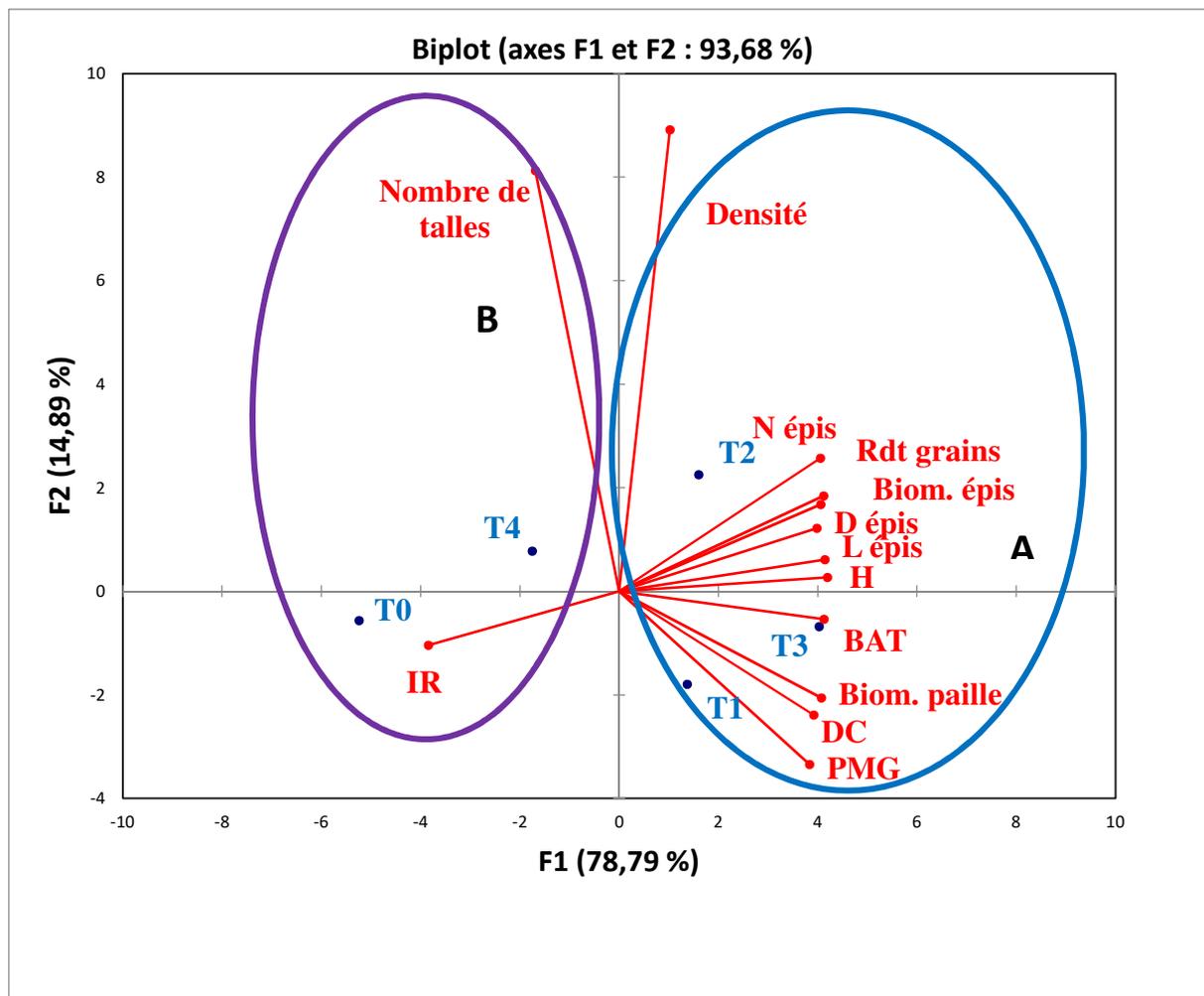


Figure 7 : Typologie des traitements testés

Légende : PMG : Poids des milles Grains ; DC : Diamètre au collet ; Biom. Paille : biomasse paille ; Biom. Epis : Biomasse épis; N épis : nombre d'épis ; Rdt grains : rendement grains ; BAT : Biomasse aérienne totale ; IR : Indice de Récolte ; H : Hauteur ; L. épis : longueur épis ; D épis : Diamètre épis

3.2. Discussion

Cette étude a pour objet d'évaluer les effets d'une nouvelle formule d'engrais chimiques sur les performances agronomiques du mil. Et ce, en vue de contribuer à la mise au point de nouvelles formules d'engrais basées sur les carences en nutriments du sol et les besoins des cultures. En effet, la bonne croissance et la vigueur des plants enregistrés avec l'apport de la nouvelle formule d'engrais seule ou combinée au compost sont dues à la libération rapide des éléments nutritifs dans le sol et à leur absorption par les plantes. Nos résultats sont similaires à ceux de Ndiaye et *al.* (2019) qui ont montré un effet positif de la fertilisation organo-minérale sur la hauteur des plantes du mil Sanio en Haute Casamance. De plus nos résultats corroborent les travaux de Cissé (1988), de Somda et *al.* (2017) et de Gueye (2016) qui ont respectivement montré un effet positif de la fertilisation organo-minérale sur la hauteur des plantes de mil, du sorgho et du fonio.

Le diamètre au collet est positivement influencé par la fertilisation organo-minérale. Cela peut se justifier par l'amélioration des propriétés du sol par l'apport de matière organique. Ces résultats corroborent les travaux de Bamba (2020) qui a montré l'influence positive de l'amendement organique sur le diamètre des tiges du mil Sanio en Casamance. Aussi, des résultats identiques ont été trouvés par Ndione (2020) qui a montré un effet positif de la fertilisation organo-minérale sur le diamètre au collet du maïs en Basse Casamance.

La nouvelle formule d'engrais minéral (12N-33P-19K) a significativement affecté le tallage du mil comparé à l'ancienne formule (15N-10P-10K). Ce résultat est conforme à celui obtenu par Eldin (1990) qui a montré une augmentation du nombre de talles du mil suite à une fertilisation minérale. Nos résultats sont aussi conformes à ceux de Mendy et Nadhumat (2016) qui ont montré des effets positifs de la fertilisation organo-minérale sur le tallage du riz (NERICA 14) en Basse Casamance. En effet, l'absorption directe des éléments nutritifs par les plantes favorise le développement végétatif.

Les traitements appliqués n'ont pas influencé significativement le diamètre et la longueur des épis. Cela peut être dû par la précocité de notre variété du mil Thialack2. Ces résultats sont en phase avec les travaux de Sy et *al.*, (2015) qui ont montré que plus les variétés du mil sont tardives, plus les plantes sont vigoureuses. Ces résultats ne sont pas en phase avec ceux de Bamba (2020) qui a montré une influence positive des engrais minéraux sur la longueur d'épis et négative sur le diamètre d'épis du mil Sanio en Moyenne et en Haute Casamance.

Les productions d'épis et de paille sont fortement affectées par les traitements appliqués. Ce qui pourrait s'expliquer par une absorption efficace des nutriments incorporés dans le sol par les plantes. Aussi les amendements organiques enrichissent le sol et constituent une source d'azote et d'humus pour les plants du mil Bado et *al.* (1997). Ces résultats sont en phase avec les études de Lopy (2018) qui a montré un effet bénéfique de la fertilisation organo-minérale sur les rendements épis et biomasse paille du mil Sanio en Haute Casamance.

Une augmentation du rendement grains a été notée avec la formule T3 (12N-33P-19K+ matière organique). Ce qui pourrait s'expliquer par l'apport d'azote contenu dans les fertilisants organiques et chimiques. En effet, ces engrais chimiques et organiques contribuent à l'amélioration de la structure et de la texture du sol en augmentant sa capacité de rétention. Ces résultats sont en phase avec ceux de Diouf (2001), qui a montré qu'en condition d'alimentation hydrique optimale, le rendement grains du mil augmente avec la fertilisation azotée. Nos résultats confirment également les travaux de Saba et *al.* (2017) sur le niébé, Somda et *al.* (2017) sur le sorgho, Diallo et *al.* (2010) sur le riz de plateau et Nyami et *al.* (2014) sur le maïs. Ces auteurs ont trouvé des effets positifs de l'amendement organique et de l'engrais minéral sur le rendement en grains. Cela peut être attribué aussi au rôle essentiel de la matière organique dans le recyclage des éléments nutritifs et la régulation de la nutrition des plantes. En effet, une bonne minéralisation de la matière organique permet la disponibilité des macroéléments indispensables au bon développement des plants. Des études sur la courbe de réponse du mil ont montré que des doses croissantes de fumier de 1 à 3 t/ha pourraient apporter des surplus de rendement de 20 à 100 % par rapport à un témoin sans fertilisation (Ganry et Sarr, 1975 ; Badiane, 1987).

Les différentes formules d'engrais minérales ou organiques n'ont pas d'effet significatif sur le calibre des grains. En moyenne, le poids 1000 grains qui est de $8,17 \pm 0,75$ g est inférieur à celui trouvé par Diouf et *al.* (2014) qui varie de 10 à 12g. Cela peut s'expliquer par un mauvais remplissage des grains dû aux maladies (charbon, ergot et mildiou) et à la forte pluviométrie observée pendant la phase de maturation. Ces résultats sont en phase avec les travaux de Rouw et *al.* (2004) qui ont montré que le poids moyen d'un grain dépend de la phase de remplissage des grains. Ces résultats confirment les travaux de Bamba (2020); Ndiaye et Diatta (2020) qui ont montré l'absence d'effet de la fertilisation organo-minérale sur le calibre des grains du mil Sanio et du riz de plateau.

Conclusion et perspectives

Cette étude a permis de mettre en évidence les effets de différents types de fertilisation sur les performances agronomiques du mil Thialack 2 en Basse Casamance.

Les résultats ont montré que la nouvelle formule seule (12N-33P-19K) ou la combinaison nouvelle formule (12N-33P-19K) + engrais organique ont plus affecté les paramètres de croissance et de production du mil Thialack 2. En effet, ces types de fertilisations ont influencé positivement la hauteur des plants, le diamètre au collet, les rendements grains et la biomasse épis. Par contre, ces formules n'ont induit aucune variation significative de la longueur et du diamètre des épis, du tallage comparée aux autres formules.

En guise de perspectives, il serait opportun :

- de reconduire cette expérimentation dans un dispositif multi local (milieu paysan)
- d'étudier les effets de cette nouvelle formule sur les paramètres phytosanitaires du mil en Basse Casamance.
- de tester l'effet d'autres types de fertilisants organiques (lisier, fiente de volaille, déchets ménagers) combinés à l'engrais minéral sur la fertilité des sols et les paramètres agromorphologiques du mil.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adam T., 2003.** Cours d'Agriculture Spéciale Agro3. Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey, 8-10 p.
- Anonyme., 2004.** Evaluation de l'impact de techniques d'intensification sur la production de mil à l'échelle du territoire du Niger, 186 p.
- Anonyme., 1993.** Descripteurs du mil pénicillaires [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br]. Conseil international des ressources phylogénétiques, Rome, Italie; Institut International de Recherches sur les Culture des Zones Tropicales Semi-arides, Patancheru, Inde ; 49 p.
- Ati HM, Aba DA, Ishiyaku MF, Katung MD., 2015.** Field Evaluation of Some Pearl Millet Genotypes for Downy Mildew (*Sclerospora graminicola*) Resistance and Yield. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, 8(6): 01-06. DOI: 10.9790/2380-08620106.
- Afiniki BZ., 2005.** Early sowing and métalaxyl seed treatment reduced incidence of pearl millet downy mildew [*Sclerospora graminicola* (sacc.)] in Samaru, Nigeria. *Journal of Plant Protection Research*, 45(3): 163-169. [http://www.plantprotection.pl/PDF/45\(3\)/JPPR](http://www.plantprotection.pl/PDF/45(3)/JPPR).
- Ahmadi N, Chantereau J, Hekimian Lethève C, Marchand JL., Ouendeba B., 2002.** Le mil. In Mémento de l'agronome: Les céréales. CIRAD-GRET (ed). Ministère des Affaires étrangères ; 17-23 p.
- Aparna V., 2003.** Phylogenetic analysis of *Sclerospora graminicola* using internal transcribed spacer region-2. Master thesis, Texas A&M University, Texas, 51 p.
- Akanza K.P., Yayo K. A., 2011.** Fertilisation organo-minérale du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et diagnostic des carences du sol. *Journal of Applied Biosciences* 46: 3163–3172, 10 pages.
- Akanza K. P., Sanogo S., N'Da H. A., 2016.** Influence combinée des fumures organique et minérale sur la nutrition et le rendement du maïs : Impact sur le diagnostic des carences du sol. *Tropicultura*. 34 (2) 208- 220.
- Ba MF, Samba SAN, Bassene E., 2014.** Influence des bois rameaux fragmentés (BRF) de *Guiera senegalensis* (J.F.) Gmel et de *Piliostigma reticulatum* (Dc) Hochst sur la productivité de mil, *Pennisetum glaucum* (L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8(3): 1039-1048. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.18>
- Badiane A.N., 1987.** Courbe de réponse à des doses croissantes de fumier (Thilmakha) et Essais Travail du sol (Sole III Nord, Bambey). ISRA-CNRA de Bambey, 63 p.
- Bamba B., 2020.** Analyse des pratiques culturales et étude des techniques de semis et de fertilisation du mil Sanio [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br] au Sénégal Oriental et en

- Casamance (Sénégal). Thèse de doctorat. Université Assane Seck de Ziguinchor. Ecole Doctorale Sciences, Technologies et Ingénierie ,69-92 p.
- Bezançon G, Renno JF, Anand Kumar K., 1997.** Le mil. In L'amélioration des Plantes Tropicales, André Charrier MJ, Hamon S, Nicolas D (eds). CIRAD et ORSTOM; 457-482 p.
- Bouzou IM., 2009.** Evaluation de l'effet du compost enrichi avec des urines hygiénisées sur la culture du mil. Mémoire, Université de Niamey, Niamey, 52 p.
- Butler EJ., 1907.** Some diseases of cereals caused by *Sclerospora graminicola*. Calcutta, 2: 1-24 p.
- Bilquez A.F., et Clément J., 1969.** Etude du mode d'hérédité de la précocité chez le mil pénicilliaire (*Pennisetum typhoides* stapf et hubb.). Déterminisme génétique des variations de précocité des mils du groupe souna ,6 p.
- Carson AG., 1988.** Contrôle des mauvaises herbes dans la production du mil dans le Sahel. Sahel PV INFO N°2. 12-13.
- Cisse 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. *EDP Sciences*, 1988, 8 (5), pp.411-417. , 08 p.
- Charnay F., 2005.** Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse pour obtenir le grade de Docteur. Université de Limoges. Ecole Doctorale Science - Technique - Santé. Faculté des Sciences et Techniques. 277 p.
- Clotaultj.,Thuillet A.C ,Buiron M.,De Mita S.,Couder M.,Hausmann B.I.G.,Maria C. ,Vigouroux Y.,2012.** Evolutionary history of millet (*Pennisetum glaucum* L .R.BR) and selection on flowering genes since its domestication, 4 p.
- David RH., 2000.** Chemical ecology and mating behaviour of the millet pests *Coniesta ignefusalis* and *Heliocheilus albipunctella*. Final technical report. Natural Resources Institute, Chatham Maritime, Kent ME4 4TB. 1 April 1996- 31 March 2000.32 p.
- Drame Yayé A, Youm O, Ayertey JN. , 2003.** Assessment of grain yield losses in pearl millet due to the millet stem borer, *Coniesta ignefusalis* (Hampson). *Insect Sci. Applic.*, 23(3): 259–265. <http://digitalcommons.unl.edu/entomologyfacpub/328> d'information, 19 p.
- Dutordoier D.C., 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 Louvain. 214 p.

- 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.
- Diouf M., 1990.** Analyse de l'élaboration du rendement du mil (*Pennisetum tryphoides* Stapf et Hubb) mise au point d'une méthode de diagnostic en parcelle paysanne. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique. Paris-Grignon, 248 p.
- 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, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), 75 p.
- Diouf N., Ndiaye O., Mar A., et Diallo M., 2014.** Le mil. Exposé, 14 p.
- Eldin O., 1990.** Croissance et développement du mil (*Pennisetum typhoides*) sous deux conditions de fumure minérale. Rapport de stage, université de Niamey Niger, 53 p.
- FAO., 2020.** FAOSTAT (2003). <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/F/> Consulté en Février 2023.
- Gahukar RT., 1990.** Population ecology of *Acigona ignefusalis* Hampson (*Lepidoptera: Pyralidae*) in Senegal. *Environmental Entomology*, 19(3): 13- 19. DOI: 10.1093/ee/19.3.558
- Gueye M., 2016.** Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf ; Poaceae) au Sénégal Oriental et en Casamance (Sénégal). Thèse doctorant, faculté des sciences et techniques, université cheikh Anta Diop de Dakar, 137 p.
- Gaikobi D., 1995.** Etude de la dynamique des populations et de la distribution spatiale au champ de *Coniesta ignefusalis*, chenille foreuse des tiges et de *Heliocheilus albipunctella*, chenille mineuse des épis. Mémoire, Ecole Nationale des Cadres Ruraux de Bambey (ENCR), Bambey, 45 p.
- Gahukar RT., 1990.** Population ecology of *Acigona ignefusalis* Hampson (*Lepidoptera: Pyralidae*) in Senegal. *Environmental Entomology*, 19(3): 13- 19. DOI: 10.1093/ee/19.3.558
- Hamadou BH., 2015.** Evaluation de trois méthodes de lutte contre le mildiou du mil (*Sclerospora graminicola*): variété, densité et traitement. Mémoire, Université Dan Dicko Dankoulodo De Maradi (UDDM), Maradi, 69 p.
- Hamadou M, Idrissa S, Mahamadou C, Oumarou S, Valentin K., 2017.** Potentialités fourragères du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) : Revue de littérature. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 34(2): 5424-5447. <http://www.m.elewa.org/JAPS>

- Illiassou Y., 2009.** Evaluation de l'effet de l'application périodique de l'urine hygiénisées sur la culture de mil (*Pennisetum glaucum*). Mémoire, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey ; 39 p.
- Jogaiah S, Ananda KS, Shekar SH., 2008.** Characterization of downy mildew isolates of *Sclerospora graminicola* by using differential cultivars and molecular markers. *Journal of Cell and Molecular Biology*, 7: 41-55. <http://jcmb.halic.edu.tr>
- Krall S, Youm O, Kogo SA., 1995.** Panicle insect pest damage and yield loss in pearl millet. In *Panicle insect pests of sorghum and pearl millet: proceedings of an International Consultative Workshop*, Nwanze KF, Youm O (ed). ICRISAT Center Patancheru: Patancheru; 135-145.
- Kouakou PK, Muller B. Guissé A. Yao RN, Fofana A, 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. *J. Appl. Biosci.*, 67: 5289-5301. DOI : www.m.elewa.org/JABS/2013/67/Abstract12-kouakou.html.
- Lagoke STO., 1988.** *Striga* in Nigeria. In *Proceedings of All, African Government: Consultation on Striga control*. FAO/OAD (éds): Maroua, Cameroun; 68-75 p.
- Lopy.B., 2018.** Effets de la densité de semis et de la fertilisation sur la productivité du mil Sanio (*Pennisetum glaucum* L.) en Haute Casamance (Kolda). Mémoire de Master .Université Assane Seck de Ziguinchor .Spécialité : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers.24-30 p.
- Loumerem M., 2004.** Etude de la variabilité des populations de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Cultivé dans les régions arides tunisiennes et sélection de variétés plus performantes. Thèse, Université de Gen, Gen, 266 p.
- Launois M., 1978.** Modélisation écologique et simulation opérationnelle en Acridologie : application à *Oedaleus senegalensis* (Krauss). Ministère de la Coopération, GERDAT, Paris, 214 p.
- Manga W. et Diouf F. K., 2019.** Evaluation participative de nouvelles variétés de riz (ISRIZ) en riziculture de bas-fond au CRA de Djibelor (Basse Casamance), mémoire de Licence, département d'Agroforesterie, Université Assane SECK de Ziguinchor 38 p.
- Maiti RK, Bidinger FR., 1981.** Growth and development of the pearl millet plant. *Research Bulletin N°6*, ICRISAT Patancheru, Patancheru, 19 p.
- Manning K, Pelling R, Higham T, Schwenniger J-L, Fuller DQ., 2010.** 4500-Year old domesticated pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) from the Tilemsi Valley, Mali: New insights into an alternative cereal domestication pathway. *Journal of Archaeological Science*, 38(2): 312-322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.09.007>

- Mbaye DF., 1993.** Contraintes phytosanitaires du mil dans le sahel: Etat des connaissances et perspectives. In *Le Mil en Afrique : Diversité Génétique et Agro-physiologie: Potentialités et Contraintes pour l'Amélioration Génétique et l'Agriculture*, Serge H (éds). ORSTOM : Paris ; 173-186 p.
- Muehlig-Versen B., Buerkert A., Bationo A. et Marschner H., 2003.** Crop residue and phosphorus management in millet based cropping systems on sandy soils of the Sahel. In *Soil Fertility Management in West African Land Use Systems* (éd. Renard G., Neef A., Becker K., von Oppen M.). Margraf Verlag, Weikersheim, Ch. 3, p. 31-42.
- Moumouni KH., 2014.** Construction d'une carte génétique pour le mil, *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br, par une approche de génotypage par séquençage (GBS). Mémoire, Université de Laval de Québec, Québec, 111 p.
- Nomaou DL, Yadji G, Abdourahamane TD, Rabah L, Babou AB, Patrice D, Adamou DT, Nassirou AM, Ambouta JMK., 2015.** Effet des touffes de *Hyphaene thebaica* (Mart) sur la production du mil dans la région de Maradi (Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9(5): 2477-2487. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.19>
- Ndiaye A, Diatta A. M., 2020.** Effets de la fertilisation organo-minérale sur la croissance et le rendement du riz de plateau (*Oryza sativa* L.) En basse casamance (sud-ouest sénégal).Mémoire de Licence. Université Assane Seck de Ziguinchor. Département d'Agroforesterie.15-22 p.
- Ndiaye A, Ndiaye O, Bamba B, Guèye M, Sawané, O., 2019.** Effets de la fertilisation organo-minérale sur la croissance et le rendement du « mil sanio » (*Pennisetum glaucum* L. R. Br) en Haute Casamance (Sénégal). European Scientific Journal November 2019 edition Vol.15, No.33 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. Doi:10.19044/esj.2019.v15n33p155
- Ndoye M., 1982.** Programme de recherches entomologiques du mil de l'ISRA (1ère réunion des Comités Scientifiques Nationaux du Projet Régional d'Amélioration des mils, sorgho, niébé, maïs) du CILSS à Tarna, Niger, ISRA/CNRA de Bambey, 6 p.
- Obeng-Ofori D, Torto B, Hassanali A., 1993.** Evidence for mediation of two releaser pheromones in the aggregation behavior of the gregarious desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forsk.) (*Orthoptera: Acrididae*). *J. Chem. Ecol*, 19(8): 1665-1676. DOI: 10.1007/BF00982299
- Ndione O., 2020.** Effet de différentes doses de compost et de la fertilisation minérale azotée sur la croissance et le rendement du maïs en station au CRA/ISRA de Djibélor/Ziguinchor (Sénégal). Mémoire de Master. Université Assane Seck de Ziguinchor. Département d'Agroforesterie. Spécialité : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers, 20-35 p.

- 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, 20-35 p.
- Rao VP, Thakur RP, Rai KN, Sharma YK., 2005.** Downy Mildew Incidence on Pearl Millet Cultivars and Pathogenic Variability among Isolates of *Sclerospora graminicola* in Rajasthan. *Journal of SAT Agricultural Research*, 1(1): 1-4. <http://ejournal.icrisat.org>
- ROCAFREMI., 2002.** Sélection et Mise à Disposition des Paysans de Variétés et de Semences Appropriées. Des Résultats du Projet P1 : 1991-1996.
- Rouw A., Rajot J.L., Schnelzer G., 2004.** Effets de l'apport de bouses de zébus sur les composantes du rendement du mil, sur les mauvaises herbes et sur l'encroûtement superficiel du sol au Niger, 24 p
- 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.
- Sagna, P., 2005.** Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique occidentale. (Thèse de doctorat d'état), Université Cheikh Anta Diop 270 p.
- Savadogo I., 2011.** Evaluation de l'efficacité agronomique du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso. Mémoire d'Ingénieur d'Université Polytechnique de BOBO-DIOULASSO. Institut du Développement Rural. 42 p.
- Sudhakar R, Reddy PN, Bharathi V., 2012.** Downy Mildew Disease of Pearl Millet (Bajra): Infection, Damage and Management Strategies. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 3(1): 103-108. http://www.pphouse.org/20_IJBSM
- Sharma YK, Yadav SK, Khairwal IS., 2007.** Evaluation of pearl millet germplasm lines against downy mildew incited by *Sclerospora graminicola* in western Rajasthan. *SAT eJournal*, 3(1): 1-2. <http://ejournal.icrisat.org>
- Somda B. B., Ouattara B., Serme I., Pouya M. B., Lompo F., Taonda S. J. B., et Sedogo P. M., 2017.** Détermination des doses optimales de fumures organo-minérales en microdose dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. In : *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2): 670-683, 15 p.
- Sy O., Fofana A., Cissé N., Noba K., Diouf D., Ndoye I., Sané D., Kane A., Kane N A., Hash T., Haussman B., Elwegan E., 2015.** Étude de la variabilité agro morphologique de la collection nationale de mils locaux du Sénégal. *Journal of Applied Biosciences* 87:8030– 8046. ISSN 1997–5902
- Tanzubil PB, Mensah GWK., 2000.** Incidence and distribution of the stem borer, *Coniesta ignefusalis* (Hampson) (Lepidoptera: Pyralidae), in cereal crops in northern Ghana. *Ghana Jnl agric. Sci.*, 33: 63-70. DOI: 10.4314/gjs.v33i1.1885

- Thakur RP, Rai KN, Khairwal IS, Mahala RS., 2008.** Strategy for downy mildew resistance breeding in pearl millet in India. *Journal of SAT Agricultural Research*, 6: 1-11. <http://ejournal.icrisat.org>
- Thakur RP, King SB., 1988.** Smut disease of pearl millet. Information Bulletin N° 25. Patancheru, Andhra Pradesh 502 324, India: *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*, 20 p.
- Thakur RP, Rao VP, Amruthesh KN, Shetty HS, Datar VV., 2003.** Field surveys of pearl millet downy mildew-Effects of hybrids, fungicide and cropping sequence. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, 33(3): 387–394. <http://www.oar.icrisat.org/JMycolPIPathol>
- Thakur RP, Sharma R, Rao VP., 2011.** Screening Techniques for Pearl Millet Diseases. Information Bulletin N°89. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*, 56 p.
- Upadhyaya HD, Reddy KN, Sastry DVSSR., 2008.** Directives pour la régénération: mil à chandelles. In: Crop specific regeneration guidelines [CD-ROM]: CGIAR System-wide Genetic Resource Programme (SGRP), Dulloo ME, Thormann I, Jorge MA, Hanson J (ed). Italy, Rome, 1-10.
- Weil et Duval J., 2009.** Module 7, Amendement et fertilisation .Chapitre 12, «Les amendements organiques fumier et composte », manuscrit du Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée . 2-3 p
- Wilson JP, Hess DE, Hanna WW, Kumar KA, Gupta SC., 2004.** *Pennisetum glaucum* subsp. monodii accessions with *Striga* resistance in West Africa. *Crop Prot*, 23: 865-870. <http://www.sciencedirect.com>
- Wilson JP, Hess DE, Hanna WW., 2000.** Resistance to *Striga hermonthica* in wild accessions of the primary gene pool of *Pennisetum glaucum*. *Phytopathology*, 90(10):1169-1172. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.10.1169>
- Wilson JP, Sanogo MD, Nutsugah SK, Angarawai I, Fofana A, Traore H, Ahmadou I, Muuka FP., 2008.** Evaluation of pearl millet for yield and downy mildew resistance across seven countries in sub-Saharan Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 3(5): 371-378. <http://digitalcommons.unl.edu/intormilpubs/33>.
- Youm O, Owusu EO., 1998.** Assessment of yield loss due to the millet head miner *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera: Noctuidae) using a damage rating scale and regression analysis in Niger. *Int. J. Pest Manage*, 44(2): 119-121. DOI: 10.1080/096708798228428
- Zakari AH, Mahamadou B, Adam T., 2016.** Les systèmes de productions agricoles du Niger face au changement climatique : défis et perspectives. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(3): 1262-1272. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.28>.

Zeinabou H., Mahamane S., Bismarck N. H., Bado B. V., Lompo F. et André B., 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. In : *International Journal of Biological and Chimical Sciences*, 8(4): 1620-1632, 13 p.