
Université Assane Seck de Ziguinchor



UFR Sciences et Technologies

Département Agroforesterie

Mémoire de Master

Spécialité : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestier et Agroforestiers

Sujet :

Effets de la fertilisation organo- minérale sur la croissance et le rendement du mil sanio (*Pennisetum glaucum* L. R. Br) en Haute Casamance (Sénégal)

Présenté et soutenu par

M. Abdou NDIAYE

Sous la direction de **Dr Ousmane Ndiaye**, Maître-Assistant, UASZ
Co-encadreur: **M. Baboucar BAMBA**, Assistant de Recherche, CRA/ISRA

Soutenu publiquement le 17 Décembre 2018 devant le jury compose de:

Nom Prénom	Grade	Qualité	Etablissement
Dr Ibrahima MBAYE	Maître de Conférences	Président de jury	UASZ
Dr Ousmane NDIAYE	Maître Assistant	Rapporteur	UASZ
Dr Djibril SARR	Maître Assistant	Examineur	UASZ
Dr Mohamed CHARAHABIL	Maître Assistant	Examineur	UASZ
M. Baboucar BAMBA	Assistant de Recherche	Rapporteur	CRA /ISRA

Année universitaire : 2017 - 2018

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
RESUME	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUCTION	1
Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	2
1.1. Généralité sur le mil	2
1.1.1. Origine et répartition	2
1.1.2. Position taxonomique	2
1.1.3. Caractères botaniques	2
1.1.4.1. Phase végétative	3
1.1.4.2. Phase de reproduction.....	3
1.1.5. Importance et utilisations du mil	5
1.1.6. Exigences édaphiques et climatiques	5
1.1.6.1. Le sol	5
1.1.6.2. Eau.....	5
1.1.6.3. Température.....	6
1.1.6.4. Lumière.....	6
1.1.6.5. Humidité	6
1.1.7. Variétés et techniques culturales du mil	6
1.1.7.1. Variétés cultivées.....	6
1.1.7.2. Préparation du sol	7
1.1.7.3. Semis	7
1.1.7.4. Entretien	7
1.1.7.5. Protection phytosanitaire	8
1.1.8. Principaux facteurs nuisibles du mil.....	8
1.1.8.1. Maladies	8
1.1.8.2. Insectes et autres ravageurs du mil	9
1.1.8.3. Adventices	9

1.1.9. Fertilité et fertilisation	10
1.1.10. Les principes de la fertilisation.....	11
1.1.10.1. Loi des restitutions	11
1.1.10.2. Loi du minimum et d'interdépendance.....	11
1.1.10.3. Loi des accroissements moins que proportionnels	12
1.1.11. La fertilisation et les amendements sur le mil	12
1.1.11.1. La fertilisation minérale	12
1.1.11.2. Amendements organiques.....	13
1.1.11.3. Fertilisation organo-minérale	13
Chapitre II : MATERIEL ET METHODES	15
2.1. Site d'étude.....	15
2.2. Matériel végétal.....	16
2.3. Facteur étudié et dispositif expérimental.....	16
2.4. Conduite de la culture.....	18
2.5. Paramètres mesurés	18
2.6. Analyse statistique.....	19
Chapitre III : RESULTATS	20
3.1. Densité, tallage et pourcentage de talles fertiles des plants de mil.....	20
3.2. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur l'incidence du mildiou.....	22
3.3. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur la taille des plants	22
3.4. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur la croissance radiale et l'élongation de la tige.	24
3.5. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur les caractéristiques de l'épi	24
3.6. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur le nombre d'épi, le poids d'épi et le poids des grains	25
3.7. Effet de la fertilisation organo-minérale sur la biomasse aérienne sèche (tiges+feuilles)..	27
3.8. Effet de la fertilisation organo-minérale sur le poids des milles grains	27
Chapitre IV : DISCUSSION GENERALE	29
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	33
ANNEXES.....	39

DEDICACES

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

- ✓ A mon père et ma mère
- ✓ A mes oncles et tantes
- ✓ A mes frères et sœurs, cousins et cousines, neveux et nièces
- ✓ A mes tuteurs depuis Bignona, Ziguinchor, Kolda et Vélingara
- ✓ A tous mes amis d'enfance, de classe ou d'ailleurs

- ✓ Enfin, à tous ceux qui me connaissent.

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à DIEU, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux, et Lui remercie encore de m'avoir donné la sagesse, la force, courage et l'intelligence de conduire à bien ce modeste travail.

Ce travail a été effectué au PAPEM de Vélingara, dans le cadre du projet WAAP/Mil Sanio, en partenariat avec CRZ/ ISRA/Kolda et l'Université Assane Seck de Ziguinchor.

Je saisis cette occasion pour exprimer ma reconnaissance et ma profonde gratitude :

Au coordinateur du projet en particulier Dr Moustapha Guèye et à M. Baboucar Bamba pour m'avoir permis de réaliser les mémoires de licence et de Master dans ce projet.

Au Chef de département d'Agroforesterie Dr. Mohamed Mahamoud Charahabil, Pr Daouda Ngom, Dr Ngor Ndour, Dr Siré Diédhiou, Dr Ismaïla Coly, Dr Antoine Sambou, et tous les vacataires du département qui ont participé à ma formation.

A Dr Ousmane Ndiaye pour l'encadrement, et les conseils.

A tous les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail malgré leurs lourdes occupations.

A Moussa Kandé le technicien ISRA au PAPEM de Vélingara et sa femme Diabou Baldé pour l'appui,

A M. Kalilou Manga et son ami Oustaz Badji pour l'hébergement à Vélingara.

A tous les étudiants de l'UASZ, particulièrement la 6^e promotion d'Agroforesterie avec qui nous avons passé les cycles de licence et Master.

A tous nos amis du CRZ/ISRA/ Kolda pour les agréables moments passés pendant le séjour.

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ADN:	Acide Désoxyribonucléique
AGDEFA :	Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agro forestiers
ANSD :	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
CNRA:	Centre National de Recherches Agronomiques
DAPSA :	Direction de l'Analyse de la Prévision et des Statistiques Agricoles
DAS:	Days After Sowing
DR:	Dose Recommandée
FAO:	Food and Agriculture Organization
FIDA :	Fonds International de Développement Agricole
ICRISAT:	International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
INRAN:	Institut National de Recherche Agronomique du Niger
IRD :	Institut de Recherche pour Développement
ISRA:	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
JAS :	Jours Après Semis
PAPEM :	Point d'Appui de Pré-vulgarisation et d'Expérimentation Multilocale
RBS :	Rendement en Biomasse Sèche
UNIFA :	Union des Industries de la Fertilisation
UASZ :	Université Assane Seck de Ziguinchor

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : pieds et épis de mil sanio	3
Figure 2: Diagramme d'identification des principales phases de développement du mil sanio	4
Figure 3 : les symptômes du mildiou	8
Figure 4 : symptômes de l'ergot (a) et du charbon (b)	9
Figure 5:pieds du <i>Striga hermonthica</i> et champs de mil infesté par <i>S.hermonthica</i>	10
Figure 6: Localisation de zone d'etude	15
Figure 7:Répartitions mensuelle des pluies en 2017 et de la normale (1981-2010) à la station Vélingara.	16

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Informations sur les modalités des facteurs étudiés.....</i>	17
Tableau 2: Caractéristiques de la poudrette d'étable.....	17
Tableau 3 : Effet de l'amendement et de la fertilisation sur la densité, le tallage et le pourcentage de talles fertiles des plantes de mil sanio.....	21
<i>Tableau 4: Effet de l'amendement et de la fertilisation sur le mildiou chez le mil sanio.....</i>	22
Tableau 5: Effet de l'amendement et de l'engrais minéral sur la taille des plantes de mi sanio à 60, à 75, à 90 et à 120 JAS.	23
Tableau 6 : Influence de la matière organique et de l'engrais minéral sur le diamètre de la tige et la distance des entre noeuds.	24
Tableau 7 : Effet de l'amendement et de l'engrais minéral sur le diamètre et la longueur de l'épi.	25
Tableau 8 : Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur les composantes du rendement.	26
Tableau 9 : Effet de l'amendement et de l'engrais minéral sur la biomasse aérienne (tiges) de mil sanio.....	27
Tableau 10 : Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur le poids 1000 grains.....	28

RESUME

Le mil sanio est généralement cultivé dans les régions Sud (Casamance) et Sud-est (Sénégal Oriental) du Sénégal. Les rendements en milieu réel inférieurs à 700 kg/ha sont limités par des contraintes abiotiques, biotiques et techniques. L'objectif de cette étude est d'identifier le meilleur plan de fumure organo-minéral pour une bonne croissance et un bon rendement en grains du mil sanio. Une expérimentation a été conduite pendant l'hivernage 2017 au PAPEM de Vélingara situé en Haute Casamance. Le dispositif expérimental était en split-plot avec 03 répétitions et comprenait la fertilisation minérale comme facteur principal avec quatre niveaux (témoin non fertilisé ; 75 kg/ha NPK + 50 kg/ha Urée (50% DR), 150 kg/ha NPK + 100 kg/ha Urée (100% DR), 225 kg/ha NPK + 150 kg/ha Urée (150% DR)) et l'amendement organique comme facteur secondaire avec trois modalités (témoin non amendé, 5 t/ha, 10 t/ha). Les résultats ont montré que l'interaction amendement organique et fertilisation minérale n'est pas significative sur tous les paramètres étudiés. L'apport de 10 tonnes/ha de poudrette d'étable a donné les tailles des plantes les plus importantes à 90 JAS (267 ± 17 cm) et à 120 JAS (291 ± 21 cm). A 60 JAS, la hauteur des plantes la plus élevée (92 ± 18 cm) est obtenue avec l'apport de 100% de la dose recommandée d'engrais minéral. Des gains respectifs de 26%, 32% et 56% du rendement de la biomasse aérienne sèche sont obtenus avec l'augmentation des doses d'engrais minéral (50% DR, 100% DR et 150%DR). Les rendements en grains les plus élevés sont obtenus avec les apports 50% DR et 150% DR d'engrais minéral avec des taux d'accroissement respectifs de 37,1% et 62,3% par rapport au témoin non fertilisé. Dans le cadre de la gestion durable de la fertilité des sols et de l'amélioration de la productivité du mil en Haute Casamance, l'association de 05 t/ha de poudrette d'étable et de 50% de la dose recommandée d'engrais minéral serait une pratique à vulgariser.

Mots clés: Amendement, engrais minéral, croissance, rendement, Mille sanio (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br).

ABSTRACT

The Sanio millet is usually grown in the southern (Casamance) and southeastern regions of Senegal. Yield production estimated to be less than 700 kg/ha is limited by abiotic, biotic and cultural practices constraints. This study aimed to identify the best organo-mineral fertilization plan for good growth and better grain yield production. An experiment was conducted during the 2017 rainy season at the PAPEM of Vélingara located in the Casamance higher land. The experiment was laid out in a split-plot design with three repetitions. The mineral fertilization was considered as the main factor with four levels (control, 75 kg/ha NPK + 50 kg/ha Urea (50% DR), 150 kg/ha NPK + 100 kg/ha Urea (100% DR), 225 kg/ha NPK + 150 kg/ha Urea (150% DR)) and the organic amendment (cowshed powder) as a secondary factor with three modalities (control, 5 t/ha, 10 t/ha). The results showed no significant interaction between the organic amendment and the mineral fertilization for all the parameters evaluated. The application of 10 t/ha of cowshed powder gave the largest plant height at 90 DAS (267 ± 17 cm) and 120 DAS (291 ± 21 cm). At 60 DAS, the highest plant height (92 ± 18 cm) was obtained with 100% DR of mineral fertilizer. Increase respective of 26%, 32% and 56% of biomass production were obtained with the increase of the mineral fertilizer doses (50% DR, 100% DR and 150% DR). The highest grain yield was obtained with the 50% DR and 150% DR of mineral fertilizer with respective growth rates of 37.1% and 62.3% compared to the control. In the context of the sustainable management of soil fertility and the improvement of pearl millet productivity in the Casamance higher land, the combination of 05 t/ha of cowshed powder and 50% of the recommended fertilizer mineral dose could be advised to farmers.

Key words: Amendment; mineral fertilizer; growth; yield; Mille sanio (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br).

INTRODUCTION

La dégradation des terres d'Afrique subsaharienne demeure un souci important en raison de ses impacts défavorables sur la production agricole, la sécurité alimentaire et l'environnement (FAO, 2003). La plupart des sols d'Afrique subsaharienne ont une faible fertilité intrinsèque associée à une perte accrue en éléments nutritifs chiffrée en moyenne à 660 kg d'Azote/ha ; 75 kg de Phosphore/ha ; et 450 kg de Potassium/ha durant les 30 dernières années (Sanchez et *al.*, 1997).

Le mil, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br fait partie des céréales les plus cultivées dans les zones semi-arides d'Afrique et d'Inde. Sa culture occupe 11,5 millions hectares en Afrique et 14,7 millions hectares en Inde (FAO, 1997 cité par Siene et *al.*, 2010).

Au Sénégal, Il représente la céréale la plus importante du point de vue de la production (FAO, 2016 ; ANSD, 2015). En 2015, la production du mil était de 749 874 tonnes et représentait environ 31% de la production céréalière nationale (DAPSA 2016). Malgré l'importance de cette culture, les rendements restent très faibles en milieu paysan, inférieurs à 750 kg/ha (Ndiaye et Sawane, 2015 ; DAPSA, 2016). L'inadaptation des pratiques culturales et le faible niveau de fertilité des sols en sont les principales causes. Au Sénégal, les sols cultivés sont pauvres, contiennent peu de matières organiques, de phosphore, d'argile et ont une faible capacité d'échange cationique (Diouf, 1990). La culture permanente pratiquée sans restauration de la fertilité du sol provoque une diminution rapide de la teneur en éléments nutritifs et en matières organiques. Pour améliorer cette situation, « la croissance agricole doit passer par une augmentation de la productivité des sols plutôt que par l'extension des superficies cultivées au détriment des forêts et des terres marginales » (Dutordoir, 2006). Pourtant, l'intérêt d'associer la fumure organique aux engrais minéraux, en vue d'augmenter le niveau de fertilité des sols et le rendement des cultures a été largement évoqué par Akanza et Yao, 2011 ; akanza et *al.*, 2016; SOMDA et *al.*; 2017 et Zenabou et *al.*, 2014. Une des voies prometteuses consiste à apporter aux sols différents types de matières organiques et des engrais minéraux de sorte à accroître la disponibilité des éléments nutritifs du sol (Palm et *al.*, 1997).

C'est dans cette optique que cette étude a pour objectif général de contribuer à la gestion de la fertilité des sols et à l'amélioration durable de la productivité du mil sanio en Haute Casamance. Elle vise spécifiquement à :

- évaluer l'effet de la fertilisation organo-minérale sur le rendement grains du mil sanio,
- identifier un plan de fumure organo-minérale optimal pour une croissance et un rendement en grains du mil sanio.

Chapitre I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralité sur le mil

1.1.1. Origine et répartition

Selon IRD (2015), les dernières recherches à partir de données ADN suggèrent que sa domestication a eu lieu entre le Niger et le Mali actuel il y a 8000 ans. Le mil domestiqué en Afrique de l'Ouest s'est propagé rapidement pour atteindre l'Inde où différents cultivars ont été mis au point faisant de cette région le deuxième centre de diversification (Manning, 2010). L'Inde est le premier producteur de mil, loin devant le Nigeria, le Niger et le Mali (IRD, 2015).

1.1.2. Position taxonomique

Le mil est une monocotylédone, l'ordre des poales, famille des Poaceae, sous-famille des Panicoideae qui appartient au genre *Pennisetum* Pers. (Loumerem, 2004). Le genre *Pennisetum* Pers. est constitué de 140 espèces et sous-espèces qui sont réparties dans les régions tropicales et subtropicales (Moussa et al.; 2017). Il est divisé en cinq sections. Le mil est l'unique espèce diploïde avec $x = 7$ de la section *Penicellaria* (Tostain et Marchais 1993), qui se caractérise par la présence d'une mince touffe de poils au sommet des anthères.

1.1.3. Caractères botaniques

Le mil se présente sous forme de touffes dressées. La taille varie de 1 à 6 mètres de haut (Loumerem, 2004). Le système racinaire est fasciculé (Touré, 2013). La tige porte des nœuds avec des bourgeons axillaires qui donnent des talles aériennes. A chacune des talles sont associées des racines secondaires. Toutes les talles émises ne parviennent pas à l'épiaison. En effet, seules les talles ayant 7 à 8 feuilles visibles au moment de la fin du tallage sont reproductives (Touré, 2013). Les feuilles du mil sont engainantes, alternes, distiques et présentent un limbe lancéolé pouvant dépasser 80 centimètres. L'inflorescence, appelée chandelle, en position apicale, est une panicule contractée ou faux épi (épillet avec un pédicelle), de forme cylindrique, allongée et aristée avec une longueur variant entre 10 à 100 cm (Diouf, 1990). La fleur est bisexuée et la floraison femelle débute avant la floraison mâle (protogyne). La maturité des grains est achevée quand apparaisse sur le grain une petite tache noire dans la région du hile (Diouf, 1990).



Figure 1 : pieds et épis de mil sanio

1.1.4. Cycle de développement du mil

Selon Lambert (1983), le cycle du mil peut être divisé en trois phases principales : la phase végétative, la phase reproductive et la phase de maturation.

1.1.4.1. Phase végétative

Elle s'étend de la levée à l'initiation florale (Diouf, 1990) et comprend quatre stades.

- Le stade juvénile, qui commence à partir de la germination et prend fin entre l'apparition de la cinquième et de la sixième feuille.
- Le tallage : les talles se développent à l'aisselle des feuilles. Elles prennent naissance à partir des bourgeons embryonnaires du coléoptile et des folioles par la différenciation du méristème de l'apex. Il y a deux sortes de talles : les talles aériennes à l'aisselle des feuilles supérieures et les talles à la base.
- La montaison : elle se caractérise par un allongement inter nodal des tiges et par l'apparition des dernières feuilles. Elle dure du 35^{ème} au 60^{ème} jour après semis (Toure, 2013)
- Epiaison : il commence à l'intérieur de la tige au cours de la montaison. Le nombre définitif de feuilles est atteint après l'apparition de l'épi.

1.1.4.2. Phase de reproduction

Elle s'étend de l'initiation florale à la fructification avec deux étapes :

- La floraison : elle a lieu à partir du 90^e jour et s'étale dans le temps.

- La fructification : elle comprend les phénomènes port-floraux à s'avoir le développement de l'ovaire, la nouaison et la formation des grains.

- 1.1.4.3. Phase de maturation

Elle est caractérisée par l'élaboration de substances de réserve (amidon, protéines) et par la migration de celles-ci vers l'albumen du grain ; parallèlement, l'embryon se forme. Au cours de cette période, le grain passe successivement par le stade 'laiteux', le stade 'pâteux', le stade 'demi-dur', le stade 'dur' et enfin le stade de 'sur maturité' marquant la fin de la dessiccation du grain (Loumerem, 2004).

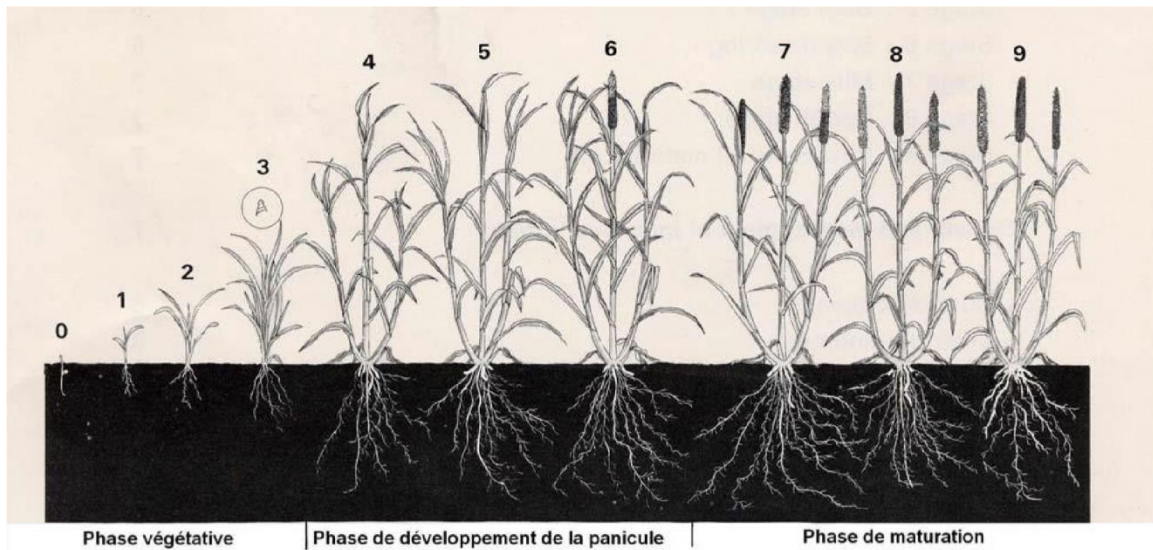


Figure 2: Diagramme d'identification des principales phases de développement du mil sanio

0 = Levé	5 = Gonflement
1 = 3 feuilles	6 = 50% floraison
2 = 5 feuilles	7 = Grain laiteux
3 = Initiation florale	8 = Grain pâteux
4 = Apparition de la dernière feuille	9 = Maturité physiologique

Source : Loumerem (2004)

1.1.5. Importance et utilisations du mil

Le mil représente une culture alimentaire très importante dans les pays de la zone semi-arides de l’Afrique et de l’Inde (Ahmadi et *al.*; 2006). Cette céréale contient des protéines (6,8-20,9%) et des lipides (4,1-6,4%) (Diédhiou, 2008). En Afrique les grains de mil sont transformés en farine et consommés sous forme de pâte, de bouillie, de couscous, de galettes, de boissons alcoolisées (vin à base de mil ou bière de mil). La paille de mil est utilisée pour l’alimentation du bétail et la fabrication des cases. Le mil a également des valeurs médicinales. Selon Hanane (2013) : « le mil attire beaucoup d’attention grâce à ses effets thérapeutiques ». Avec sa richesse en calories (784 calories/100g) le mil est spécialement recommandé aux enfants, aux convalescents, aux personnes âgées et aux femmes enceintes (Loumerem (2004) et aussi aux personnes souffrant d’anémie pour son fer (Amadou et *al.*, 2013). La pellagre (carence en vitamine B3) est rare dans les zones à forte consommation de mil grâce à la teneur importante en niacine (Léder, 2004). Il est utile dans le traitement de l’obésité et des problèmes de constipation grâce à sa richesse en fibres (Ramulu et Rao, 2003). Le mil contient un niveau élevé de composés phénoliques antioxydants surtout des flavonoïdes, pouvant inhiber le développement des tumeurs par conséquent, ceux-ci peuvent avoir des propriétés anticancéreuses (Moussa et *al.*; 2017).

1.1.6. Exigences édaphiques et climatiques

1.1.6.1. Le sol

Le mil est généralement cultivé sur des sols ferrugineux tropicaux dont les sols « dior » (Diouf, 2001) caractérisés par une texture sableuse (85 à 95%), pauvre en argile avec un faible taux de matière organique (Diouf, 1990). Environ 80% des sols cultivés en mil au Sénégal sont des sols ferrugineux (Diouf, 2001). A côté des sols « dior » le mil est aussi cultivé sur les sols « deck » qui ont des teneurs en argile un peu plus élevées, de 5 à 12% (Diouf, 1990). Selon Horticultural Company (2002), le mil est cultivé dans un sol bien drainé, exempt de maladies, avec un pH de 5,5 à 6,5.

1.1.6.2. Eau

Le mil est généralement cultivé dans les zones où ayant une pluviométrie variant entre 200 et 800 mm répartie à la longueur de la saison de culture (Ahmadi et *al.*, 2006). Il tolère la sécheresse mais il est sensible à celle-ci pendant la phase d’installation et à la formation des organes floraux (début montaison-épiaison) (Diouf, 1990). Ses besoins en eau sont proportionnels à la longueur du cycle. Selon Diédhiou (2008), 200 mm de pluie suffisent parfois pour que le mil produise des grains, avec un optimum de 400 mm

répartis sur 70 jours pour le type souna et moins de 600 mm répartis sur 80 jours pour le type sanio.

1.1.6.3. Température

Le mil supporte mieux les températures élevées pour son développement (SG et FIDA, 2001). Il exige pour son développement une somme de température de 2050 à 2550°C (Loumerem 2004). Ses températures de germination sont de 10 à 12°C au minimum, de 37 à 44°C au optimum et de 44 à 55°C au maximum (Loumerem, 2004). Sous une température de 20° C ou moins, la germination sera retardée (Horticultural Company, 2002). Le développement floral et la formation des grains se déroulent normalement à des températures élevés mais à condition que la plante dispose suffisamment d'eau dans le sol.

1.1.6.4. Lumière

Le mil est une plante à jours courts quoiqu'il existe des variétés indifférentes à la longueur du jour (Mohamed et *al.*, 1988). La différence de précocité que l'on observe entre le mil « souna » et le mil « sanio » n'a qu'une valeur relative et dépend étroitement des conditions d'éclairage journalière auxquelles les plantes peuvent être soumises au cours de leur développement (Bilquez et Clément, 1969). En effet, le mil « sanio » apparait plus tardif par rapport au « souna ». Cela peut être lié à la date de semis de cette culture (début juin et mi-juillet). Les plantes se trouvant dans cette période de l'année bénéficient des jours plus longs, ce qui fait que le « sanio » ne peut pas passer du stade végétatif au stade reproductif qu'après un nombre de jours important. Il faut noter que le « souna » est généralement insensible à la durée du jour (Diouf, 2001).

1.1.6.5. Humidité

Il n'est pas nécessaire de maintenir l'air ambiant humide pour la germination si le sol est maintenu humide. Par contre, l'humidité de l'air ambiant doit être maintenu élevé jusqu'à l'apparition des racelles (Horticultural company, 2002).

1.1.7. Variétés et techniques culturales du mil

1.1.7.1. Variétés cultivées

Les populations de mil cultivées au Sénégal se divisent en deux groupes, qui se distinguent par la précocité qu'elles manifestent en période normale de culture pluviale (Diouf, 1990) : Les formes tardives, ou Sanio (cycle de 130 à 150 jours) dont les épis sont aristés et les grains plus gros que ceux des précoces. Elles sont sensibles à une

photopériode de jours courts et ne fleurissent que si la longueur du jour est suffisamment faible (Diouf, 2001). Les formes hâtives (80 à 100 jours du semis à la récolte) ou type Souna dont les grains sont petits et les épis non aristés. Elles préfèrent les jours courts, mais peuvent fleurir en jours longs (Diouf, 1990). Dans le Bassin Arachidier, le mil souna, occupe la surface la plus importante avec 70% des superficies emblavées pour la culture du mil (ANSD, 2015).

1.1.7.2.Préparation du sol

La saison agricole débute par un nettoyage des champs en avril ou en mai selon l'enherbement des terres emblavées. Si les champs cultivés lors de la dernière saison sont relativement faciles à nettoyer (un simple grattage superficiel du sol), il en va autrement pour ceux qui ont été mis en jachère durant une période plus ou moins longue (Diop, 2011). Dans tous les cas, le grattage superficiel ou le labour léger permet un meilleur développement de la plante et un meilleur rendement (Ahmadi et al., 2006). Selon Sène (1988), le travail pratiqué sur sol sableux avec la houe sine peut entraîner une augmentation de 20% du rendement.

1.1.7.3.Semis

Le mil peut être semé en humide ou en sec (Diouf, 1990 ; Ahmadi et *al.*, 2006 ;). Selon Ndiaye et al. (2005), le semis à sec avant les pluies donne un meilleur rendement. Le mil est habituellement semé en poquets avec 8 à 10 grains par poquet enfouis superficiellement entre 1 et 2 cm (Diédhiou, 2008). Le semis est semi-mécanisé avec un semoir "super-éco" attelé, équipé d'un disque à trois cuillères plus adaptés aux régions moins arrosées du nord du Bassin Arachidier, ou d'un disque à quatre ou cinq cuillères pour les régions plus arrosées du sud (Diouf, 1990). Les poquets sont distants de 80 à 100 cm sur la ligne. L'écartement interligne est compris entre 80 et 90 cm, obtenu grâce au traceur muni d'un semoir.

1.1.7.4.Entretien

Les travaux d'entretien sont essentiellement constitués d'opération de sarclo-binage et de démariage. Le démariage est pratiqué 7 à 10 jours après la levée, et consiste à réduire de 3 à 7 plantes par poquet (Diouf, 1990). Il est précédé d'un premier sarclage qui assure la destruction des adventices et l'ameublissement du sol en surface. Deux sarclo-binages sont essentiels pour lutter contre les mauvaises herbes (Ndiaye et *al.*, 2005).

1.1.7.5. Protection phytosanitaire

Une bonne production n'est cependant envisageable qu'avec une protection efficace contre les ennemis. Ainsi les variétés résistantes ou tolérantes et les fongicides systémiques constituent actuellement les moyens de lutte (Mbaye, 1993 ; Ndiaye et al., 2005). Ces auteurs proposent de traiter les semences avec l'Apron-plus ou l'Apron-star, de faire un troisième sarclage au moment du tallage et de traiter les chandelles au fénitrothion en début de floraison.

1.1.8. Principaux facteurs nuisibles du mil

1.1.8.1. Maladies

Les maladies sont une des causes des baisses de productivité du mil. Ainsi, le mildiou (*Sclerospora graminicola*), le charbon (*Tolysporium pennicillariae*) et l'ergot (*Claviceps fusiformis*) sont les maladies les plus importantes sur le mil (Ndiaye et al., 2005). Les autres maladies comme la pyriculariose, la rouille, les viroses et les bactérioses ont des ampleurs variables (Mbaye, 1993).

Le mildiou peut occasionner des pertes de 21% (Mbaye, 1988). Il se manifeste sur les feuilles et les inflorescences (Williams et al., 1978) avec des épis en « balais de sorcières ». Parmi les facteurs de développement et la dissémination du mildiou figurent les pratiques techniques culturales et le transfert du matériel végétal (Mbaye, 1993). Certains cultivars tels que : IBL015-1-1 ; IBL71 ; IBL133-3 ; IBL114-5 et IBL071 présentent une potentielle résistance au mildiou avec des incidences inférieures ou égales à 10% (Ehemba, 2017).



Figure 3 : les symptômes du mildiou

Source : Ndiaye (2017)

Le charbon occupe la deuxième place après le mildiou. Son agent pathogène infecte les fleurs et les transforme en gros sacs dodus appelés sores contenant une poudre noire

(Williams et al., 1978). Son impact sur le rendement est variable (Mbaye, 1993). Selon Mbaye (1988) la sévérité moyenne du charbon varie de 1 à 20% en 1985 et de 1 à 4% en 1986.

L'ergot est la troisième maladie la plus importante du mil. Son agent pathogène infecte les fleurs au stade de floraison femelle et se développe dans les ovaires en produisant un abondant liquide gluant et sucré (Williams et al., 1978). Selon Mbaye (1993) ; le pourcentage de grains perdu peut atteindre 100%.

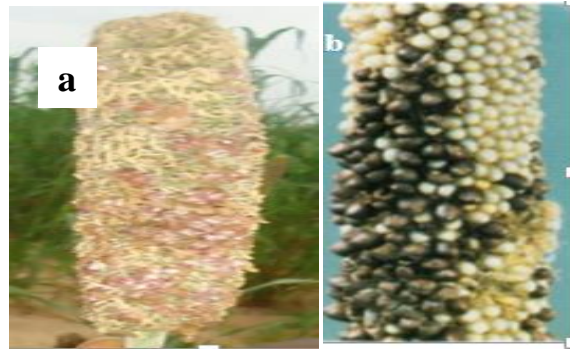


Figure 4 : symptômes de l'ergot (a) et du charbon (b)

Source : Ehemba (2017)

1.1.8.2. Insectes et autres ravageurs du mil

Les insectes sont les plus importants destructeurs, du fait des dégâts qu'ils occasionnent depuis le semis jusqu'à la récolte et même pendant le stockage (Mbaye, 1993 ; Ndiaye et al., 2005). Parmi ces insectes on peut citer les lépidoptères et les diptères. Ils attaquent généralement les tiges (foreurs de tiges) ou l'épi (mineuse de l'épi). Les cantharides sont de redoutables ravageurs et provoquent des pertes qui peuvent atteindre 80 à 100% (Ndiaye et al., 2005). Le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*) polyphage peut aussi causer des pertes de 100% sur le mil (Mbaye, 1993). Les oiseaux granivores dont *Quelea quelea* (travailleur à bec rouge), *Quelea erythrops* (travailleur à tête rouge), *Ploceus cucumillatus* (le gendarme) et *Passer luteus* (moineau doré) occasionnent des dégâts variant de 10 à 30% et parfois plus, sur les variétés précoces (Mbaye, 1993).

1.1.8.3. Adventices

Les herbes indésirables à la culture constituent un grand problème. Le mil est généralement concurrencé par deux groupes d'adventices (Mbaye, 1993, Ndiaye et al., 2005) :

- Les dicotylédones annuelles à larges feuilles (*Cassia obtusifolia*, *Commelina benghalensis*, *Corchorus stridens*, *Zornia*), qui apparaissent au début de la culture.
- Les monocotylédones annuelles dont *Cenchrus biflorus*, *Digitaria spp*, *Brachiaria spp*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Pennisetum pedicellatum*, et *Eragrostis tremula* qui apparaissent dès les premières stades de croissance du mil et les cyperacées (*Kyllenga squamulata*, *Cyperus amabilis*, *Bulbostylis barbata* et *Fimbristylis spp.*).

La plante parasite du mil, *Striga hermonthica* suscite des dégâts de 24 à 76% (Diallo, 1985).



Figure 5: pieds du *Striga hermonthica* et champs de mil infesté par *S. hermonthica*

Source : Ndiaye et Sawane (2015)

1.1.9. Fertilité et fertilisation

La fertilité d'un sol est sa capacité à fournir des récoltes abondantes et de bonnes qualités (Asdrubal.; 2006). Elle se décline en trois composantes essentielles (Dumat, 2016 ; Asdrubal.; 2006):

- Une composante chimique correspondant à l'aptitude du sol à fournir des éléments nutritifs en quantité suffisante à l'élaboration du rendement.
- Une composante physique liée à la création et au maintien d'un état physique adapté au système de culture.
- Une composante biologique constituant des êtres vivants utiles ou non dans le sol assurant la dégradation et la minéralisation des végétaux.

La fertilisation recouvre "toutes les techniques permettant d'accroître le niveau de fertilité d'un sol par action sur les facteurs limitants liés au milieu physique, physicochimique, biologique et même climatique" (Mboji, 1987). Selon Asdrubal (2006) la fertilisation regroupe un ensemble de pratiques des agriculteurs, en particulier l'utilisation d'engrais et d'amendements, permettant de corriger les déficiences naturelles du sol, de maintenir une teneur correcte des principaux éléments, d'éviter l'épuisement du sol et d'améliorer la productivité des cultures. Une fertilisation équilibrée améliore également la résistance des cultures aux maladies, aux ravageurs et à la concurrence avec les herbes non désirés.

1.1.10. Les principes de la fertilisation

Les principes de la fertilisation minérale reposent en partie sur trois lois fondamentales qui décrivent notamment les effets de l'apport d'éléments fertilisants aux cultures (UNIFA, 2005 ; Asdrubal, 2006 ; Dumat, 2016).

1.1.10.1. Loi des restitutions

Le sol perd des éléments minéraux qui sont prélevés par les plantes et exportés dans les récoltes. En effet pendant sa croissance, la plante prélève des éléments minéraux essentiellement dans la solution du sol. Les prélèvements totaux correspondent à la quantité maximale contenue dans la plante, au moment où elle en renferme le plus (Dumat, 2016). Les exportations ou les quantités soustraites du sol par les récoltes, sont en général inférieures aux prélèvements (Asdrubal, 2006) car les plantes restituent des éléments en fin de cycle de végétation, en particulier par les résidus de récolte (racines, tiges...). Ces éléments peuvent aussi disparaître par érosion et par lessivage (UNIFA, 2005). La fertilisation doit apporter assez d'éléments pour compenser ces pertes.

1.1.10.2. Loi du minimum et d'interdépendance

Selon UNIFA (2005), l'importance du rendement d'une récolte est déterminée par l'élément qui se trouve en plus faible quantité par rapport aux besoins de la culture. C'est à dire dans un sol déséquilibré en éléments minéraux, le rendement de la culture est limité au niveau de l'élément présent en plus faible quantité, même si tous les autres se trouvent en quantités suffisantes.

La loi d'interaction met en évidence l'interdépendance entre les différents éléments nutritifs. L'action d'un constituant est modifiée positivement ou négativement par la présence ou absence d'un ou plusieurs autres éléments (Asdrubal.; 2006).

De plus des interactions existent entre tous les facteurs et conditions de la production: Azote et désherbage, fertilisation et structure du sol etc (Dumat, 2016).

1.1.10.3. Loi des accroissements moins que proportionnels

A une augmentation croissante de fertilisants, correspond une augmentation de rendement de plus en plus faible (Asdrubal, 2006). En effet l'augmentation des apports d'un élément déficitaire induit une augmentation du rendement jusqu'à un seuil où l'apport croissant d'engrais n'améliore plus le rendement. Au-delà, l'effet peut même être négatif et le rendement peut baisser à cause de phénomènes de toxicité, de la sensibilité à la verse et aux maladies ou encore des retards de maturité.

1.1.11. La fertilisation et les amendements sur le mil

1.1.11.1. La fertilisation minérale

La fertilisation minérale réside à un apport d'éléments fertilisants majeurs au sol pour fournir aux végétaux des éléments minéraux plus ou moins rapidement disponibles (Agronomie, 2009 ; Asdrubal, 2006). Selon le dosage de ces éléments majeurs de fertilisants, les engrais minéraux peuvent être plus ou moins azotés, phosphatés ou potassiques et répondent donc aux différents besoins nutritifs spécifiques des plantes (Asdrubal 2006). Ainsi les engrais simples contiennent un élément fertilisant et les engrais complexes peuvent contenir 2 ou 3 éléments fertilisants (Lacharme, 2001 et Asdrubal 2006). Les engrais minéraux se différencient aussi par leur vitesse d'absorption par les plantes (Lacharme, 2001). En effet les engrais azotés comme les nitrates sont directement assimilables par les plantes, par contre une période d'environ 10 jours est nécessaire pour que l'urée se dégrade totalement dans le sol et se transforme en nitrate NO₃ assimilable. Les phosphates naturels peuvent nécessiter plusieurs mois pour être assimilés tandis que le super phosphate triple TSP est assez rapidement assimilable.

La fertilisation minérale intervient sur les différentes phases du développement, en favorisant le tallage et en réduisant la sénescence des feuilles vertes pendant la phase reproductrice (Eldin, 1990). Le nombre de grains par épi et le poids du grain montrent une excellente réponse à la fertilisation minérale. Traoré, (2015) montre que la fumure du mil doit être à prédominance phosphatée, l'azote est en général le deuxième élément essentiel et son application nécessite des apports raisonnés en fonction des besoins spontanés des cultures en cours de végétation en raison de sa grande mobilité dans le sol. Il montre aussi que le potassium, à court terme n'entraîne aucun accroissement sur le rendement du mil.

1.1.11.2. Amendements organiques

Les amendements organiques sont des apports au sol pour en modifier les caractéristiques physico-chimiques dont la structure et le pH (Asdrubal, 2006). En effet, ce sont des composés carbonés soit d'origine végétale et/ou animale dont la teneur en matière sèche est supérieure à 30% du produit brut. La teneur maximale en un des éléments majeurs, N, P₂O₅ ou K₂O est de 3%. La somme des trois teneurs doit être inférieure à 7% du produit brut. Le rapport carbone sur azote (C/N) est supérieur à 8 et la somme des formes nitrique, ammoniacale et uréique ne doit pas dépasser 33% de l'azote total.

Tout comme les engrais de ferme, les effluents de biogaz et les composts, les constituants des amendements organiques ne sont pas directement disponibles. Ils doivent d'abord être minéralisés. Les différents amendements organiques se distinguent entre eux par leur vitesse de minéralisation. Le fumier de volaille et les farines animales sont rapidement minéralisés: 40 à 80% de l'azote organique est transformé au cours des premiers mois après l'épandage (Etter, 2017). Le fumier de bovins nécessite une période de végétation pour libérer 20 à 40% de l'azote (Etter, 2017). Pour le compost, la minéralisation prend beaucoup de temps: 15% seulement de l'azote est transformé durant la première année (Etter, 2017).

Les amendements organiques ont une influence très nette sur le développement et la production du mil. En effet ces amendements améliorent le niveau de fertilité des sols, notamment par la réduction de l'acidité et du taux d'aluminium échangeable et par l'accroissement des réserves en éléments échangeables (Cissé, 1988). Selon Rouw et al. (1994), les champs avec bouses de vaches montrent une forte croissance juvénile avec des poussées de mil plus rigoureuse par apport aux champs sans bouses. Il montre aussi que le nombre d'épis et le poids des 1000 grains sont plus importants dans les parcelles avec bouses que dans les parcelles sans bouses.

1.1.11.3. Fertilisation organo-minérale

La fertilisation organo-minérale est constituée d'un mélange d'engrais minéraux et de fumier organiques, tout en complémentarité. Les éléments minéraux vont apporter aux plantes des nutriments rapidement disponibles, et les éléments organiques vont enrichir les sols pour restituer les nutriments en seconde phase.

Une fertilisation organique combinée aux engrais minéraux, résout les problèmes de chute de teneurs en éléments organiques du sol et de nutrition tout en maintenant des rendements élevés et stables des cultures (Dembele, 1994 ; Zeinabou et al., 2014 ; Akanza et al., 2016 et Somda et al., 2017). En présence de la demi-dose d'engrais

minéraux, la tendance évolutive des teneurs en phosphore des feuilles, en fonction des quantités de fumier reste en vigueur. Les concentrations en phosphore ont progressé de 0,22 à 0,38% MS, pour les apports de 05 et 10 T/ha de fumier. Selon Dembele (1994), la fertilisation minérale n'est jamais suffisante pour stabiliser les rendements. Cependant l'utilisation d'engrais minéraux combinés avec le fumier est mieux indiquée pour un accroissement substantiel du rendement du mil (Zeinabou et *al.*, 2014). L'interaction entre le fumier organique et l'engrais minéral est absente à la première année d'application (Dembele, 1994). A court terme, il y a un effet additif entre les deux modes de fumure; mais à long terme, l'interaction est établie (Dembele, 1994).

Les modes de fertilisation organo-minérale et organique apparaissent comme meilleurs conservateurs du potentiel de production et occasionnent une dégradation moins accentuée des sols (N'Tarla, 1989 *cité par Dembele 1994*).

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

2.1. Site d'étude

L'essai a été conduit durant l'hivernage 2017 dans la station de Vélingara située en Haute Casamance, au Sud du Sénégal (Figure1) sur des sols ferrugineux tropicaux (Kanfany, 2009). Le climat est de type soudanien (Hôte, 1995) avec une moyenne pluviométrique de 856 mm entre mai et octobre conformément à la normale climatique (1981-2010). En 2017 (mai-octobre), la pluviométrie saisonnière enregistrée était de 863 mm en 55 jours de pluie (Figure 2). Des quantités importantes d'eau ont été enregistrées au mois d'août avec 492 mm alors que le mois de septembre a été le moins pluvieux (43,9 mm en 7 jours de pluie).

+

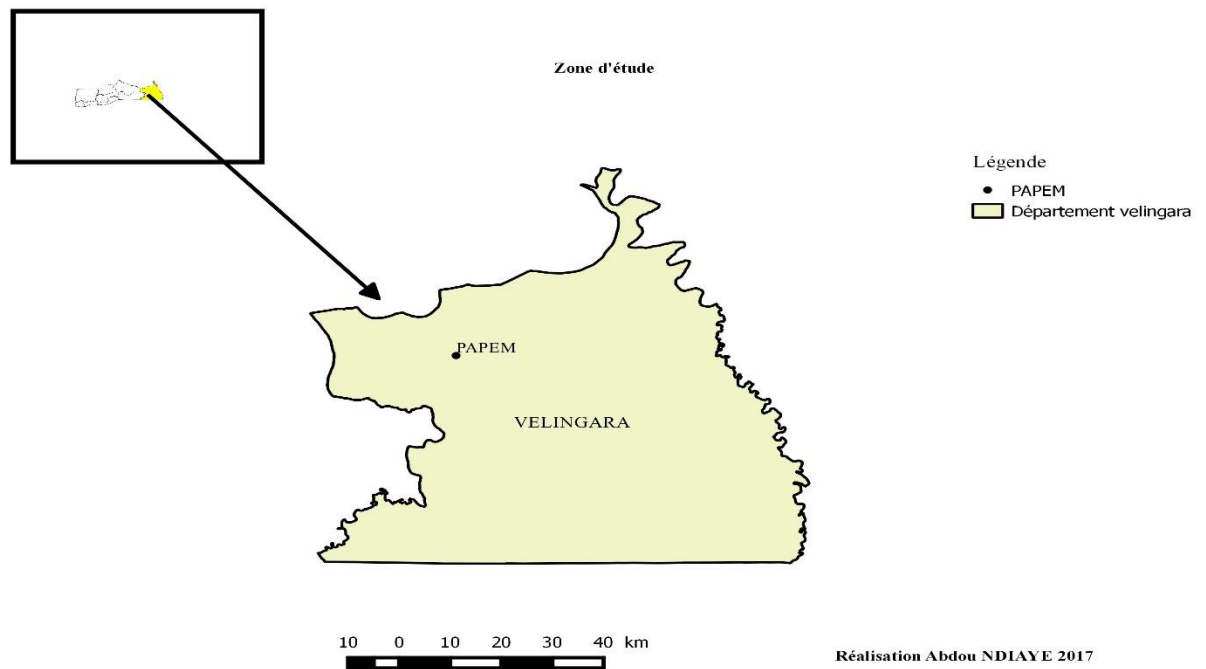


Figure 6: Localisation de zone d'etude

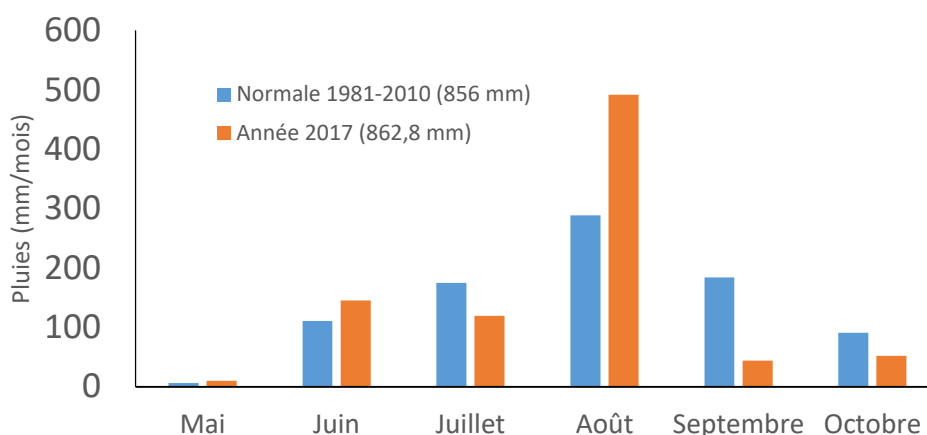


Figure 7: Répartitions mensuelle des pluies en 2017 et de la normale (1981-2010) à la station Vélingara.

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est un cultivar de mil sanio en provenance de Séfa (Moyenne Casamance, Sénégal). Il a un cycle cultural de 130 à 150 jours et est caractérisé par des épis aristés. Il est photopériodique et ne fleurit que si la longueur du jour est suffisamment faible (Diouf, 2001).

2.3. Facteur étudié et dispositif expérimental

Les facteurs étudiés étaient l'amendement organique (AO) et la fertilisation minérale (FM). Le dispositif expérimental était en parcelles subdivisées (*split-plot design*) avec trois répétitions. Le facteur principal (fertilisation minérale) était placé dans les petites parcelles alors que le facteur secondaire (amendement organique) dans les grandes parcelles. L'amendement comprend trois niveaux (AO1 : témoin non amendé, AO2 : 5 tonnes par hectare de poudrette d'étable, AO3 : 10 tonnes par hectare de poudrette d'étable). La fertilisation minérale est constituée de quatre modalités (FM1 : témoin non fertilisé, FM2 : 50% DR (dose recommandée engrais NPK et Urée), FM3 : 100% DR, FM4 : 150% DR). L'unité expérimentale était représentée par une parcelle élémentaire de 8 lignes de 7,2 m de long espacées de 1 m. L'unité expérimentale et le carré utile ont une dimension respective de 50,4 m² (7 m*7,2 m) et 43,2 m² (6 m*1 m*7,2 m).

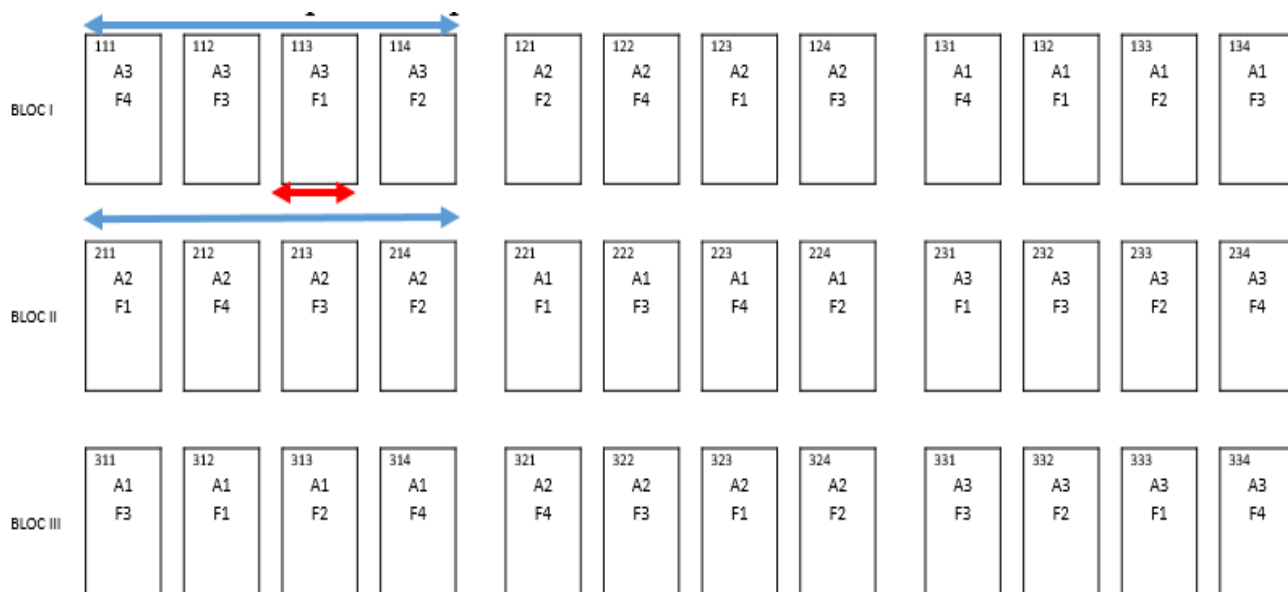


Tableau 1 : Informations sur les modalités des facteurs étudiés

Facteur étudié		Modalité
Amendement organique (AO)	Grandes parcelles	AO1 = Témoin non amendé
		AO2 = 5 tonnes ha ⁻¹ (poudrette d'étable)
		AO3 = 10 tonnes ha ⁻¹ (poudrette d'étable)
Fertilisation minérale (FM)	Petites parcelles	FM1 = 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

Le fumier utilisé est de la poudrette d'étable dont la composition chimique est indiquée dans le tableau 2.

Tableau 2: Caractéristiques de la poudrette d'étable

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

¹ Valeur en % de matière sèche (MS) ; MO (matière organique), pH (potentiel d'hydrogène)

Source : Gueye (2016)

2.4. Conduite de la culture

Le précédent cultural était une jachère de trois ans. Le semis a été effectué le 14 juillet 2017 sur une parcelle labouré et nivelée. La poudrette d'étable et l'engrais de fond NPK (15-15-15) ont été épandus respectivement un et deux jours après semis et conformément aux modalités. Le démariage à trois plants par poquet a été effectué 15 JAS suivi des apports de l'engrais de couverture (Urée 46% N) respectivement à la montaison (45 JAS) et à l'épiaison (90 JAS). Quatre désherbages ont été réalisés (05 JAS ; 17 JAS ; 39 JAS et 55 JAS).

2.5. Paramètres mesurés

Les mesures ont porté sur les paramètres morphologiques (hauteur des plantes, longueurs des entre-nœuds et de l'épi, diamètre de l'épi et de la tige au collet) et de production (densité de plants, pourcentage de talles fertiles, nombre d'épis, poids des épis, poids sec biomasse, poids des grains et des mille grains).

La taille des plantes a été mesuré quatre fois respectivement : au 60, 75, 90 et 120^{ème} jour après semis (JAS). La mesure a été prise à partir de la base de la talle principale jusqu'à la dernière feuille à l'aide d'une règle graduée sur 10 plantes choisies au hasard dans le carré utile.

La longueur entre nœuds a été déterminée à partir du rapport entre la longueur de la plante sans épi et le nombre de nœud sur 10 plantes choisies au hasard dans le carré utile.

La longueur de l'épi a été déterminée à partir du point de contact entre épis et pédoncule florale jusqu'à la fin de l'épi à l'aide d'une règle graduée.

Le diamètre au collet et celui de l'épi ont été déterminés en mesurant sur 10 plantes et 10 épis choisis au hasard dans le carré utile à l'aide d'un pied à coulisse.

La fréquence du mildiou a été mesurée dans chaque carré utile.

Pour ceux concernant les paramètres de rendement :

La densité de plantes a été obtenue par comptage du nombre total de plantes sur chaque carré utile avant le tallage.

Le pourcentage de talles fertiles a été déterminé à partir du rapport entre le nombre de talle fertiles/poquet et le nombre total de talle/poquet sur 10 poquets choisis au hasard dans le carré utile.

Le nombre d'épis a été déterminé à partir d'un comptage de tous les épis récoltés dans chaque carré utile.

Le poids d'épis a été obtenu après avoir attaché tous les épis en gerbe puis pesés à l'aide d'une balance commerciale.

Le poids sec de la biomasse (PSB) des tiges a été déterminé après avoir coupé et pesé la biomasse aérienne sèche de chaque carré utile (après 20 jours de séchage à l'air libre).

Le poids grains a été pesé après battage des épis de chaque carré utile.

Le poids 1000 grains a été déterminé selon la méthodologie décrite par l'ICRISAT (1971). Un comptage manuel de 03 lots de 1000 grains a été effectué et le poids de chaque lot a été pesé à l'aide d'une balance à précision. La moyenne des trois répétitions a été prise.

2.6. Analyse statistique

Les données collectées ont été soumises à l'analyse de variance à l'aide du logiciel Genstat, Discovery édition 4. La comparaison multiple des moyennes a été faite selon le test de Turkey au seuil de 5 %.

Chapitre III : RESULTATS

3.1. Densité, tallage et pourcentage de talles fertiles des plants de mil

Le tableau 3 présente la variation de la densité de plantes, le nombre de talles par m² et le pourcentage de talles fertiles en fonction de l'amendement et de l'engrais minéral.

La densité de plantes par hectare n'est ni affecté par l'amendement organique ni par la fertilisation minérale. En moyenne la densité de peuplement est de 33 160 ± 347 plants par hectare.

En ce qui concerne le nombre de talles/m² et le pourcentage de talles fertiles, l'amendement organique n'a pas eu d'effet significatif. Par contre la fertilisation minérale a significativement affecté le nombre de talles/m² ($P = 0,002$) et le pourcentage de talles fertiles ($P = 0,003$). Les parcelles au moins fertilisées à la dose recommandée (100% DR ou 150% DR) ont donné un nombre de talles/m² et un pourcentage de talles fertiles élevés par rapport aux parcelles non fertilisées.

Tableau 3 : Effet de l'amendement et de la fertilisation sur la densité, le tallage et le pourcentage de talles fertiles des plantes de mil sanio.

Source de variation	Densité de plantes (plant ha ⁻¹)	Tallage (talles/m ²)	talles Fertiles (%)
Amendement organique (AO, poudrette d'étable)			
AO1 : 0 tonne ha ⁻¹ (témoin non amendé)	33 102 ± 342	14 ± 2	70,2 ± 6,0
AO2 : 5 tonnes ha ⁻¹	33 333 ± 0	13 ± 2	68,5 ± 7,8
AO3 : 10 tonnes ha ⁻¹	33 044 ± 464	14 ± 3	70,4 ± 6,7
Fertilisation minérale (FM)			
FM1 : sans engrais (témoin non fertilisé)	33 025 ± 505	12 ± 2 ^b	63,1 ± 6,0 ^c
FM2 : 75 kg ha ⁻¹ NPK + 50 kg ha ⁻¹ urée (50% DR)	33 179 ± 306	14 ± 2 ^{ab}	69,5 ± 7,2 ^c
FM3 : 150 kg ha ⁻¹ NPK + 100 kg ha ⁻¹ urée (DR)	33 256 ± 231	14 ± 2 ^{ab}	72,5 ± 4,2 ^{ab}
FM4 : 225 kg ha ⁻¹ NPK + 150 kg ha ⁻¹ urée (150% DR)	33 179 ± 306	15 ± 2 ^a	73,8 ± 4,0 ^a
Moyenne ± Ecart-type (n = 3)	33 160 ± 347	14 ± 2	69,7 ± 6,7
Coefficient de variation (%)	1,1	10,8	7,9
Probabilité et signification			
AO	0,284 ^{ns}	0,774 ^{ns}	0,650 ^{ns}
FM	0,576 ^{ns}	0,002 [*]	0,003 [*]
AO * FM	0,669 ^{ns}	0,465 ^{ns}	0,419 ^{ns}

NPK = 15-15-15 ; Urée = 46-0-0 ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5% ; * = différence significative au seuil de 1%

3.2. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur l'incidence du mildiou

L'évolution de l'incidence du mildiou en fonction de l'amendement et de la fertilisation est indiquée dans le tableau 4. L'analyse de la variance n'a pas mis en évidence un effet significatif des deux facteurs étudiés sur le développement du mildiou durant la phase végétative. Quelle que soit la dose de matière organique ou d'engrais minéral, le mildiou est généralement noté chez $34,9 \pm 11,2$ % des plantes de mil sanio.

Tableau 4: Effet de l'amendement et de la fertilisation sur le mildiou chez le mil sanio

Source de variation	Pourcentage de mildiou (%)
Amendement organique (AO, poudrette d'étable)	
AO1 : 0 tonne ha ⁻¹ (témoin non amendé)	34,1 ± 11,4
AO2 : 5 tonnes ha ⁻¹	36,2 ± 13,2
AO3 : 10 tonnes ha ⁻¹	34,3 ± 9,7
Fertilisation minérale (FM)	
FM1 : sans engrais (témoin non fertilisé)	38,8 ± 10,5
FM2 : 75 kg ha ⁻¹ NPK + 50 kg ha ⁻¹ urée (50% DR)	33,0 ± 11,2
FM3 : 150 kg ha ⁻¹ NPK + 100 kg ha ⁻¹ urée (DR)	36,0 ± 10,2
FM4 : 225 kg ha ⁻¹ NPK + 150 kg ha ⁻¹ urée (150% DR)	32,3 ± 14,0
Moyenne ± Ecart-type (n = 3)	34,9 ± 11,2
Coefficient de variation (%)	32,0
Probabilité et signification	
AO	0,952 ^{ns}
FM	0,610 ^{ns}
AO * FM	0,989 ^{ns}

NPK = 15-15-15 ; Urée = 46-0-0 ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5%.

3.3. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur la taille des plants

L'évolution de la taille des plantes de mil sanio en fonction de l'amendement et de la fertilisation minérale est représentée dans le tableau 5. L'analyse de la variance montre un effet significatif ($P = 0,043$) des apports de matière organique sur la hauteur des plantes de mil sanio. A 90 et 120 JAS, les parcelles ayant reçu 5 ou 10 tonnes de poudrette d'étable par hectare ont donné la taille des plantes les plus hautes par rapport à celles des parcelles non amendées. De même, la hauteur des plantes est aussi significativement ($P < 0,05$) influencée par l'augmentation des apports d'engrais minéral. Les plantes les plus développées sont observées dans les parcelles fertilisées au moins aux doses recommandées (100% DR ou 150% DR). A 120 JAS, les traitements FM3 (100% DR) et FM4 (150% DR) ont permis de noter une augmentation de 13,7 et de 16,4 % de la taille des plantes respectivement par rapport à celles du témoin non fertilisé.

Tableau 5: Effet de l'amendement et de l'engrais minéral sur la taille des plantes de mi sanio à 60, à 75, à 90 et à 120 JAS.

Source de variation	Hauteur Plante (cm)			
	60 JAS	75 JAS	90 JAS	120 JAS
Amendement organique (AO, poudrette d'étable)				
AO1 : 0 tonne ha ⁻¹ (témoin non amendé)	73,9 ± 14,7	158,5 ± 27,3	234,3 ± 15,0 ^b	250,9 ± 18,2 ^b
AO2 : 5 tonnes ha ⁻¹	82,3 ± 17,8	171,8 ± 25,9	247,1 ± 18,7 ^{ab}	266,0 ± 27,2 ^{ab}
AO3 : 10 tonnes ha ⁻¹	94,3 ± 14,0	193,8 ± 19,3	267,4 ± 17,9 ^a	291,1 ± 21,4 ^a
Fertilisation minérale (FM)				
FM1 : sans engrais (témoin non fertilisé)	73,2 ± 20,2 ^b	150,6 ± 23,7 ^b	235,6 ± 23,1 ^b	244,1 ± 24,0 ^b
FM2 : 75 kg ha ⁻¹ NPK + 50 kg ha ⁻¹ urée (50% DR)	84,1 ± 12,3 ^{ab}	173,1 ± 17,7 ^b	247,5 ± 14,2 ^b	271,5 ± 15,4 ^b
FM3 : 150 kg ha ⁻¹ NPK + 100 kg ha ⁻¹ urée (DR)	92,0 ± 18,8 ^{ab}	190,6 ± 27,0 ^b	260,9 ± 23,5 ^{ab}	277,5 ± 32,5 ^b
FM4 : 225 kg ha ⁻¹ NPK + 150 kg ha ⁻¹ urée (150% DR)	84,9 ± 14,0 ^a	184,6 ± 27,6 ^a	254,4 ± 19,9 ^a	284,2 ± 20,6 ^a
Moyenne ± Ecart-type (n = 3)	83,5 ± 17,2	174,7 ± 28,0	249,6 ± 21,8	269,3 ± 27,6
Coefficient de variation (%)	11,6	7,8	5	5,5
Probabilité et signification				
AO	0,294 ^{ns}	0,129 ^{ns}	0,043 [*]	0,017 [*]
FM	0,006 [*]	0,001 ^{**}	0,003 [*]	0,001 ^{**}
AO * FM	0,073 ^{ns}	0,122 ^{ns}	0,279 ^{ns}	0,181 ^{ns}
Plus petite différence significative	30,63	37,47	26,33	27,45

NPK = 15-15-15 ; Urée = 46-0-0 ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5% ; * = différence significative au seuil de 1% ; ** = différence hautement significative au seuil de 0,1% ; JAS = jours après semis.

3.4. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur la croissance radiale et l'élongation de la tige.

Le diamètre de la tige au collet n'est pas statistiquement influencé par les apports organo-minéraux (Tableau 6). En moyenne le diamètre de la tige de mil sanio est de $1,4 \pm 0,1$ cm indépendamment du niveau du facteur amendement ou celui du facteur fertilisation.

Concernant la distance entre nœuds des plantes, les apports de matière organique n'ont pas eu d'effet significatif. Par contre, la fertilisation minérale a significativement ($P = 0,002$) affecté la longueur des entre nœuds. En effet, les tiges les plus développées ont été notées dans les parcelles fertilisées au moins aux doses recommandées, soit plus de 4,2-5,4% en comparaison au témoin non fertilisé.

Tableau 6 : Influence de la matière organique et de l'engrais minéral sur le diamètre de la tige et la distance des entre noeuds.

Source de variation	Diamètre de la tige au collet (cm)	Distance entre nœuds (cm)
Amendement organique (AO, poudrette d'étable)		
AO1 : 0 tonne ha ⁻¹ (témoin non amendé)	$1,3 \pm 0,1$	$17,2 \pm 0,7$
AO2 : 5 tonnes ha ⁻¹	$1,4 \pm 0,1$	$17,1 \pm 0,8$
AO3 : 10 tonnes ha ⁻¹	$1,5 \pm 0,1$	$17,6 \pm 1,0$
Fertilisation minérale (FM)		
FM1 : sans engrais (témoin non fertilisé)	$1,4 \pm 0,2$	$16,8 \pm 0,9^c$
FM2 : 75 kg ha ⁻¹ NPK + 50 kg ha ⁻¹ urée (50% DR)	$1,4 \pm 0,1$	$17,3 \pm 0,7^{bc}$
FM3 : 150 kg ha ⁻¹ NPK + 100 kg ha ⁻¹ urée (DR)	$1,5 \pm 0,2$	$17,5 \pm 0,7^a$
FM4 : 225 kg ha ⁻¹ NPK + 150 kg ha ⁻¹ urée (150% DR)	$1,4 \pm 0,1$	$17,7 \pm 1,0^a$
Moyenne \pm Ecart-type (n = 3)	$1,4 \pm 0,1$	$17,3 \pm 0,8$
Coefficient de variation (%)	8,5	2,5
Probabilité et signification		
AO	0,100 ^{ns}	0,528 ^{ns}
FM	0,510 ^{ns}	0,002 [*]
AO * FM	0,718 ^{ns}	0,404 ^{ns}

NPK = 15-15-15 ; Urée = 46-0-0 ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5%.

3.5. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur les caractéristiques de l'épi

Les différentes doses de matière organique et/ou de l'engrais minéral n'ont pas eu d'effet significatif sur le diamètre et la longueur des épis de mil sanio (Tableau7). En moyenne, le diamètre et la longueur des épis de mil sanio sont respectivement de $1,8 \pm 0,11$ et $33,4 \pm 2,1$ cm quelle que soit la modalité des facteurs appliqués.

Tableau 7 : Effet de l'amendement et de l'engrais minéral sur le diamètre et la longueur de l'épi.

Source de variation	Diamètre de l'épi (cm)	Longueur de l'épi (cm)
Amendement organique (AO, poudrette d'étable)		
AO1 : 0 tonne ha ⁻¹ (témoin non amendé)	1,9 ± 0,2	33,2 ± 1,9
AO2 : 5 tonnes ha ⁻¹	1,8 ± 0,1	34,0 ± 2,5
AO3 : 10 tonnes ha ⁻¹	1,8 ± 0,1	33,0 ± 2,0
Fertilisation minérale (FM)		
FM1 : sans engrais (témoin non fertilisé)	1,8 ± 0,1	34,3 ± 1,7
FM2 : 75 kg ha ⁻¹ NPK + 50 kg ha ⁻¹ urée (50% DR)	1,9 ± 0,1	33,5 ± 2,4
FM3 : 150 kg ha ⁻¹ NPK + 100 kg ha ⁻¹ urée (DR)	1,8 ± 0,1	32,3 ± 2,0
FM4 : 225 kg ha ⁻¹ NPK + 150 kg ha ⁻¹ urée (150% DR)	1,8 ± 0,1	33,5 ± 2,2
Moyenne ± Ecart-type (n = 3)	1,8 ± 0,1	33,4 ± 2,1
Coefficient de variation (%)	6,5	6,6
Probabilité et signification		
AO	0,311 ^{ns}	0,384 ^{ns}
FM	0,170 ^{ns}	0,322 ^{ns}
AO * FM	0,949 ^{ns}	0,607 ^{ns}

NPK = 15-15-15 ; Urée = 46-0-0 ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5%.

3.6. Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur le nombre d'épi, le poids d'épi et le poids des grains

Le tableau 8 montre que l'amendement organique n'a pas significativement affecté le nombre d'épis, le poids d'épi et le poids des grains du mil sanio. Par contre la fertilisation a hautement influencé ces paramètres (P = 0,001).

On note une augmentation par rapport au témoin du nombre d'épis, du poids d'épi et du poids des grains par hectare suite à l'apport de 10 tonnes de poudrette d'étable par hectare. En effet le traitement A3 (10 tonnes de poudrette par hectare) a permis d'accroître respectivement de 10,3% le nombre d'épis, de 37,2% le poids d'épi et de 59,5% le poids grain par rapport aux parcelles non amendées.

Les performances en nombre d'épis en poids d'épi et en poids grains sont obtenues dans les parcelles au moins fertilisées à la dose recommandée. Les traitements FM3 et FM4 ont permis de noter dans l'ordre par rapport au témoin non fertilisé (FM1) un gain de 47,9 et 66,1% pour le nombre d'épis, de 41,1 et 71,4% pour le poids de l'épi et de 29,3 et 62,3% pour le poids des grains.

Tableau 8 : Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur les composantes du rendement.

Source de variation	Nombre de l'épi ha ⁻¹	Poids d'épi (kg ha ⁻¹)	Rendement grains (kg ha ⁻¹)
Amendement organique (AO, poudrette d'étable)			
AO1 : 0 tonne ha ⁻¹ (témoin non amendé)	69 946 ± 13 507	1 179 ± 332	513 ± 291
AO2 : 5 tonnes ha ⁻¹	69 579 ± 15 700	1 237 ± 415	585 ± 260
AO3 : 10 tonnes ha ⁻¹	77 141 ± 15 191	1 618 ± 307	818 ± 166
Fertilisation minérale (FM)			
FM1 : sans engrais (témoin non fertilisé)	52 803 ± 6 142 ^d	983 ± 304 ^c	485 ± 209 ^c
FM2 : 75 kg ha ⁻¹ NPK + 50 kg ha ⁻¹ urée (50% DR)	70 293 ± 8 582 ^c	1 335 ± 339 ^b	655 ± 283 ^b
FM3 : 150 kg ha ⁻¹ NPK + 100 kg ha ⁻¹ urée (DR)	78 112 ± 5 874 ^b	1 377 ± 330 ^b	627 ± 273 ^b
FM4 : 225 kg ha ⁻¹ NPK + 150 kg ha ⁻¹ urée (150% DR)	87 680 ± 8 915 ^a	1 685 ± 307 ^a	787 ± 271 ^a
Moyenne ± Ecart-type (n = 3)	72 222 ± 14 826	1 345 ± 397	639 ± 272
Coefficient de variation (%)	7,4	8,6	13,0
Probabilité et signification			
AO	0,254 ^{ns}	0,054 ^{ns}	0,140 ^{ns}
FM	0,001 ^{**}	0,001 ^{**}	0,001 ^{**}
AO * FM	0,234 ^{ns}	0,195 ^{ns}	0,420 ^{ns}

NPK = 15-15-15 ; Urée = 46-0-0 ; DR= dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5% ; **= différence hautement significative au seuil de 0,1%

3.7. Effet de la fertilisation organo-minérale sur la biomasse aérienne sèche (tiges+feuilles)

Le tableau 9 présente l'évolution de la biomasse aérienne en fonction de l'amendement organique et de la fertilisation minérale. Les doses d'amendement organique n'ont pas eu un effet significatif sur biomasse aérienne (tige+feuille) du mil sanio. Par contre, la biomasse aérienne est très significativement ($P = 0,001$) affectée par les doses d'engrais minéral. Les valeurs de biomasse tiges les plus élevées sont enregistrées dans les parcelles ayant reçu de l'engrais minéral. En effet les traitements 50% DR, 100% DR et 150%DR ont permis de noter respectivement un gain de 26%, de 32% et de 56% de biomasse tige aérienne par rapport au témoin non fertilisé.

Tableau 9 : Effet de l'amendement et de l'engrais minéral sur la biomasse aérienne (tiges) de mil sanio.

Source de variation	Rendement de la Biomasse aérienne sèche (kg.ha ⁻¹)
Amendement organique (AO, poudrette d'étable)	
AO1 : 0 tonne ha ⁻¹ (témoin non amendé)	5 983 ± 1 805
AO2 : 5 tonnes ha ⁻¹	6 876 ± 1 599
AO3 : 10 tonnes ha ⁻¹	8 631 ± 1 423
Fertilisation minérale (FM)	
FM1 : sans engrais (témoin non fertilisé)	5 576 ± 1 822 ^c
FM2 : 75 kg ha ⁻¹ NPK + 50 kg ha ⁻¹ urée (50% DR)	7 029 ± 1 301 ^{bc}
FM3 : 150 kg ha ⁻¹ NPK + 100 kg ha ⁻¹ urée (DR)	7 376 ± 1 693 ^b
FM4 : 225 kg ha ⁻¹ NPK + 150 kg ha ⁻¹ urée (150% DR)	8 672 ± 1 697 ^a
Moyenne ± Ecart-type (n = 3)	7 163 ± 1 926
Coefficient de variation (%)	14.9
Probabilité et signification	
AO	0,082 ^{ns}
FM	0,001 ^{**}
AO * FM	0,840 ^{ns}

NPK = 15-15-15 ; Urée = 46-0-0 ; DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5% ; ** = différence hautement significative au seuil de 0,1%.

3.8. Effet de la fertilisation organo-minérale sur le poids des milles grains

L'analyse de la variance sur le poids des 1000 grains de mil sanio est présentée dans le tableau 10. Le calibre des grains de mil sanio n'est ni affecté par les apports de matière organique ni par les doses d'engrais minéral. En moyenne, le poids des 1000 grains pèsent obtenu est de 5,3 grammes.

Tableau 10 : Effet de l'amendement et de la fertilisation minérale sur le poids 1000 grains.

Source de variation	Poids 1000 grains (g)
Amendement organique (AO, poudrette d'étable)	
AO1 : 0 tonne ha ⁻¹ (témoin non amendé)	5,3 ± 0,3
AO2 : 5 tonnes ha ⁻¹	5,4 ± 0,2
AO3 : 10 tonnes ha ⁻¹	5,3 ± 0,3
Fertilisation minérale (FM)	
FM1 : sans engrais (témoin non fertilisé)	5,4 ± 0,3
FM2 : 75 kg ha ⁻¹ NPK + 50 kg ha ⁻¹ urée (50% DR)	5,2 ± 0,3
FM3 : 150 kg ha ⁻¹ NPK + 100 kg ha ⁻¹ urée (DR)	5,3 ± 0,2
FM4 : 225 kg ha ⁻¹ NPK + 150 kg ha ⁻¹ urée (150% DR)	5,3 ± 0,3
Moyenne ± Ecart-type (n = 3)	5,3 ± 0,3
Coefficient de variation (%)	3,0
Probabilité et signification	
AO	0,614 ^{ns}
FM	0,468 ^{ns}
AO * FM	0,460 ^{ns}

NPK = 15-15-15 ; Urée = 46-0-0DR = dose recommandée ; ns = différence non significative au seuil de 5%.

Chapitre IV : DISCUSSION GENERALE

Durant le cycle cultural, la pluviométrie totale enregistrée dans le site était de 863 mm répartie en 55 jours de pluie. Cette répartition de la pluie dans le temps cache une période sèche de 25 jours en Septembre. Cette poche de sécheresse a coïncidé avec la phase de reproduction au moment où le mil est sensible à la sécheresse (Diouf, 1990).

Les résultats ont montré que quelle que soit les doses d'engrais organiques et minéraux appliquées, la densité de plantes ne varie pas. Ces résultats ne concordent pas avec ceux de Diallo (2002) et Dutordoir (2006). Ces auteurs ont par contre montré qu'il y a une différence de nombre de plantes suite à une application d'engrais sur le mil par Dutordoir (2006) et sur le maïs par Diallo (2002). Cette différence pourrait s'expliquer par le démariage à 3 plants/poquet suivi d'un repiquage des poquets manquants effectué à 15 JAS. Ce qui fait que la densité de plantes est homogène dans toutes les parcelles élémentaires.

Pour les paramètres de croissance telle que la hauteur des plantes, les résultats ont montré que l'amendement organique a eu un effet significatif sur la hauteur des plantes à 90 et 120 JAS, tandis que la fertilisation minérale a eu un effet positif dès 60 JAS. Ce retard d'effet de l'amendement par rapport à l'engrais minéral peut s'expliquer par la vitesse de minéralisation des amendements organiques. En effet les constituants des amendements organiques ne sont pas directement disponibles, ils doivent d'abord être minéralisés (Asdrubal.; 2006 et Segnou et *al.*, 2012). Selon Etter, 2017, le fumier de volaille et les farines animales sont rapidement minéralisés (dès les premiers mois après l'épandage) alors que le fumier de bovins nécessite un temps important. L'augmentation de la taille de la plante a été notée suite à une fertilisation organo-minérale. Des résultats similaires ont été trouvés par Cissé (1988) qui a montré un effet positif de la fertilisation organo-minérale sur la hauteur des plantes de mil, sur le sorgho par Somda et al (2017) et sur le fonio par Gueye (2016). Cette augmentation peut s'expliquer par le fait que l'application des amendements organiques et d'engrais minéraux rend plus disponible les éléments de croissance des plantes tels que le phosphore comme l'indique Somda et al. (2017).

Par ailleurs, la fertilisation a eu aussi des effets significatifs sur la distance des entrenœuds des plantes et sur le pourcentage de talles fertiles. Ce résultat sur le tallage productif est confirmé par les travaux de Eldin (1990). Ce dernier a montré une augmentation du nombre de talles du mil suite à une fertilisation minérale.

Pour les paramètres du rendement, les résultats ont montré que seule l'application des doses de l'engrais minéral a eu un effet positif sur les composantes du rendement de mil

sanio. En effet, le nombre d'épi, le poids d'épi, le rendement en grain et la biomasse des tiges aériennes ont augmenté suite à une application croissante des doses d'engrais minéral. En effet, l'application de 150% de la dose recommandée d'engrais minéral a donné le meilleur résultat. Ces résultats sont en phase avec ceux de Eldin (1990) qui a montré que le nombre de grains par épi et le poids du grain du mil montrent une excellente réponse à la fertilisation minérale. Cependant ces résultats ne sont pas en phase avec ceux trouvés par Badiane (1986). Cette dernière a enregistré une très grande réponse sur le poids d'épis, le poids tiges et le poids grains du mil souna à la dose 04 tonnes/ha de fumier. En effet cette dose a induit une augmentation de 1 005 kg du poids d'épis par rapport au témoin non amendé, de 2 031 kg du poids tige et de 706 kg du poids grains. Cela pourrait s'expliquer par le fait que son étude a été réalisée dans une rotation arachide/mil.

L'interaction entre l'amendement et la fertilisation minérale n'a pas d'effet tant pour les paramètres de croissance que sur les paramètres de production du mil sanio. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Dembele (1994) qui a montré que l'effet d'interaction entre l'amendement organique et d'engrais minéral est absent en première année d'application. Par contre, ces résultats ne vont pas dans le même sens avec ceux trouvés par Akanza (2011), INRAN (2013) et Somda (2017). Ces auteurs ont montré des accroissements importants par rapport au témoin suite à l'apport de fiente de volaille et engrais minéral sur la hauteur, et sur le rendement du sorgho, du mil et en racines des tubercules de manioc. Ce manque d'effet d'interaction pourrait être lié à la qualité du fumier appliqué comme l'indiquent Kaho et al. (2011). En effet, les fumiers organiques n'ont pas les mêmes valeurs nutritives en éléments fertilisants (Siboukeur, 2013). Il montre que la fiente de volaille est beaucoup plus riche en éléments fertilisants comparé aux autres fumiers organiques. En plus, Ndour et al. (2016) et Equiterre (2009) ont montré que la fiente de volaille est à peu près six fois plus riche en azote que celui de bovin.

Pour la variation du poids des 1000 grains, les résultats ont montré qu'il n'y a pas une différence significative entre les traitements. Le poids varie entre 5,08 et 5,50 g. Ces résultats sont similaires à ceux de Diouf (2001) sur le mil. Par contre, ce poids est inférieur à celui trouvé par les travaux de l'ISRA en 1974 (6,13 à 6,92 g) et Diouf en 2014 (10 à 12g). Cela peut s'expliquer par un mauvais remplissage des grains lié à la pause pluviométrique (25 jours) observée pendant la phase de maturation. Cette absence de différence entre les traitements, peut s'expliquer par le fait que nos semences proviennent de la même variété. En effet le poids 1000 grains fait partie des principaux caractères physiques qui permettent de discriminer les variétés (Ouattara et al., 2015).

Ainsi, selon ce dernier, le poids varie entre 9,2 et 13,7g pour le mil. Des résultats similaires ont été trouvés par Cheik (2006) et Békoye (2014). Le poids moyen d'un grain dépend de la phase de remplissage des grains (Rouw et *al.*, 2004).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude menée au PAPEM de Vélingara a permis de mettre en évidence l'effet de la fertilisation organo-minérale sur les paramètres de croissance et de production du mil sanio en Haute Casamance.

Les résultats ont montré que l'interaction entre l'amendement organique et la fertilisation minérale n'est pas significative sur l'ensemble des paramètres mesurés. Par contre les doses d'amendement organique ont eu un effet positif ($p < 0,05$) sur la taille des plantes de mil sanio à 90 et 120 JAS. La dose de 10 t/ha a donné les hauteurs de plantes les plus longues (267 cm à 90 JAS et 291 cm à 120 JAS). Ces doses n'ont pas d'effet significatifs sur les paramètres du rendement, néanmoins la dose 10 tonnes/ha de poudrette a induit une augmentation du poids grains de 59% par rapport au témoin non amendé. La fertilisation minérale a eu des effets significatifs ($p < 0,05$) sur les paramètres de croissance (la hauteur, la distance entre nœuds) et de production (le tallage productif, le nombre d'épis, le poids d'épis, le rendement en grains et la biomasse des tiges aériennes). L'apport de 50% de la dose d'engrais minéral vulgarisée a favorisé un accroissement de 37% du rendement en grains par rapport au témoin non fertilisé.

Pour une gestion durable de la fertilité des sols et une amélioration de la productivité du mil sanio en Haute Casamance, il serait nécessaire de :

- ✓ Reconduire l'essai en station et en milieu paysans pour confirmer ou infirmer les résultats.
- ✓ Tester d'autres types de fumiers comme sources de fertilisants organiques (la fiente de volaille ou la farine d'origine animale).
- ✓ Procéder au semis précoce pour éviter les poches de sécheresse pendant les phases de reproduction et de maturation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agronomie, 2009. La fertilisation organique en agriculture biologique. Fiche n°6, 04 pages.
- Ahmadi N., Chantereau J., Lethève C.H., Marchand J.L. et Ouendeba B., 2006. Les céréales. In : Mémento de l'agronome : Agriculture spéciale, les plantes comestibles, 777 - 829. Ed : Ministère des affaires étrangères, Editions GRET & CIRAD, Paris, France.
- 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, 2016, 34, 2, 208- 220, 13page.
- 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.
- Amadou I., Gounga M. E., et Guo-Wei Le G., 2013. Millets: Nutritional composition, some health benefits and processing – A Review. In: Emir. J. Food Agric. 2013. 25 (7): 501-508, 09 pages.
- ANSD, 2015. Situation économique et sociale du Sénégal en 2012. 09 pages.
- Asdrubal M., Sylvie D., Charonnat C., Denys F., Fresse J.C., Thomas J.M., 2006. Fertilisation et amendements. Educagri éditions, 131 pages.
- Badiane A. N., 1986. Courbe de réponse A de doses croissantes de fumier (thilmakha) et Essai travail du sol (sole III Nord- Bambey).
- Békoye B.M., 2014. Caractérisation physico chimique et technologique des variétés de mil *pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Ouest africaines. In: European Scientific Journal.; vol.10, No.30 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, 10 pages.
- Bilquez A.F., et Clément J., 1969. Etude du mode d'hérédité de la précocité chez le mil pénkillaire (*Pennisetum typhoides* stapf et hubb.). Déterminisme génétique des variations de précocité des mils du groupe souna. 06 pages.
- Cheik A.T.O., Savadogo A., Bayane Y. et Traore S. A., 2006. A Comparative Study on Nutritional and Technological Quality of Fourteen (14) Cultivars of Pearl Millets [*Pennisetum glaucum* (L) Leeke] in Burkina Faso. In: Pakistan Journal of Nutrition 5 (6): 512-521, ISSN 1680-5194, © Asian Network for Scientific Information, 10 pages.
- 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. <hal-00885118>, 08 pages.

- DAPSA., 2016. Rapport de performance 2015. Ministère de l'agriculture et de l'équipement rural, Direction de l'Analyse de la Prévision et des Statistiques Agricoles, 52 pages.
- Dembele I., 1994. Production et utilisation de la fumure organique. Fiche synthétique d'information, 19 pages.
- Diallo L., 2002. Effet de l'engrais azote et du fumier sur les rendements du maïs. Mémoire de fin d'études, université polytechniques de Bobo- Dioulasso, Burkina fasso, 71 pages.
- Diallo S., 1985. L'amélioration du mil Pennisetum au Sénégal. Agronomie tropicale 31 :259- 264.
- Diedhiou B.W., 2008. Analyse des systèmes de cultures à base de mil et de sorgho en Casamance : Cas de la communauté rurale de Ouonck. Mémoire d'ingénieur des travaux agricoles, ISFAR, ex ENCR, Université de Thiès.
- Diop M.A., 2011. Dynamiques des paysannes, souveraineté alimentaire et marché mondial des produits agricoles : Exemple du Sénégal. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 254 pages.
- 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 pages.
- 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 pages.
- Diouf N., Ndiaye O., Mar A., et Diallo M., 2014. Le mil. Exposé, 14 pages.
- Dumat C., 2016. Fertilisation raisonnée des sols et biogéochimie. Enjeux agronomiques, environnementaux et sanitaires. ENSAT, 71 pages.
- Dutordoier C.D., 2006. Impact de pratiques de gestion de la fertilité sur les rendements en mil dans le Fakara (Niger). Mémoire de fin d'études, faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale, université catholique de Louvain, 214 pages.
- Ehemba G.L., 2017. Evaluation de lignées de mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] pour la résistance au mildiou [*Sclerospora graminicola* (Sacc.) J. Schröeter] dans les conditions agro-écologiques de la haute Casamance (Sénégal). Mémoire de Master, département de biologie végétale, faculté des sciences et techniques, université Cheikh Anta Diop de Dakar, 52 pages.
- Eldin O., 1990. Croissance et développement du mil (*Pennisetum typhoides*) sous deux conditions de fumure minérale. Rapport de stage, université de Niamey Niger, 53 pages.

- Equiterre, 2009. Les amendements organiques : fumiers et composts. Module 7, chapitre 12, 19 pages.
- Etter A., 2017. Engrais organiques: rendement et qualité. Revu UFA 10/ 2017, 2 pages.
- FAO, 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. ISBN 92-5-204463-5, 63 pages.
- FAO, 2016. Sénégal: la FAO confirme une production record de 2.27 tonnes de céréales en 2015. <https://actuprime.com/Sénégal-la-Fao-confirme-une-production>, consulté le 10/05/2018.
- Fofana A., 1993. Sélection mil, Rapport de synthèse 1992. ISRA de Bambey, 12 pages.
- 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 pages.
- Hanane S., 2013. Le pouvoir antioxydant des polyphénols de l'espèce *Pennisetum glaucum* (millet) du Sud d'Algérie. Mémoire de Master en biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen, 65 pages.
- Horticultural Companys, 2002. *Pennisetum glaucum* PURPLE MAJESTY. 02 pages.
- Hote Y., Dubreuil P., et Lérique J., 1995. Carte des types de climats « en Afrique Noire à l'ouest du Congo ». Rappels, et extension aux régimes hydrologiques. 11pages.
- ICRISAT, 1997. Manuel of laboratory procedures for quality évaluation sorghum and pearl millet. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India, 120 pages.
- INRAN et DAH, 2013. Poultry manure and inorganic fertilizer to improve pearl millet yield in Niger. In: African Journal of Plant Science, Vol. 7(5), pp. 162-169, 08 pages.
- IRD , 2015. Le mil, une céréale des zones arides. Fascination in plants day, 01 pages.
- ISRA, 1974. Amélioration Des Mils Au Sénégal. Rapport général d'activité, Vol. 1. Amélioration variétale, 208 pages.
- Kanfany G., 2009. Effets de la fertilisation organo-minérale sur la croissance et le rendement du fonio. Mémoire de fin d'étude d'école nationale supérieure d'agriculture de Thiès/Sénégal.
- Kaho F., Yemefack M., Feujoy P., Teguefouet et J.C Tchantchaouang J.C., 2011. Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. In : TROPICULTURA, 2011, **29**, 1, 39-45, 07 pages.

- 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.
- Lambert C., 1983. Influence de la précocité sur le développement du mil (*P. typhoides* Stapf et Hubb) en condition naturelle. *Agronomie* 38(1) : 9–15.
- Léder I., 2004. Sorghum and Millets, in *Cultivated Plants, Primarily as Food*. In "Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)". UNESCO, Oxford, U.K, 18 pages.
- Loumerem 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. Thèse de doctorat, Université de GENT, 266 pages.
- Manning K., 2010. A developmental history of West African agriculture. Edited by Philip Allsworth-Jones, 13 pages.
- Mbaye D.F., 1988. Méthode simple d'évaluation des pertes occasionnées par le mildiou (*S. graminicola*), le charbon (*T. penicillariae*) et l'ergot (*C. fusiformis*). Atelier sur le mil de ICRISAT, Zaria, Nigeria 1988, 10 pages.
- Mbaye D.F., 1993. Contraintes phytosanitaires du mil dans le sahel : Etat des connaissances et perspectives. ISRA, CNRA de Bambey Sénégal. Chapitre XV, 14 pages.
- Mboji M., 1987. L'utilisation des engrais et la production agricole. Ministre du développement rural.; Dakar- Sénégal.; 33 pages.
- Mohamed H.A., J.A. Clark & C.K. Ong 1988. Genotypic differences in the responses of tropical crops. Seedling emergence and leaf growth of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and pearl millet (*Pennisetum typhoides* S & H) *Journal of experimental botany* 205(39): 1129-1135.
- Moussa H., Soumana I., Chaïbou M., Souleymane O. et Kindomihou V., 2017. Potentialités fourragères du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) : Revue de littérature. In : *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2017. Vol.34, Issue 2: 5424-5447, 24 pages.
- Ndiaye A. et Sawane O., 2015. Etude des pratiques culturelles locales du mil sanio (*Pennisetum glaucum* L.) en parcelles paysannes en Haute Casamance (Sénégal). Mémoire de Licence en Agroforesterie, département agroforesterie, université Assane Seck de Ziguinchor, 37 pages.
- 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.

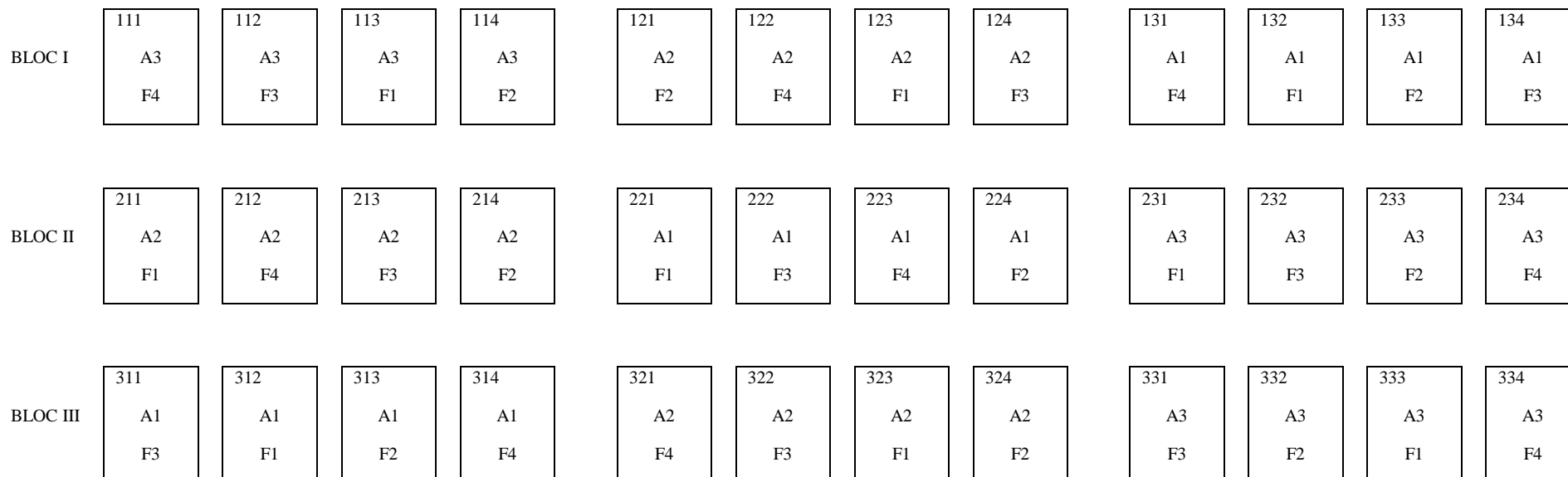
- Ndour N., Y., B., N'Diény M., Corfini N., A., Aubry C., Masse D., Paillat J., M., Diène J., Parnaudeau V., Iouankara S., 2016. Recyclage des déchets organiques en agriculture. Éditions Ouée, 2016, 28 pages.
- Ognalaga M., M'Akoué D.M., Mve S.D.M. et Ovono P.O., 2017. Effet de la bouse de vaches, du NPK 15 15 15 et de l'urée à 46% sur la croissance et la production du manioc (*Manihot esculenta* Crantz var 0018) au Sud-Est du Gabon (Franceville). In : *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2017. Vol.31, Issue 3: 5063-5073, 11 pages.
- Ouattara L.T.S., Bationo F., Parkouda C., Dao A., Bassole I.H.N., et Diawara B., 2015. Qualité des grains et aptitude à la transformation : cas des variétés de Sorghum bicolor, Pennisetum laucumet Zea mays en usage en Afrique de l'Ouest. In *international journal of biological and chemical sciences*, 9(6): 2819-2832, December 2015, 14 pages.
- Palm C.A., Myers R.J.K., Nandwa S.M., 1977. Combined use of organic and inorganic nutrient sources for soil fertility maintenance and replenishment. In Buresh RJ, Sanchez PA, Calhoun F (eds). *Replenishing Soil Fertility in Africa*. Soil Sci. Soc. Amer. Special Publication Number 51, Madison, WI. pp.193–217.
- Ramulu P. et Rao P.U., 2003. Total insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis* 16, 677-685, 09 pages.
- Rouw A., Rajot J.L. et Schnelzer G., 1994. 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. 18 pages.
- 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.
- Sanchez P., 1997. Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital. 01 page.
- Segnou J., Akoa A., Youmbi E., et Njoya J., 2012. Effet de la fertilisation minérale et organique sur le rendement en fruits du piment (*Capsicum annuum* L.; Solanaceae) en zone forestière de basse altitude au Cameroun. 10 pages
- Sène M., 1988. Le travail du sol à la dent en traction bovine pour une meilleure infiltration des eaux des premières pluies sur sols gravillonnaires en bordure de plateau, Kaymor. ISRA, CNRA, Bambey.
- 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.
- Siboukeur A., 2013. Appréciation de la valeur fertilisante de différents types de fumier. Mémoire de fin d'études, département des Sciences Agronomiques, faculté des

sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers, université kasdi Merbah Ouargla, 78 pages.

- Siene L. A.C., Bertrand M., Ake S., 2010. Etude du développement et de la répartition de la biomasse chez deux variétés de mil de longueur de cycle différente sous trois densités de semis. In : *Journal of Applied Biosciences* 35: 2260 – 2278, 19 pages.
- 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 pages.
- Tostain s. Et marchais l., 1993. Evaluation de la diversité génétique des mils (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Au moyen de marqueurs enzymatiques et relations entre formes sauvages et cultivées. Laboratoire Ressources Génétiques et Amélioration des Plantes Tropicales ORSTOM;BP 5045 – 34032, Montpellier Cedex 1, 24 pages.
- Toure I., 2013. Caractérisation des cycles de développement de variétés de mil (*Pennisetum glaucum* L.). Mémoire de fin d'études, Université de Thiès, ISFAR de Bambey
- Traoré S., Bagayoko M., Coulibaly S.B. et Coulibaly A., 2015. Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest: une condition sine qua none pour l'augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture à base de mil. 26 pages
- UNIFA, 2005. Raisonement de la fertilisation. Edition, unifa, 05 pages.
- Williams R.J., Frederiksen R.A., Girard J.C., 1978. Manuel d'identification des maladies du sorgho et du mil. Bulletin d'information n°2 88 pages.
- 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 Chemical Sciences*, 8(4): 1620-1632, 13 pages.

ANNEXES

DISPOSITIF EXPERIMENTAL



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: longueur : 7,2 m ; largeur : 5,4 m	Distance entre blocs = 1,5 m
Superficie totale : 76,8 m X 24,6 m	Distance entre unité expérimentale dans un bloc = 1 m
A1 : 0 T/ha (pas de fumier d'étable, FE); A2 : 5 T/ha (80 kg de FE/par grande parcelle) ; A3 : 10 T/ha (160 kg de FE/par grande parcelle)	F1 : sans engrais (témoin absolu) ; F2 : 75 kg/ha NPK+50 kg/ha urée (50% DR) ; F3 : 150 kg/ha NPK+100 kg/ha urée (DR) ; F4 : 225 kg/ha NPK+150 kg/ha urée (150% DR)

