Université Cheikh Anta Diop de Dakar

Faculté des Sciences et Techniques

Département de Biologie Végétale

EFFETS DE TECHNOLOGIES AGROFORESTIERES ET DE BONNES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA FERTILITE DES SOLS ET LES PARAMETRES AGRO-MORPHOLOGIQUES DU MIL (*PENNISETUM GLAUCUM* (L.) R. BR.) DANS LE TERROIR DE NGUICK, BASSIN ARACHIDIER DU SENEGAL

Mémoire présenté et soutenu publiquement le 25 juillet 2020 au département de Biologie Végétale pour l'obtention du diplôme de

Master en Agroforesterie, Ecologie, Adaptation

(AFECA)

Par :

Mlle Aminata BEYE

Devant le jury composé de :

Président : M. Daouda NGOM	Maître de conférences	UCAD/FST
Membres : M. Sékouna DIATTA	Maître-assistant	UCAD/FST
M. Tamsir MBAYE	Chargé de recherches	ISRA/CNRF
Mme Marième Fall BA	Chargée de recherches	ISRA/CNRF

****

Directeur de mémoire : Dr Tamsir MBAYE, Chargé de recherches (ISRA),
Co-directrice : Dr Marième Fall BA, Chargée de recherches (ISRA),
Co-directeur : Dr Sékouna DIATTA, Maitre-assistant (UCAD)

DÉDICACES

À la mémoire de mon père, Maguette BEYE pour son amour et ses sacrifices à mon égard. Tu es parti trop tôt pour moi Papa. Que le bon Dieu te garde dans son vaste paradis.
À ma très chère mère, Mbassa BEYE, ma référence en tant que Femme, mon point de départ. Maman, même si tu n'as ni salaire ni promotion, tu es vitale pour ta famille et pour le bien-être physique, affectif et spirituel de tes enfants. Tu es une femme digne, brave, dévouée, tu as affectueusement accompli ton devoir. Je suis très fière de faire partie de ta progéniture.

À tous mes frères que j'aime énormément, particulièrement à mon adorable, mon meilleur Daouda BEYE. Tu as joué en même temps le rôle de grand frère et de père en mon égard et je t'en suis très reconnaissante. Sans toi, je n'aurais pas abouti à ce stade d'études. Tu as fait de ta famille ta priorité et tu t'es toujours sacrifié pour notre bien-être. Je prie Dieu, le Miséricordieux, qu'Il t'apporte récompense, car la mienne ne sera jamais complète.

À ma très chère sœur Yacine BEYE, mon amie, ma confidente, ma complice. Des mots ne sauraient exprimer tout l'amour que je porte pour toi, partenaire.

À ma grand-mère Nogaye KHOULÉ, mes oncles, mes tantes et cousin (es).

À mes belles-sœurs qui me sont très chères...

À celle avec qui j'ai partagé les bons et mauvais moments : ma cousine Soda BEYE. Je t'adore mon acolyte...

À mon adorable tante Mame Diarra Bousso BEYE, tu es une femme exceptionnelle. Tu es restée invariable et constante. Merci infiniment à toi, à ton généreux époux tonton Moussa POUYE ainsi que toute votre famille pour l'accueil à Dakar. Merci aussi pour tout le soutien moral, matériel et financier que vous me portez.

Je vous aime fort.

Je vous dédie solennellement cet humble travail !!!

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, il nous plaît d'exprimer notre reconnaissance à l'Eternel qui a manifesté son Amour à notre égard, nous voudrions Lui témoigner notre Foi et Lui rendre continuellement grâces.
L'accomplissement de cette étude n'aurait jamais été possible sans une collaboration fructueuse entre l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) et le Centre National de Recherches Forestières de l'Institut Sénégalaise de Recherches Agricoles (CNRF/ISRA). Ainsi, nous remercions l'UCAD à travers le corps professoral de la Faculté des Sciences et Techniques (FST), les autorités du département de Biologie Végétale (BV) et les Coordonnateurs du Master AFECA pour leur disponibilité durant toute notre formation.
Nous remercions également les autorités de l'ISRA à travers son Directeur Général Dr Alioune FALL pour avoir accepté notre demande de stage et les responsables du Projet COPIL/DV pour avoir entièrement financé nos travaux.

Par des honneurs d'exception, nous allons remercier très cordialement les personnes ci-après :
Dr Sékouna DIATTA, pour avoir accepté et assuré l'encadrement de ce mémoire. Nous tenions à le remercier pour son engagement à nos côtés et son soutien tout au long de la formation. Merci pour la disponibilité constante, pour la rigueur dans l'organisation et la qualité des enseignements dispensés. Merci pour la confiance et l'expérience que vous nous avez accordée. Les mots me manquent Monsieur pour vous dire toute ma reconnaissance « *Emiteye thiami* ».
Dr Tamsir MBAYE, nous lui remercions de nous avoir acceptée dans son équipe sans trop de protocole, d'avoir enrichi nos connaissances et de nous avoir guidée durant tout le stage. Il est l'encadreur qui a réussi à nous inspirer, en nous donnant confiance en soi et en l'avenir mais aussi qui a réussi à nous donner l'envie de continuer dans la recherche et dans le monde de l'agroforesterie. Au-delà de ses qualités humaines, son savoir scientifique a été d'un grand apport. Merci pour la confiance et pour l'expérience enrichissante et plein d'intérêts qu'il nous a fait vivre durant notre période de stage. Par votre bienveillance, nous remercions tous les membres du projet COPIL/DV.
Dr Marième Fall BA, co-encadreur de ce travail. Merci de nous avoir montré les clés du succès : avoir confiance en ses capacités, croire en soi et tenter de se dépasser... Ses conseils nous ont été d'une grande utilité. Son œil critique et ses suggestions nous ont permis de mieux structurer le travail et d'améliorer la qualité des différentes sections de ce document. Nous lui sommes sincèrement reconnaissante pour ce climat chaleureux dans lequel nous avons travaillé.

Dr Dioumacor FALL, co-encadreur de ce travail. Les plus grandes leçons ne sont pas tirées d'un livre mais d'un encadreur tel que lui. Merci pour sa supervision, sa pédagogie et son orientation. Ses critiques et suggestions ont éveillé en nous un esprit de réflexion scientifique et nous ont permis d'améliorer considérablement la qualité scientifique de ce document. Merci infiniment pour sa disponibilité et sa rigueur.

Dr Mame Samba MBAYE, chef de Département de Biologie Végétale de l'UCAD malgré ses nombreuses occupations a tenu à nous prodiguer quelques conseils qui nous ont été très utiles. Nous sommes très fières de lui et de tous nos professeurs qui sont toujours aux services des étudiants.

Pr Daouda NGOM, pour sa disponibilité, ses conseils et innombrables encouragements tout au long de la formation. Il est un excellent professeur que beaucoup d'étudiants aimeraient avoir. Heureuse qu'il ait été mon professeur.

Dr Diaminatou SANOGO, directrice du CNRF, de nous avoir accueillie au sein de la structure. À travers elle, nous remercions tout le collège scientifique du CNRF, pour l'attention, l'accessibilité et la générosité dans la transmission du savoir. Nous pensons particulièrement à Pierre Maurice DIATTA, Dr Marcel BADJI, Baba Ansoumana CAMARA, Maimouna GNINGUE, Marième DRAME. Nos remerciements s'adressent particulièrement à mes camarades stagiaires : Anna MBOW, Aissatou DIAO, Mariètou THIOMBANE, Alpha SANE, Ndeye Amy NGOM, Ndeye Katérine NDIAYE, et Parfait MADINGOU pour les moments de solidarité et de sociabilité vécus ensemble.

Nous remercions également **Dr Nathalie DIAGNE**, directrice du CNRA et tout le personnel du laboratoire de Bambey qui nous a aidée dans les analyses de sol.

Nous formulons des prières à l'endroit de feu Professeur Léonard Elie AKPO, ancien coordonnateur du master Agroforesterie, Ecologie et Adaptation (AFECA).

Mes condisciples de **Master AFECA** 9ème promotion pour leur convivialité et leur sympathie, je porte en vous une réelle reconnaissance et de l'affection de par les bons moments passés ensemble.

Nous remercions également Monsieur Balla SALL, Maire de la commune de Ndiago pour la facilitation de l'accès aux documents d'orientations de la commune de Ndiago.

À ma famille d'accueil à Nguick (Kaolack). Nous ne pourrions manquer de remercier notre maman Ndeye Rama DIENE et toute sa famille ainsi que toutes les femmes de Nguick.

Nous allons simplement remercier tous nos amis de Thiès à Dakar, mes condisciples…

Toutes les humbles connaissances qui de près ou de loin ont apporté leurs prières et pierres à la rédaction de ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

Dédicaces i
Remerciements ii
Table des matières iv
Liste des abréviations et sigles vi
Table des illustrations vii
Liste des figures vii
Liste des tableaux vii
RÉSUMÉ viii
ABSTRACT ix
INTRODUCTION 1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 3
I.1 Généralités sur la fertilité des sols 4
I.1.1 Les constituants du sol et l'intérêt de leur gestion durable 4
I.1.2 La fertilité du sol 4
I.2 Les bonnes pratiques agricoles (BPA) 5
I.2.1 Fertilisation minérale naturelle : le phosphate de fond 5
I.3 Les technologies agroforestières (TAF) 7
I.3.1 La régénération naturelle assistée (RNA) 7
I.3.2 Amendement organique : utilisation de la biomasse ligneuse sous forme de bois raméal fragmenté (BRF) 9
I.4 Généralités sur le *Guiera senegalensis* J.F. Gmel 12
I.5 Généralités sur le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) 13
I.5.1 Origine, distribution, production et systématique 13
I.5.2 Caractéristique morphologique 14
I.5.3 Cycle de développement et écologie du mil 15
I.5.4 Utilisation du mil au Sénégal 16
I.5.5 Les contraintes de la production du mil au Sénégal 17
I.5.6 Les adventifs du mil : cas du *Striga hermonthica* (Delile) Benth. 17
CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES 19
II.1 Présentation de la zone d'étude 20
II.1.1 Situation géographique 20
II.1.2 Caractéristiques biophysiques 21
II.1.3 Matériel végétal 25
II.1.4 Matériel technique 25

II.2 Méthodes 26
II.2.1 Dispositif expérimental 26
II.2.2 Conduite de l'essai 27
II.2.3 Collectes de données 27
II.2.4 Détermination de la densité de *Striga hermonthica (Delile) Benth.* 29
II.2.5 Traitements des données 30
CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION 31
III.1 Résultats 32
III.1.1 Teneurs en éléments pariétaux et éléments chimiques des BRF de *G.senegalensis* 32
III.1.2 Effet des traitements sur l'évolution des paramètres physico-chimiques du sol en fonction du temps 32
III.1.3 Effet des traitements sur les variables morphométriques et sur le rendement de la matière sèche du mil 38
III.1.4 Corrélations entre les paramètres chimiques du sol et les composantes du rendement du mil. 39
III.1.5 Effet des traitements sur *Striga hermonthica* 40
III.2 Discussion 41
III.2.1 Effet des traitements sur l'évolution des paramètres chimiques du sol 41
III.2.2 Effet des traitements sur les variables morphométriques et sur le rendement de la matière sèche du mil 44
CONCLUSION 47
REFERENCE BIBLIOGRAPHIE 49
ANNEXE 55

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES

% : Pourcentage

°C : Degrés Celsius

AFECA : Agroforesterie Ecologie et Adaptation

ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

ANOVA : Analyse de variance

BA : Bassin arachidier

BRF : Bois Raméaux Fragmentés

BPA : Bonne pratique agricole

CILSS : Comité Permanent Inter Etats de lutte contre la Sécheresse dans le Sahel

CNRA : Centre National de Recherches Agricoles

CPCS : Commission de pédologie et de cartographie des sols

DAP : Phosphate diammonique

DAPSA : Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles

FAO: United Nations Food and Agriculture Organization

GSW : Global Soil Week

ICRAF : Centre International pour la Recherche en Agroforesterie

INP : Institut national de pédologie

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

NPK : Azote –Phosphore-Potassium

RNA : Régénération Naturelle Assistée

r : Coefficient de corrélation

SERPM : Société d'Etudes de Réalisation des Phosphates de Matam

TAF : Technologie agroforestière

TSP : Superphosphate triple

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 : Sac contenant du Phosphate de Matam utilisé dans la parcelle de Nguick et minéral issu du gisement 6
Figure 2 : Repérage et élagage-entretien des rejets de *G.senegalensis* avec deux tiges/souche dans la parcelle de Nguick 8
Figure 3 : Fragmentation des rameaux de *G.senegalensis* obtenus avec une machette à Nguick 11
Figure 4 : Jeune pied de *G.senegalensis* et rameau avec inflorescence et fruit 13
Figure 5 : Pieds de mil var souna 3 dans le terroir de Nguick 15
Figure 6 : Représentation schématique des principaux stades de développement du mil 16
Figure 7 : Inflorescence et infestation des plants de mil par *S.hermonthica* dans la parcelle de Nguick en 2018 18
Figure 8: Situation géographique de la zone d'étude 21
Figure 9 : Variabilité pluviométrique inter-annuelle de la période 1988 à 2018 de la région de Kaolack 22
Figure 10 : Diagramme ombrothermique de la région de Kaolack de 1988 à 2018 23
Figure 11 : Plan de masse du dispositif expérimental (BCR) de la parcelle de démonstration à Nguick 26
Figure 12 : Analyses et appareils de mesure des paramètres physico-chimiques du sol au laboratoire 29
Figure 13 : Evolution des paramètres (pH, C, N, P et MO) du sol en fonction des traitements en 2017 et 2018 dans la parcelle de démonstration à Nguick. 35
Figure 14 : Corrélations entre les paramètres chimiques du sol et les composantes du rendement du mil. 40
Figure 15 : Répartition de *Striga hermonthica* dans les différentes unités expérimentales en 2018 40

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition des mois pluvieux à Kaolack en 2017 et 2018. 22
Tableau 2 : Traitements appliqués en 2017 et reconduits en 2018 26
Tableau 3 : Composition biochimique (%) des BRF de *G. senegalensis* 32
Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques initiales du sol dans la parcelle avant application des traitements en 2017 33
Tableau 5 : Effet des traitements sur les bases échangeables en fonction des années 37
Tableau 6 : Effet des traitements sur les variables morphométriques du mil en 2017 et 2018 ... 38
Tableau 7 : Effet des traitements sur le rendement en matière sèche (kg/ha) en fonction des traitements en 2017 et 2018 39

RÉSUMÉ

Au Sénégal, la dégradation physique, chimique et biologique des terres a été signalée comme une des causes de la baisse de la fertilité des sols. C'est le cas dans le centre Sud du Bassin arachidier où la pauvreté des terres cultivables en matière organique entraine un impact négatif sur leur productivité surtout dans le contexte de changement climatique. Compte tenu du rôle que joue l'agriculture dans l'amélioration de la sécurité alimentaire, il est indispensable de développer des stratégies pour y remédier. Ainsi, notre étude vise à évaluer l'effet de technologies agroforestières et de bonnes pratiques agricoles sur l'évolution des propriétés physico-chimiques du sol et, par conséquent, sur le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* L. R. Br. var Souna 3) dans un terroir du Bassin arachidier pendant 2 années consécutives (2017 et 2018). La méthodologie a consisté à mettre en place un dispositif expérimental en bloc complètement randomisé avec quatre traitements (BRF de *Guiera senegalensis* à 1t/ha, RNA de *G.senegalensis* à 120 pieds/ha, Phosphate de fond à 400 kg/ha et Témoin). Des échantillons de sol prélevés à l'horizon 0-20 cm des parcelles permanentes avant l'application des traitements et après chaque récolte ont été analysés pour déterminer leurs paramètres chimiques. Les paramètres agronomiques du mil ont été déterminés après la récolte et pour chaque traitement. Les résultats obtenus deux ans après application montrent que l'acidité des sols amendés avec les BRF a été réduite de façon significative à travers l'augmentation du pH (+9,8 %) comparé à l'état de référence. Une évolution positive très significative de la matière organique (MO) est observée au fil du temps avec les traitements RNA ($p=8,34^{e}$-06) et Phosphate de fond ($p=9^{e}$-04). Cependant, les BRF qui enregistrent la meilleure teneur en matière organique, avec un taux d'évolution de +145,5 % entre 2017 et 2018, ne présentent pas de différence significative (p=0,183) sur l'évolution de la MO. Les teneurs en azote total augmentent au cours du temps avec tous les traitements excepté le traitement BRF en deuxième année. Le carbone total et le phosphore assimilable diminuent chez tous les traitements au fil du temps. La diminution du C n'est significative qu'avec le Témoin (p=0,004), alors que celle du P assimilable est significative chez tous les traitements sauf les BRF (p=0,718). Du point de vue agronomique, les paramètres agro-morphologiques du mil notamment le nombre de talles et le diamètre au collet des tiges sont significativement plus importantes en deuxième année qu'en première année sous l'effet des traitements (RNA, BRF et Phosphate naturel). En revanche, la croissance en longueur des tiges et la longueur des épis a été plus élevée en première année. En deuxième année, seule l'application du Phosphate de fond a permis une augmentation significative ($p= 5,65^{e}$-15) de +7,9 % de matière sèche aérienne du mil comparé au témoin. Cette étude montre que l'utilisation judicieuse de technologies agroforestières et de bonnes pratiques agricoles pourraient être une solution pour améliorer durablement les propriétés du sol et la productivité agricole.

Mots clés : Agroforesterie – Fertilité – Régénération Naturelle Assistée – Bois Raméal Fragmenté — Mil (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.) – Sénégal

ABSTRACT

In Senegal, physical, chemical and biological degradation of the land has been reported as one of the causes of soil fertility decline. This is the case in the south central Groundnut basin where low organic matter of arable land has a negative impact on their productivity, especially in the context of climate change. Given the role that agriculture plays in improving food security, it is essential to develop strategies for increasing millet yields. The aim of our study was to assess the effects of agroforestry technologies and good agricultural practices on soil chemical properties and, consequently, on millet yields (*Pennisetum glaucum* LR Br. Var Souna 3) in a locality located within the Groundnut basin for 2 consecutive years (2017 and 2018). The study was conducted as a completely randomized block design with four treatments (Ramial Chipped Wood (RCW) of *Guiera senegalensis* at 1 t/ha, Farmer Managed Natural Regeneration (FMNR) of *G. senegalensis* at 120 seedlings/ha, pre-plant phosphate application at 400 kg/ha and Control). Soil samples were collected at 0-20 cm depth from the permanent plots prior to treatments and at harvest and were analyzed to determine their chemical properties. Agronomic parameters of millet were determined at harvest and for each treatment. The results obtained two years after application showed that FMNR significantly reduced soil acidity of soils amended with RCW has been reduced significantly through the with a 9.8 % increase in pH compared to the reference state. FMNR also induced a very significant positive change in organic matter (OM) ($p = 8.34e-06$) and pre-plant phosphate ($p = 9e-04$) treatments over time. However, the RCW with the highest OM content (+145.5% increase between 2017 and 2018) did not significantly increase ($p = 0.183$) OM content. Total nitrogen levels increased over time in all treatments except for the RCW treatment in the second year. Total carbon and available phosphorus decreased in all treatments over time. Total C significantly decreased only in the control treatment ($p = 0.004$), while available P was significantly reduced in all treatments except RCW ($p = 0.718$). From an agronomic perspective, the agro-morphological parameters of millet, particularly, the number of tillers and stem diameter were significantly greater in the second year than in the first year under FMNR, RCW and phosphorus treatments. On the other hand, the length of stems and ears were higher in the first year. In the second year, only pre-plant phosphate significantly ($p = 5.65e-15$) increased millet dry mass (up to + 7.9 %) compared to control. This study demonstrated that the judicious use of agroforestry technologies and good agricultural practices could be a solution to sustainably improve soil properties and agricultural productivity.

Keywords: Agroforestry - Fertility - Farmer Managed Natural Regeneration - Ramial Chipped Wood- Millet (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.) - Senegal

INTRODUCTION

Près du quart (24 %) des terres du monde sont touchées par la dégradation des sols, ce qui a une incidence négative sur les moyens de subsistance de 1,5 milliard de personnes dans le monde (ICRAF, 2019). Selon cet auteur, la dégradation des sols en particulier, celle liée à la mauvaise gestion des sols, est largement reconnue comme le facteur le plus déterminant pour limiter la production agricole en Afrique subsaharienne. En plus, cette dégradation participe à la baisse des superficies cultivables. Au Sénégal, les terres arables occupent 19 % du territoire (FAO et ISRA, 2008) soit 3,8 millions d'hectares au moment où la superficie des terres dégradées a évolué et atteint 2,44 millions d'hectares (Diouf et *al*., 2014). Dans certains terroirs du Sud du Bassin arachidier, le manque d'eau et la baisse de la fertilité des sols sont des facteurs très limitants dans la production agricole. En plus, on note la disparition presque totale de la pratique de la jachère de longue durée du fait de la pression démographique et les pratiques de cultures continues (ISRA, 2008; Ndiaye, 2018). Ces facteurs accentuent l'impact du changement climatique sur cette zone en diminuant le stock de matière organique du sol et, par conséquent, sa capacité à séquestrer le carbone. Cette situation entraîne l'appauvrissement des sols, conduisant à la paupérisation et à la marginalisation des populations affectées. Ainsi, l'appauvrissement en éléments nutritifs étant un aspect principal de la dégradation du sol, la durabilité de l'agriculture peut être mise en danger si la culture continue n'est pas associée à l'utilisation de pratiques adéquates de restauration des sols. Existe-t-il de pratiques capables de favoriser de bon rendement tout en minimisant les effets négatifs sur le sol ? Une des réponses à cette question serait l'utilisation de Technologies Agroforestières (TAF) et de Bonnes Pratiques Agricoles (BPA) comme une alternative pour gérer durablement les sols. Pour ce faire, des travaux récents ont montré l'importance de ces pratiques sur le sol et sur les cultures dans le Bassin arachidier. Parmi ces études, on peut citer l'application de bois raméaux fragmentés (BRF) comme amendements organiques (Ba et *al*., 2014; Thiaw, 2018) et la régénération naturelle assistée (RNA) des espèces ligneuses en association avec les cultures (Camara, et *al*., 2017; Diakhaté, et *al*., 2018; Chapuis-Lardy et *al*., 2019). Ces technologies agroforestières et bonnes pratiques agricoles font partie des solutions existantes dans le champ de l'agroécologie. Elles ont pour but d'augmenter la teneur en matière organique dans les sols afin d'améliorer les propriétés physico-chimiques du sol favorable à une bonne production agricole. Cela permettra à terme d'adapter l'agriculture aux dérèglements climatiques et d'assurer aux populations une sécurité alimentaire. Dès lors, il s'avère nécessaire de poursuivre la recherche sur l'utilisation de TAF et de BPA accessibles aux populations rurales à faibles revenus afin de lutter contre la dégradation de leurs terres de culture.

L'objectif général de cette étude est donc de contribuer à la réduction de la pauvreté et à l'atteinte de la sécurité alimentaire par l'amélioration de la fertilité des sols dans le Bassin arachidier du Sénégal. Il s'agira de façon spécifique d'évaluer, dans la parcelle de démonstration de Nguick, les effets des technologies agroforestières (TAF) et bonnes pratiques agricoles (BPA) sur (i) les paramètres chimiques du sol et (ii) agro-morphologiques du mil.

Pour atteindre les objectifs assignés, l'étude s'est basée sur deux hypothèses :

- ✓ Les TAF et les BPA permettent d'améliorer le niveau de matière organique du sol sur deux années d'études ;
- ✓ Les TAF et les BPA ont un effet positif sur le rendement du mil.

Le présent document est organisé en trois chapitres, en plus de l'introduction générale, de la conclusion et des perspectives. Le premier fait une synthèse bibliographique portant sur des généralités sur la fertilité des sols, les technologies agroforestières, les bonnes pratiques agricoles, le mil, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) et *Guiera senegalensis* J.F Gmel. Le deuxième chapitre traite du matériel utilisé et de la démarche méthodologique alors que le troisième présente les principaux résultats obtenus, notamment ceux des effets des traitements appliqués sur les paramètres chimiques du sol et les composantes du rendement du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) variété Souna 3 à Nguick (Ndiago) en 2017 et 2018 et leur discussion.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Généralités sur la fertilité des sols

I.1.1 Les constituants du sol et l'intérêt de leur gestion durable

Le sol est composé d'organismes vivants, de minéraux, de matières organiques, d'air et d'eau, et rend un certain nombre de services environnementaux, sociaux et économiques essentiels à la croissance des plantes. Il constitue le plus grand réservoir terrestre de carbone organique ce qui est crucial pour réduire l'importance du changement climatique et limiter ses impacts. Les sols servent aussi à stocker, filtrer et réguler le cycle de l'eau ainsi que les cycles du carbone, de l'oxygène et des éléments nutritifs utiles aux plantes (IFA et UNIFA, 2015). La gestion agricole influence fortement sa structure. Les systèmes de production agricoles conventionnels ont occasionné une importante dégradation du sol en favorisant la perte de la matière organique et la disparition progressive de la terre arable. Toutefois il est nécessaire de contrôler et de combattre cette dégradation afin d'augmenter la durabilité de l'agriculture. Les systèmes de gestion agricole peuvent jouer un rôle important dans la prévention de la dégradation du sol, à condition que des pratiques appropriées soient adoptées (Jeffery et *al.*, 2010). Les bienfaits de l'amélioration de la structure du sol sur la croissance des plantes comprennent :

- La réduction du risque d'érosion grâce à l'augmentation de la cohésion des agrégats et à la diminution du ruissellement de surface ;
- L'amélioration de la pénétration des racines, ainsi que de l'accès à l'humidité et aux nutriments du sol ;
- L'amélioration de la levée des semis grâce à la réduction de la formation de croûtes de surface (battance) ;
- L'amélioration de l'infiltration, de la rétention et la disponibilité de l'eau, grâce à bonne porosité du sol.

I.1.2 La fertilité du sol

Le sol possède des propriétés physiques, chimiques et biologiques qui déterminent sa fertilité. La fertilité désigne la capacité du sol à produire durablement des récoltes de qualité (Cornelis, 2001). Selon Delville, (1996), on ne peut pas quantifier la fertilité d'un sol qui renvoie à la fois aux caractéristiques de sol et à ce qu'en fait l'agriculteur (culture et techniques). Pour les agronomes, la fertilité n'est pas un concept agronomique, d'où son abandon de plus en plus pour parler d'aptitudes culturales, c'est-à-dire de la capacité d'un sol à produire telle culture, avec telle technique (Sebilotte, 1993 ; Delville, 1996). C'est ainsi qu'il est important de faire un diagnostic du milieu avant l'application des technologies pour une utilisation efficiente des fertilisations.

I.2 Les bonnes pratiques agricoles (BPA)

Les techniques de gestion durable de l'espace agricole ont été regroupées sous la forme d'un paquet technologique dénommé les bonnes pratiques agricoles (BPA). Ces dernières ont été définies selon la FAO comme étant « des pratiques qui permettent de satisfaire les besoins actuels, d'améliorer les moyens d'existence, tout en préservant l'environnement de façon durable ». De façon spécifique cette notion fait appel à une gestion durable de la fertilité des sols, une lutte intégrée contre les ravageurs des cultures ainsi que la maîtrise des itinéraires techniques des cultures (Nacro et *al*., 2010). Les bonnes pratiques agricoles (BPA) constituent un ensemble de règles à respecter dans l'implantation et la conduite des cultures ou d'élevage de façon à optimiser la production agricole, tout en réduisant le plus possible les risques liés à ces pratiques, tant vis-à-vis de l'homme (piliers social et économique de la durabilité) que vis-à-vis de l'environnement (pilier écologique de la durabilité). En Afrique subsaharienne, plusieurs technologies sont mises en œuvre pour améliorer la fertilité des sols dans le but d'augmenter les rendements des cultures (CILSS, 2012). Parmi ces pratiques, on peut citer la fertilisation minérale naturelle, ou organique. Dans cette étude, la fertilisation minérale naturelle de phosphate de fond a été utilisée comme bonne pratique agricole.

I.2.1 Fertilisation minérale naturelle : le phosphate de fond

La fertilisation vise à améliorer la fertilité du sol et la nutrition des plantes. L'apport d'engrais fournit des éléments nutritifs pour la nutrition des plantes et, à la suite, les animaux et les hommes (FAO, 2015). La quantité de matière organique recyclée dans le sol est généralement très faible et les engrais phosphatés non subventionnés sont inaccessibles aux paysans. Dans ces conditions, l'utilisation des phosphates naturelles est à promouvoir en raison de l'importance des gisements d'Afrique de l'Ouest (Guissou et *al*., 1998).

a) Importance et composition du phosphate de fond ou phosphate de Matam

Le phosphore est naturellement présent dans certaines roches (ignées ou sédimentaires). Le sous-sol sénégalais possède d'importants gisements de phosphates. Parmi ces gisements figure le phosphate naturel de Matam découvert en 1937 par le BRGM (Bureau de Recherches géologiques et Minières de Dakar) au Sud de Matam (ISRA-CNRA, 1991). L'importance des phosphates naturels (PN) vient du fait qu'ils contiennent des minéraux phosphatés nécessaires à la croissance des plantes. Le phosphate de Matam est très riche en P_2O_5 et sa teneur varie de 13 à 32 % en moyenne (ISRA-CNRA, 1991). Dans un contexte de baisse de la fertilité des sols face à une carence de ces derniers en phosphore et au coût des engrais solubles chimiques, les amendements à base de phosphates naturels semblent être une voie prometteuse. Ainsi parmi les vingt éléments

indispensables à la vie des plantes, le phosphore (P) est celui dont la seule fraction biodisponible influence les prélèvements de P par les cultures et les rendements (Compaoré, et *al.*, 2001). Le phosphore (P) est le cinquième élément composant la matière vivante. Quelle que soit sa forme, l'atome de P est toujours associé à des atomes d'oxygène pour former le groupement phosphate PO_4^{3-} (Plassard et *al.*, 2015).

b) Utilisation du phosphate de Matam en agriculture

Des opérations de phosphatage de fond à grande échelle ont été conduites en milieu paysan pour reconstituer des réserves en phosphore des sols agricoles (Guissou et *al.*, 1998). Ainsi, l'utilisation des Phosphates naturels connaît un regain d'intérêt en Afrique de l'Ouest.

L'agriculture au Sénégal est marquée par une faible productivité au moment où la croissance de la production agricole est restée inférieure à celle démographique au cours des trois dernières décennies. Ainsi, une intensification agricole durable est indispensable pour parvenir à la fois à une grande sécurité alimentaire et à une meilleure compétitivité du secteur tout en assurant la préservation de l'environnement. Etant donné que le phosphate de Matam est non polluant, pulvérulent, sec et dépourvu de cherts, il peut être utilisé directement en agriculture comme fertilisants naturels pour amender des sols pauvres. Des études menées en 2009 par l'Institut Sénégalais de Recherches Agricole (ISRA) et l'Institut National de Pédologie (INP) ont montré que les phosphates de Matam sont aptes à une utilisation directe (figure 1) sur tous les types de sols sénégalais. La dose optimale d'épandage des phosphates de Matam préconisée actuellement par l'INP est de 400 kg/ha et tous les 4 ans (Rapport INP, 2009). Des études ont prouvé l'efficacité de l'application directe du phosphate de Matam en culture pluviale sur les rendements de maïs et de cotonnier avec une dose de 200 kg/ha (ISRA/CNRA, 1991). Il a été aussi démontré qu'en riziculture irriguée, des réponses satisfaisantes s'observent dès la première année et des arrières-effets, comparables ou supérieurs aux réponses obtenues avec les fertilisants hydrosolubles commercialisés (TSP, DAP, NPK) (Sow et Lagnane, 2010).

Figure 1 : Sac contenant du Phosphate de Matam utilisé dans la parcelle de Nguick à gauche ; Minéral issu du gisement (a) et échantillon du Phosphate Naturel de Matam granulé (b) à droite, (SERPM-SA, 2009)

I.3 Les technologies agroforestières (TAF)

« *L'agroforesterie* *comprend tous les systèmes et pratiques d'utilisation des terres dans lesquels des plantes ligneuses pérennes sont délibérément cultivées sur des parcelles également exploitées pour des productions agricoles et/ou animales, qu'il s'agisse d'une association spatiale ou temporelle. Il doit exister des interactions d'ordre écologique et économique entre les éléments ligneux et les éléments non ligneux* ». Cette définition, proposée par Lungren et Raintree en 1982 et reconnue par le Centre International pour la Recherche en Agroforesterie (ICRAF), démontre clairement la nature complexe de l'agroforesterie (Mary et Besse,1996). Mettre en œuvre l'agroforesterie c'est s'assurer d'un engagement dans le temps pour une agriculture durable qui protège les sols, préserve la qualité de l'eau, favorise la biodiversité et stocke du carbone. Une technologie agroforestière définit un ensemble d'indications concernant les rôles, la disposition et la gestion des associations agroforestières. Outre les multiples rôles de l'arbre dans la gestion et la conservation de l'eau et du sol, le développement de technologies agroforestières constitue une alternative intéressante pour les producteurs dans la recherche de solutions durables aux nombreuses contraintes liées directement ou indirectement au déficit pluviométrique et à la dégradation des sols (www.worldagroforestry.org). L'application des technologies agroforestières permet i) de réduire la pauvreté, ii) d'accroître la sécurité alimentaire et iii) d'améliorer la capacité de résilience de l'environnement. L'introduction des arbres dans les systèmes de production au Sénégal pourrait ainsi constituer une bonne stratégie pour améliorer la fertilité des sols et contribuer au développement d'une agriculture durable.

I.3.1 La régénération naturelle assistée (RNA)

a) Définition et différentes formes d'utilisation de la RNA

La régénération naturelle assistée est une activité qui consiste à promouvoir et à protéger les jeunes pousses des espèces ligneuses dans les champs de culture, afin de contribuer efficacement à la régénération des sols dégradés et à la satisfaction des besoins en produits forestiers, sachant qu'une population de plus en plus importante exploite une ressource de plus en plus rare (Bakhoum, 2012). La RNA se base sur des souches existantes où des rejets naturels sont sélectionnés, élagués et protégés pour accélérer la croissance contrairement à la pratique conventionnelle des paysans qui était de couper systématiquement les rejets lors de la préparation des champs (Larwanou et *al.*, 2010 ; Ba, 2015). Les différentes étapes de la réalisation de la RNA sont : i) le repérage et la sélection des rejets à protéger (figure 2a) ; ii) la coupe des rejets non sélectionnés ; iii) l'entretien et l'élagage des rejets sélectionnés (figure 2b) chaque année (Diouf et *al.*, 2014). En effet l'adoption de la RNA dépend de l'objectif poursuivi par le paysan. De nombreuses études ont

montré l'importance de la RNA dans la récupération des terres dégradées au Sahel (Bakhoum et *al.*, 2012 ; Badji et *al.*, 2015 ; Savadogo et *al.*, 2015…), dans la pharmacopée, la construction, l'énergie, le fourrage (Sarr et *al.*, 2018), l'alimentation humaine (Samaké, et *al*, 2011) et l'amélioration des conditions de vie des populations (Sanogo et *al.*, 2019), qui sont les principales utilisations faites des espèces ligneuses entretenues et protégées dans les champs. Par ailleurs, Issoufou et *al.* (2013) et Ouedraogo et *al.* (2015) ont également montré que l'augmentation de la densité des arbres renforce la résilience des écosystèmes. À cet effet, une étude récente a été menée dans le Bassin arachidier dont l'objectif était d'évaluer l'impact de la RNA sur le reverdissement du terroir de Khatre Sy par Badji et *al.* (2015). Leurs études ont permis une amélioration de la densité des arbres dans les champs ouvrant de bonnes perspectives pour le reverdissement du bassin arachidier. La régénération des arbres dans les champs produit des impacts socio-économiques et biophysiques, mais aussi constitue un moyen d'adaptation aux effets du changement climatique (Somda et *al.*, 2014).

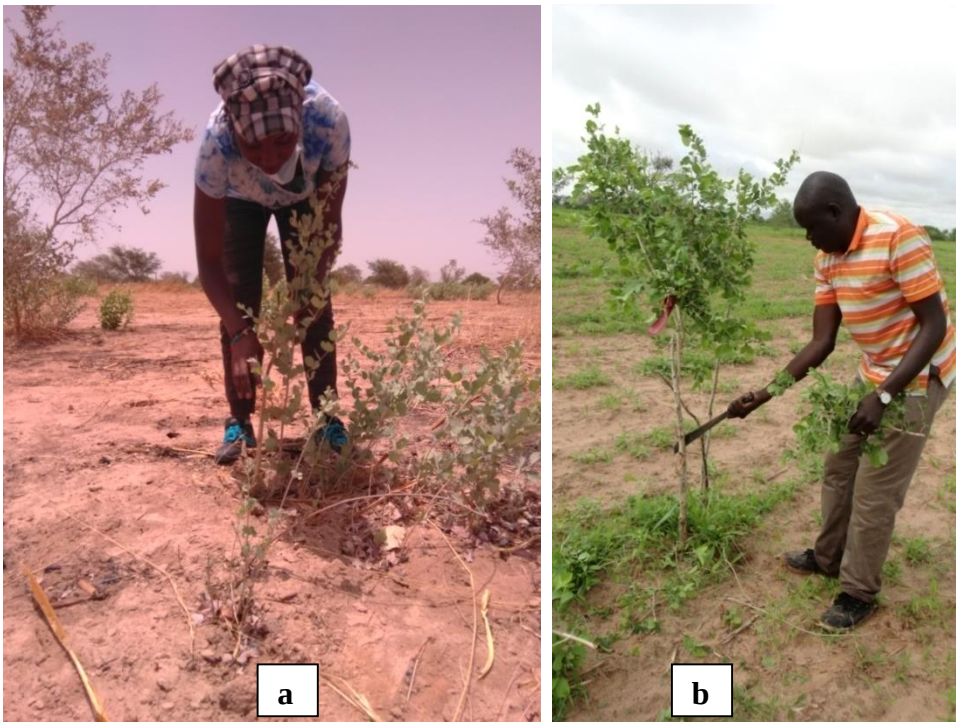


Figure 2 : Repérage (a) et élagage-entretien des rejets de *G. senegalensis* avec deux tiges/souche (b) dans la parcelle de Nguick

b) Apport de la RNA sur la fertilité du sol et sur le développement des cultures annuelles

L'eau du sol est une ressource importante qui impose des limites au rendement optimal des plantes dans les régions semi-arides. C'est pourquoi il est urgent de se diriger vers une optimisation de l'espace, et de laisser l'arbre se réimplanter là où il ne gêne pas, où il pourrait apporter des services remarquables. Ces arbustes sont des « îlots de fertilité » (produits chimiques du sol) qui présentent des taux de minéralisation élevés en C potentiel et libèrent des éléments nutritifs (Dossa et *al.*,

2009). L'association de culture de mil en présence des arbustes, avec paillis de *G. senegalensis* à Keur Matar et *P. reticulatum à* Nioro-du-Rip dans le Bassin arachidier, a permis d'augmenter les teneurs en carbone dans l'horizon superficiel du sol en moyenne de 11 % (*P. reticulatum*) à 127 % *(G. senegalensis*) entre 2012 et 2015 (Chapuis-Lardy et *al.*, 2019). Cependant, la décomposition et la minéralisation de cette matière organique varient en fonction de la composition des résidus de l'arbuste (rapport C/N, teneurs en polyphénols, lignine, hémicellulose et cellulose) (Diedhiou-Sall et *al.*, 2013). Il est intéressant de noter que l'association culturale permet d'élever les teneurs en nutriments, notamment N, K, Ca et Mg de manière significative dans les sols, aussi bien en présence de *G. senegalensis* que de *P. reticulatum* (Bright et *al.*, 2017). L'effet de la présence des arbustes est aussi notable durant la saison culturale sur les fractions assimilables par la plante (azote minéral et phosphates) (Bright et *al.*, 2017).

Dans certaines régions du Sahel, les arbustes forment une composante caractéristique des champs des agriculteurs et pourraient avoir une incidence sur la productivité des cultures (Kizito et *al.*, 2006). Au Sénégal, la production du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) et de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.), est plus importante chez les ménages adoptants la RNA que chez les non-adoptants (Sanogo et *al.*, 2019). La conservation et la gestion des rejets ligneux tel que *G.senegalensis* dans les champs à travers la RNA a permis d'améliorer le rendement en grain et en paille de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) dans le Bassin arachidier du Sénégal sur deux années d'études (Camara et *al.*, 2017). En plus de l'augmentation des rendements en grain et en paille du mil sous influence de *G.senegalensis*, l'association d'arbustes et les cultures favorisent un meilleur développement racinaire du mil mais également une utilisation optimale de l'eau au profit des cultures (Kizito et *al.*, 2006 ; Chapuis-Lardy et *al.*, 2019). Outre le *G. senegalensis* et le *P. reticulatum*, les effets bénéfiques de *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev. sont aussi observés sur le sol et sur les cultures (arachide et mil) au Sénégal par Louppe et *al*. (1988). La présence d'arbres dans les champs de culture permet d'enrichir le sol en matière organique provenant de la chute des feuilles et de l'élagage des branches.

I.3.2 Amendement organique : utilisation de la biomasse ligneuse sous forme de bois raméal fragmenté (BRF)

En agriculture, l'amendement est un apport de matières organiques au sol ayant pour but d'améliorer ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Ces nutriments qualifiés d'origine organique sont issus de la matière organique animale ou végétale. Les espèces ligneuses présentes dans les systèmes agroforestiers, peuvent être une source d'engrais vert qui peut contribuer à rehausser le statut organique des sols agricoles (Ba et *al.*, 2014).

a) Généralités sur les BRF

Le bois raméal fragmenté (BRF) est un amendement pédo-génétique (processus chimiques, physiques et biologiques qui, en interaction, aboutissent à la formation des sols) capable d'optimiser ou de régénérer un sol (Caron et Lemieux, 1999). Cependant, beaucoup le confondent avec les amendements organiques tels que le composte pour lequel les matériaux de base proviennent de diverses sources organiques. Les BRF n'ont rien en commun avec la traditionnelle « matière organique » comme les composts à titre d'exemple selon Lemieux et Lachante (2000) et Lemieux et Germain (2002). Le compost est utilisé pour nourrir la vie du sol et apporter des nutriments aux plantes tandis que le BRF peut reconstruire et maintenir la structure globale du sol, la fertilité à court, moyen et long termes et la stabilité du sol. Le BRF est une technologie proposée en 1985 par le professeur Gill Lemieux de l'Université de Laval-Québec. Il le définit comme étant l'ensemble des fragments de bois vert dont le diamètre est inférieur à 7 cm et broyés au frais. Ces rameaux broyés, sont incorporés immédiatement (méthode Sylvagraire) dans les premiers centimètres du sol ou épandus sous forme de paillis (méthode Sylvasol) sur le sol (Noel, 2005). Les BRF ne sont pas des « résidus forestiers » comme ils sont souvent qualifiés. Ils proviennent des parties de l'arbre, les branches, brindilles et feuilles riches en nutriments, sucres, protéines, celluloses et lignines qui ont tous un rôle précis et spécifique dans la constitution et le maintien des sols productifs. Ce n'est pas le cas des écorces, du bois de tronc, des sciures, des copeaux de rabotage ou de tout autre résidu d'origine industrielle, etc. (Lemieux et Germain, 2002). En effet le bois raméal qualifié de bois juvénile se distingue du bois de tronc, ou bois caulinaire par deux aspects principaux : d'une part la lignine y est différente, et moins bien étudiée et d'autre part la teneur en nutriments y est supérieure (Tissaux, 1996). C'est grâce à la fragmentation des rameaux (figure 3a et 3b) que les basidiomycètes peuvent amorcer le processus de biotransformation car les fibres étaient jusqu'alors protégés par les écorces. Les branches doivent être fragmentées jusqu'à 5 à 10 cm de longueur et avoir un diamètre inférieur à 7 cm.

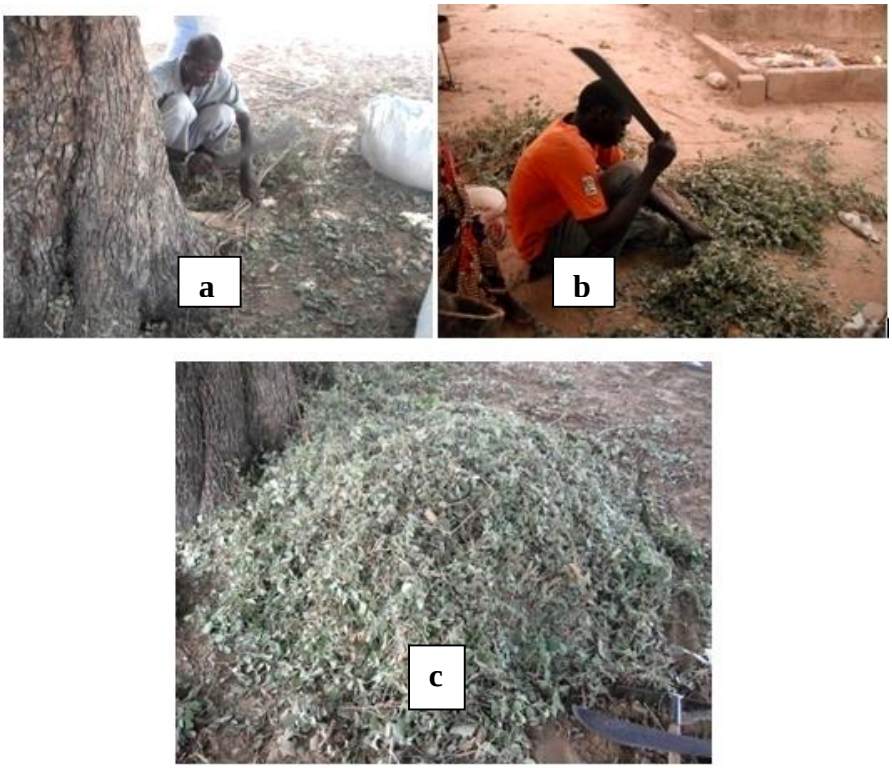


Figure 3: Fragmentation des rameaux (a, b) de *G.senegalensis* obtenus avec une machette à Nguick ; c=BRF de *G.senegalensis*

b) L'expérience du BRF au Sénégal

Au Sénégal, les premiers travaux sur le BRF ont été initiés en 1993 par le Dr Mamadou Amadou Seck et le Professeur Gilles Lemieux (Lemieux et Larochelle, 1996). Leurs études portaient sur l'essai de fertilisation organique avec les bois raméaux fragmentés de filao (*Casuarina equisetifolia* L.) dans les cuvettes maraichères des Niayes. En 2002, Soumare et *al.* ont mené une expérience pour étudier les effets des copeaux de bois raméaux et le compost de litière de *C.equisetifolia* sur la tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) et les propriétés du sol dans les Niayes. Ba et *al.* (2014) ont étudié les caractéristiques des bois raméaux fragmentés (BRF) de *G. senegalensis* et de *P. reticulatum* sur les propriétés chimiques et biologiques des sols ferrugineux tropicaux du Bassin arachidier sous serre et en station ainsi que leur influence sur la productivité du mil, *Pennisetum glaucum* (L.). Des travaux récents ont été également effectués dans le BA (Thiaw, 2018 ; Baldé, 2018) pour évaluer l'effet des BRF de *P. reticulatum* à l'état frais et pré-compostés sur le rendement du mil (*P. glaucum* L. var Souna 3) et le recouvrement en herbacées des sols.

Ces études menées au Sénégal sont axées principalement sur la fertilité des sols et la productivité des cultures dans la région des Niayes et dans le Bassin arachidier. Même si le Sénégal fait partie

des premiers pays qui ont eu à travailler sur le BRF, cette technique n'y est pas encore très développée. Son usage reste toutefois limité au niveau des producteurs.

c) Impact de l'apport des BRF sur le sol et sur les cultures annuelles

L'apport de BRF se base sur une série de mécanismes biologiques et biochimiques d'origine forestière. Les mécanismes sont au profit de l'agriculture afin de restaurer les sols dans leur logique originelle. Comme le souligne Noel (2005), le BRF est un amendement propre et naturel de premier ordre. Il participe grandement à l'humification, c'est le meilleur moyen d'apporter massivement du carbone aux sols agricoles. En effet, le BRF est très riche en carbone mais il contient aussi des nutriments et des oligo-éléments qui permettent de rééquilibrer le sol. Le BRF fixe l'azote dans la couche superficielle du sol, stimule la vie du sol, principalement les champignons et les vers de terre. Il améliore la structure du sol ainsi que sa porosité, diminuant de ce fait les risques d'érosion (Noel, 2005).

De nombreuses études font état d'augmentation de rendement suite à l'utilisation de BRF (Soumare et *al*., 2002...). Ainsi, Ba (2015) a montré que l'application des BRF de *G. senegalensis* impacte positivement sur le rendement du mil (nombre de talles, biomasses aérienne et racinaire) dans le Bassin arachidier. Cependant, la première année, le BRF peut avoir un effet négatif sur les rendements liés à l'azote mais qui peuvent être compensés aisément. Dès lors, par rapport au mil successivement cultivé dans la parcelle de Nguick, l'association du BRF et d'une première culture de légumineuse est idéale, elle favorise à la fois la culture et l'humification du BRF (Noel, 2005). L'application des BRF permet également de lutter efficacement contre les maladies des plantes (Seck, 1993).

I.4 Généralités sur le *Guiera senegalensis* J.F. Gmel

G. senegalensis J.F.Gmel, (Nguer en Wolof) est une espèce ligneuse, appartenant à l'embranchement des Angiospermes, à la classe des Dicotylédones, à l'ordre des Myrtales, à la famille des Combretaceae et au genre Guiera. C'est un arbuste buissonnant, dépassant rarement 4 m de hauteur, avec des feuilles opposées et une inflorescence globuleuse (Figure 4). Le fruit linéaire, à section lobée, peut atteindre 3,5 cm de long. Sa fructification atteint son optimum en novembre (Bationo, 1994). Espèce pionnière des jachères fréquemment rencontrées dans les systèmes agroforestiers sahéliens, il prospère dans les zones à strate arborée faible et soumise aux pressions anthropique et animale. Selon son degré d'abondance-dominance, il peut être favorable ou défavorable à l'installation d'autres espèces végétales. Ses principales formes de régénération

naturelle sont le marcottage et le rejet de souche. Ses usages et sa gestion sont connus des paysans. Son caractère buissonnant lié à sa croissance basitonée et son système racinaire à la fois pivotant et traçant favorisent l'édification de microbuttes, véritables sites privilégiés d'infiltration des eaux de ruissellement, de développement d'une faune édaphique et d'installation d'espèces herbacées mésophiles. Le bouturage de l'espèce est possible. Les graines germent à plus de 80 % sans prétraitement. La germination est de type cryptogame à cotylédons foliacés. Le pivot des plantules atteint 7 à 11 cm de profondeur avant le démarrage de la tigelle et atteint une profondeur de 53 cm en un mois et demi (1,25 cm/jours) sur sol faiblement tassé (Berhaut, 1975 ; Bonnet et *al*., 2008).

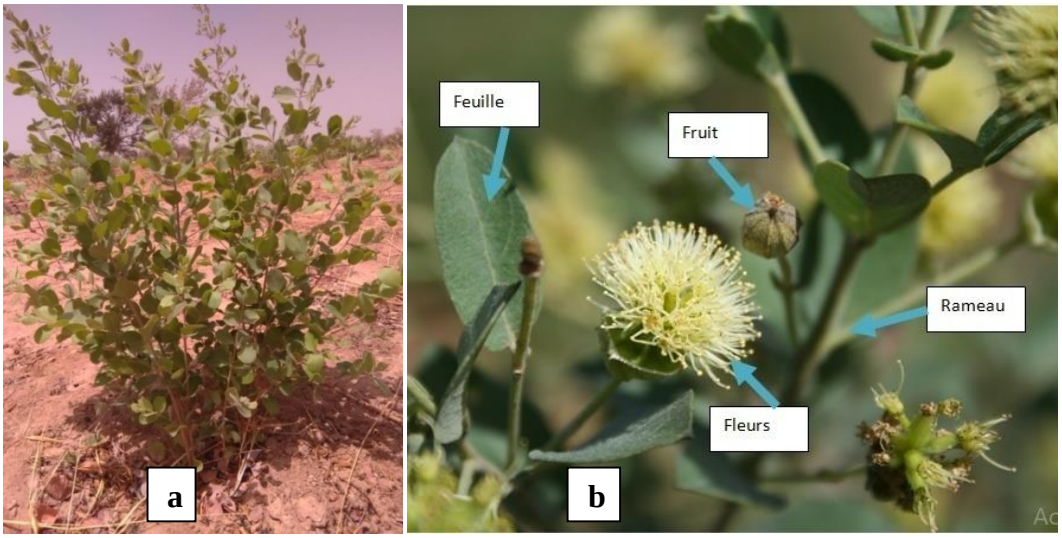


Figure 4 : Jeune pied de *G.senegalensis* (a) et rameau avec inflorescence et fruit (b)

I.5 Généralités sur le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.)

I.5.1 Origine, distribution, production et systématique

Le petit mil ou millet perle (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. encore appelé *Pennisetum americanum* (L.) Leeke, *Cencrus americanus* (L.) Morrone…) est une plante annuelle monocotylédone cultivée essentiellement dans les pays d'Afrique de l'Ouest et de l'Asie (Ndour, 2017). Le mil serait originaire de l'Afrique de l'Ouest (Tostain et Marchais, 1993). C'est une graminée très proche de sorgho avec lequel il partage souvent le terme générique de mil. C'est l'unique espèce diploïde avec x = 7 (2n = 14 chromosomes) de la section *Penicillariae* du genre *Pennisetum* de la famille des *Gramineae* (Tostain et Marchais, 1993). Le mil occupe la 7ème place parmi les céréales les plus importantes au monde (Kadri et *al*., 2019). Le mil est la céréale la plus répandue en Afrique tropicale sèche, semé annuellement sur plus de 15 millions d'hectares (Gupta, et *al*., 1980). Soixante-dix pour cent (70 %) des superficies de mil dans le monde se trouvent en

Afrique de l'Ouest (Diome, 2014). L'Inde est le plus grand producteur mondial de mil avec environ onze (11) millions de tonnes par an (Diome, 2014; Kane, 2014). La Chine produit environ 3,7 millions de tonnes par an (Diome, 2014). Alors qu'en Afrique, les principaux producteurs sont le Nigéria, le Niger, le Burkina Faso, le Sénégal et le Soudan (Kane, 2014). Le Sénégal produit en moyenne durant ces cinq (05) dernières années (2013-2017) 640170 tonnes par an (DAPSA, 2018). La production en 2017 est en moyenne 875484 tonnes contre 827601 en 2018 soit une variation de -5% entre ces deux années (DAPSA, 2018) avec des rendements moyens faibles de l'ordre de 630 kg/ha sur les quinze dernières années. Le mil vient au Sénégal au deuxième rang des cultures après l'arachide tant pour les surfaces cultivées que pour la production. La culture de mil est généralement pratiquée dans les zones comprises entre les isohyètes 250 mm et 900 mm qui correspondent aux zones Nord (région de Louga : 250 – 350 mm), Centre – Nord (région de Diourbel – Thiès : 400 – 500 mm), Centre Sud (régions de Kaolack – Fatick : 600 -700 mm) et la partie septentrionale au Sud et Sud-Est (région de Casamance – Tamba : 800 -900 mm) (Diome, 2014). Le mil pénicillaire est le plus cultivé de toutes les espèces de mil. Il a plusieurs autres noms : petit mil, mil à chandelle, mil perlé, souna... On abrège très souvent son nom ; il est alors simplement appelé mil. Sa position systématique est :

- ✓ **Embranchement :** Spermaphytes
- ✓ **Sous-embranchement :** Angiospermes
- ✓ **Classe :** Monocotylédones
- ✓ **Famille :** *Poaceae (Graminées)*
- ✓ **Sous-famille :** *Panicoideae*
- ✓ **Tribu :** *Paniceae*
- ✓ **Genre :** *Pennisetum*
- ✓ **Espèce :** *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.

I.5.2 Caractéristique morphologique

Culture pluviale à cycle court (85 et 95 jours), il est principalement cultivé dans la zone écogéographique du Bassin arachidier. Sa tige peut atteindre 242 cm (Figure 5) et la durée de son cycle à 50 % de floraison est de 56 jours. Sa chandelle, de forme conique mesure jusqu'à 52 cm (ISRA, 2012). Le mil présente une bonne tolérance à la chaleur et des besoins en eau par kg de matière sèche produit moins élevés que ceux du maïs et du sorgho. Le mil est une plante annuelle rustique à port dressé (Noba, 2002). La tige est épaisse et robuste à la base (10 à 20 mm) et sa taille à maturité varie de 1,50 m à 6 m (Siband, 1981). La tige porte des nœuds où sont logés des bourgeons qui peuvent donner naissance à des talles. Chaque nœud porte un bourgeon axillaire

susceptible, dans certaines conditions, de donner une pousse axillaire. Le mil peut produire jusqu'à 40 tiges par plant. Cependant, seules quelques talles (1 à 7 généralement) sont fertiles (Siband, 1981). Les feuilles mesurent en moyenne 100 cm de long et 10 cm de large. Le mil possède un système racinaire fasciculé plus important dans les 50 premiers cm du sol. Le front racinaire peut atteindre dans le cas des sols Dior (sol ferrugineux tropical, sableux (85 – 95 % de sables), à horizon humifère peu marqué) 150 à 200 cm et même 360 cm de profondeur (Siband, 1981).

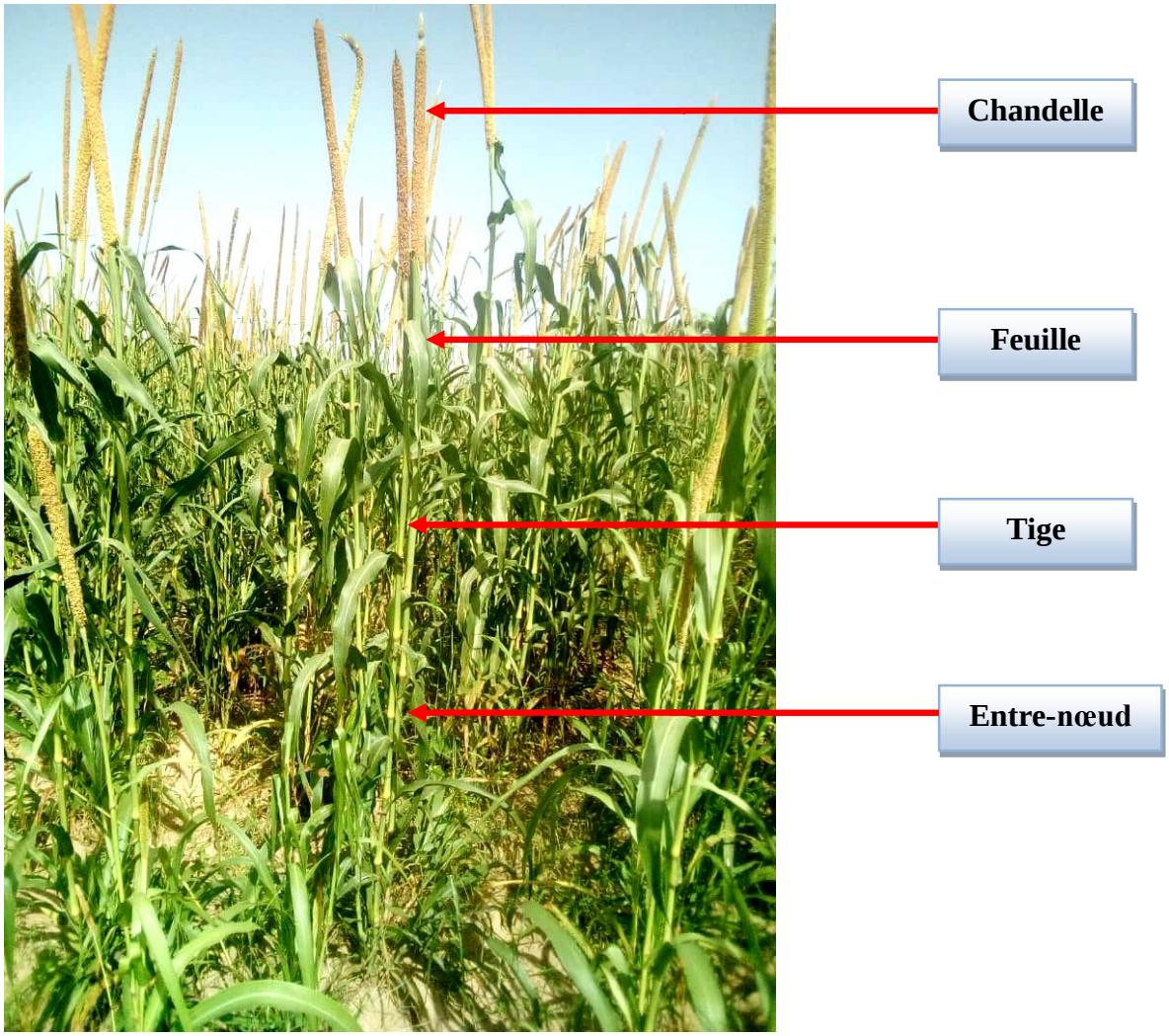


Figure 5 : Pieds de mil var souna 3 dans le terroir de Nguick

I.5.3 Cycle de développement et écologie du mil

Le cycle de croissance du mil comprend trois principales phases selon Maiti et Bidinger (1981) : la phase végétative qui va de la germination à l'initiation paniculaire, la phase reproductive qui va de l'initiation florale à la floraison et la phase de fructification qui va du remplissage des graines à la fin du cycle (Figure 6). Les durées de ces trois différentes phases peuvent dépendre de la variété mais généralement, elles sont plus ou moins égales pour une même variété (Ndour, 2017). Le mil est une plante rustique, peu exigeant du point de vue de la fertilité mais sensible au type de

sol. Ainsi, les meilleurs terrains à mil sont sableux. Contrairement au sorgho par exemple, le mil s'adapte bien sur les sols peu fertiles (sols gravillonnaires, très sableux, sablo-argileux, dégradés) les sols profonds, aérés, peu compacts et bien drainés. Elle souffre d'excès d'eau dans les bas-fonds. En termes de besoin hydrique, le mil se cultive à partir de 350 mm par an bien répartis sur 75 jours au minimum. Cependant, la gamme de pluviométrie propice reste 400 à 600 mm de pluie par an (Ganyo, 2014). Le mil talle peu ou pas du tout sur les sols durs et dégradés comme les zipellés. Son système racinaire joue un rôle important dans sa résistance à la sécheresse. Face à un déficit hydrique, la plante réagit par des mécanismes morpho-physiologiques d'évitement ou de tolérance. L'un des plus importants mécanismes est l'extension du système racinaire qui permet d'exploiter les réserves hydriques d'un plus grand volume du sol (Kane, 2014).

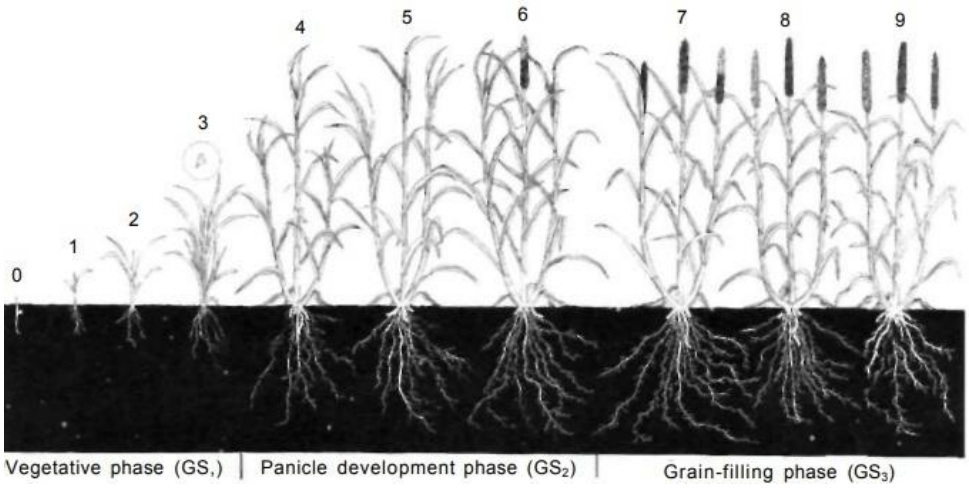


Figure 6 : Représentation schématique des principaux stades de développement du mil (Maiti et Bidinger, 1981)

Les chiffres 0 à 9 illustrent les stades de croissance : 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. L'élargissement entouré du stade 3 montre la forme en dôme de l'apex et la constriction à sa base, que l'on peut observer à ce stade de passage de la phase végétative à la phase de reproduction.

I.5.4 Utilisation du mil au Sénégal

Le mil est la base de l'alimentation des ménages ruraux dans le Bassin arachidier malgré une percée notable du riz dans les habitudes alimentaires. C'est la principale spéculation cultivée au centre du Sénégal plus précisément dans la région de Kaolack (Thioub, 2015) à côté du sorgho. Il est consommé essentiellement sous forme de couscous, de bouillies à base de farine ou de semoule. Le mil est un aliment très énergétique, nutritif et particulièrement recommandé pour les enfants et les personnes âgées. Il est aussi utilisé en alimentation animale mais de façon très secondaire. La façon d'apprêter le mil varie d'un pays à l'autre ou même à l'intérieur d'un pays donné. Cependant,

ses rendements sont plus faibles (400-600 kg/ha de grains) que ceux des autres céréales (80 % du rendement moyen des céréales qui est de l'ordre de 800 kg/ha) alors que son potentiel atteint 2500 à 3000 kg/ha (Siene et *al*., 2010). Donc, l'accroissement de sa productivité semble constituer une des solutions pour faire face au problème vivrier.

I.5.5 Les contraintes de la production du mil au Sénégal

La production milicole est limitée par des contraintes abiotiques telles que la sécheresse due à la faiblesse et à l'irrégularité des pluies et la faible fertilité des sols ainsi que par des stress biotiques tels que le *mildiou* et le parasite Striga (Badiane, 1999 ; Kountche et *al.*, 2014). En effet au Sahel, cette culture est attaquée par des ravageurs et des ennemis de tous ordres insectes, maladies, mauvaises herbes. Parmi ces ravageurs et maladies, on peut citer la noctuelle, chenille mineuse de l'épi de mil (*Heliocheilus albipunctella* De Joannis) (Amadou et *al.*, 2017), le mildiou (*Sclérospora gramminicola* (Sacc) Schro) (Karimou et *al.*, 2018) et le charbon de mil (*Tolyposporium penicillariae* Bref.) (Diagne, 2005). Ces ravageurs et ennemis causent des pertes appréciables sur le rendement de mil avec 10 à 20 % de pertes pour les insectes et 0,2 à 21 % pour le mildiou au Sénégal (Badiane, 1999). À côté de ces maladies et insectes, les mauvaises herbes constituent un grand problème pour la culture du mil dans la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest.

I.5.6 Les adventifs du mil : cas du *Striga hermonthica* (Delile) Benth.

a) Caractéristiques

En 2017, la présence de striga n'a pas été notée dans notre champ d'étude contrairement en 2018. Cette espèce occasionnerait en moyenne 40 % des pertes de rendement des champs de céréales (Dembele et Sidibe, 2009). Cette situation va en s'aggravant du fait de l'augmentation des zones de hot Spot et de la monoculture du mil. *S. hermonthica* est une plante de 20 à 60 cm ramifiée, au port robuste et reconnaissable par ses grappes de fleurs mauves roses (Figure 7a) parfois blanches grandes (larges de 2 cm environ) et nombreuses sur les épis dressés. À la base de chaque fleur, se développe une bractée (petite feuille) assez large pour cacher le calice. Le tube de la corolle est coudé au niveau du sommet du calice. Les plantes parasitées restent chétives (Figure 7b). Sur les feuilles peuvent apparaître des taches d'aspect huileux. Les épis sont considérablement réduits et peuvent rester stériles. Le Striga est une herbe dressée (pouvant atteindre 1 m de hauteur), à feuilles développées (leur largeur peut atteindre 1 cm) (Badiane, 1999 ; Dembele et Sidibe, 2009).

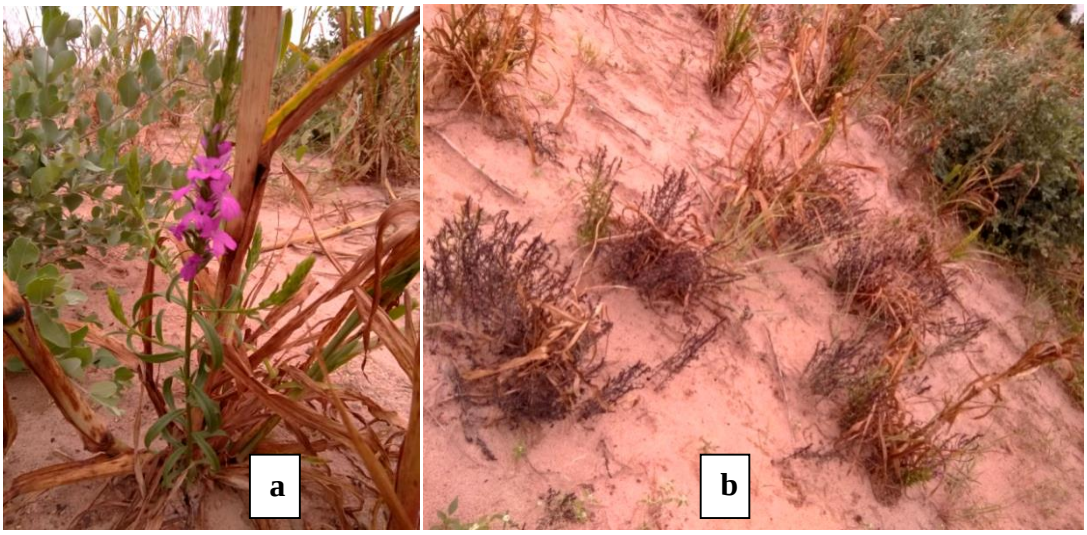


Figure 7 : Inflorescence (a) et infestation des plants de mil (b) par *S.hermonthica* dans la parcelle de Nguick en 2018

b) Ecologie du Striga

Le genre Striga connu à travers 50 espèces appartient à la famille des scrophulariacées. Comme d'autres espèces voisines, telles que *Striga asiatica* (L.) Kuntze et *Striga gesnerioides* (Wild.) Vatke, *Striga hermonthica* est un parasite dévastateur des cultures importantes, telles que le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), le maïs (*Zea mays* L.), le sorgho (*Sorghum bicolor* L.), le riz (*Oryza sativa* L.) et la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.). On les trouve dans plusieurs parties du monde. Même si on le rencontre dans la plupart des champs de céréales du Sénégal, le Bassin arachidier reste la zone la plus infestée (Pauline, 1990). Les fortes infestations se retrouvent dans les régions de Kaolack, Fatick, Diourbel, Thiès et Louga. Ces végétaux parasitent le système racinaire des plantes hôtes et sont appelés parasites épirhizes. Le Striga est un adventice à pouvoir d'infestation très élevé (40000 à 100 000 grains/plant) (Pauline, 1990). Très répandu, il pousse dans des conditions climatiques et pédologiques variées. On rencontre le striga surtout dans les sols pauvres et dans les régions sèches.

CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

II.1 Présentation de la zone d'étude

II.1.1 Situation géographique

Le Bassin arachidier (BA) du Sénégal correspond à la zone agricole où domine la culture arachidière. Il est situé entre 14°15' et 17°15' de longitude ouest et 13°60' et 16°15' de latitude nord, s'étale sur 220 km du Nord au Sud, 200 km d'Est en Ouest (Faye et *al.*, 2013). Il couvre les régions administratives de Kaolack, Fatick, Diourbel, Kaffrine, Thiès et Louga. Il se caractérise par des sols ferrugineux tropicaux lessivés, permettant une production agricole composée essentiellement de céréales sèches (mil) et de légumineuses (arachide, niébé). L'essentiel de la production agricole nationale provient de cette zone de culture sous pluies qui englobe 57 % des terres arables du pays (Cirad, 2017). Elle est la source de près de 2/3 de la production nationale de mil et d'arachide, les 2 principales cultures du pays (Kouakou, 2013).

L'étude a été menée dans le terroir villageois de Nguick[1] situé à moins d'un (01) Kilomètre du village de Ndiago, chef-lieu de la commune du même nom. Nguick se situe au Nord-ouest de la commune de Ndiago, arrondissement de Mbadakhoune, département de Guinguinéo, dans la région de Kaolack (Figure 8). La commune de Ndiago compte 35 villages et se situe entre 14°19'02''Nord et 15°53'44'' Ouest. Elle couvre une superficie de 228 km² (PDC-Ndiago, 2019) et est limitée au Nord par l'arrondissement de Colobane ; au Sud par la commune de Ngathie Naoudé ; à l'Est par la commune de Mbirkilane et à l'Ouest par la commune de Gagnick.

Le choix du site a été guidé par le fait que le village de Nguick fasse partie des zones les plus vulnérables de la commune de Ndiago. De plus les populations sont affectées par la baisse de fertilité des sols avancée impactant négativement les rendements agricoles.

[1]Nguick est un village fondé par Massaer Ndiaye et Barane Awa. Son nom vient d'un village situé dans la région de Saint-Louis au Sénégal

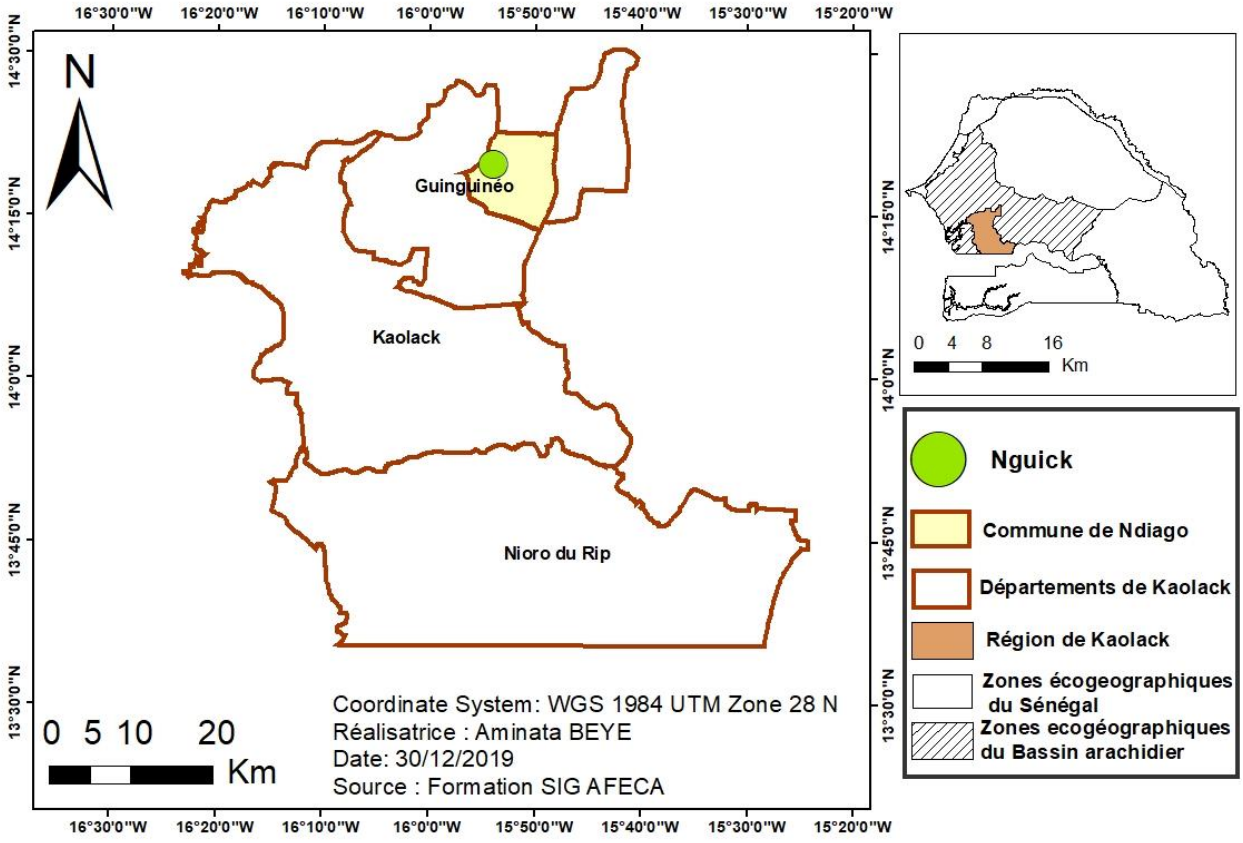


Figure 8: Situation géographique de la zone d'étude

II.1.2 Caractéristiques biophysiques

a) Le climat

La zone d'étude est soumise à un climat de type soudano-sahélien. Sur une série climatique de 30 années (1988-2018) disponible pour la région de Kaolack, la pluviosité moyenne annuelle est de 620,7 mm avec 14 années excédentaires et 16 années déficitaires (Figure 9) par rapport à la moyenne de la série. Cette moyenne annuelle montre que l'année 2014 (424,0 mm) est la plus sèche. Une longue période sèche est notée de 1990 à 1998. Elle est suivie par un retour à la normale à partir de l'année 1999 (877,8 mm). Des baisses ont été notées successivement à partir de l'année 2000. Cependant, une période plus humide se dégage de la série : il s'agit de la période de 2005 à 2013. Les maxima sont enregistrés en 1999 (877,8 mm) et en 2010 (852,8 mm).

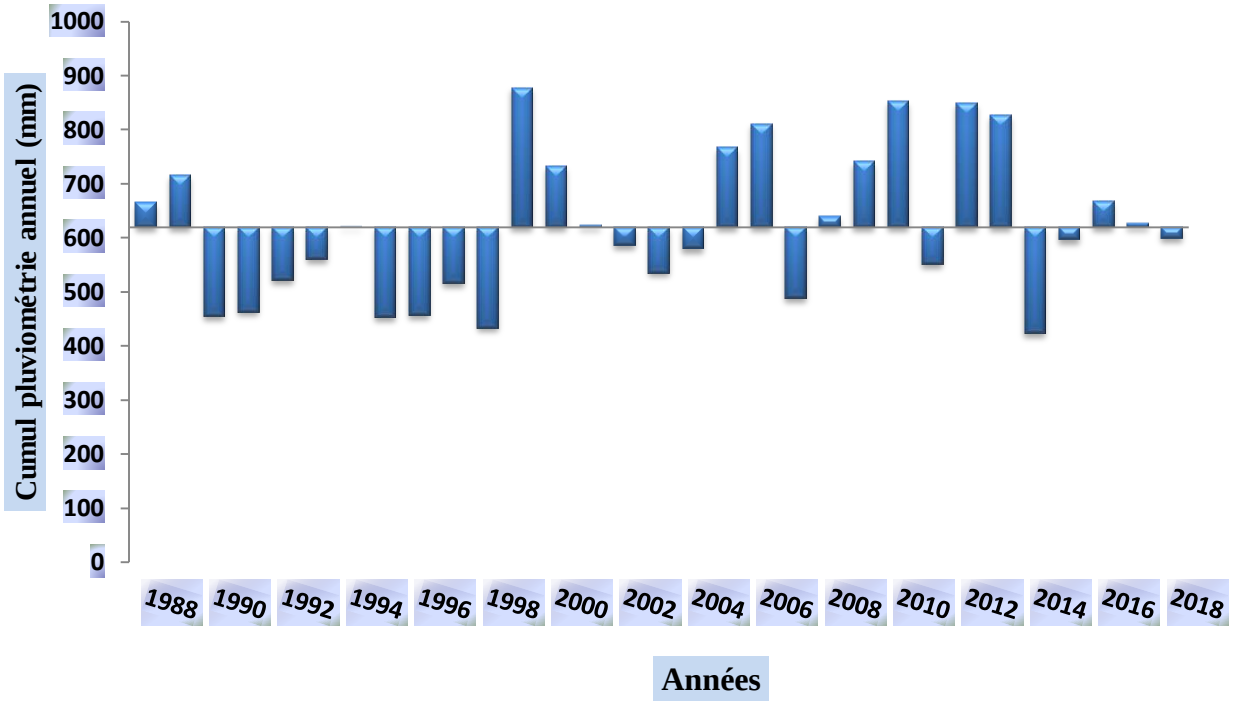


Figure 9: Variabilité pluviométrique inter-annuelle de la période 1988 à 2018 de la région de Kaolack, (ANACIM ,2019)

Le tableau 1 montre la répartition de la pluviométrie durant les mois pluvieux sur les deux années d'étude (2017 et 2018) et leur variation. Comparé à la moyenne de la série (620,7 mm), la situation pluviométrie de la région en 2018 est déficitaire contrairement à celle de l'année 2017.

Une baisse de pluie de 4,5 % a été enregistrée entre ces deux années. La situation pluviométrique de la région en 2018 est déficitaire par rapport à l'année 2017 (627 mm en 2017 contre 599 mm en 2018). Ces déficits ont été observés en début de la saison des pluies aux mois de juin (-13,8 %) et juillet (-80,2 %) ; et en fin de saison des pluies au mois d'octobre (-59,1 %) entre 2017et 2018. Par contre les pluies enregistrées durant les mois d'août et septembre ont été plus importantes en 2018 qu'en 2017 soit une hausse de 16 et 173,4 % respectivement.

Tableau 1 : Répartition des mois pluvieux à Kaolack en 2017 et 2018.

	Pluviométrie (mm)		
Mois pluvieux	**2017**	**2018**	**Variation (%)**
Juin	35,4	30,5	-13,8
Juillet	246,9	49,0	-80,2
Août	189,9	220,2	16
Septembre	101,5	277,5	173,4
Octobre	53,3	21,8	-59,1
Cumul annuel	**627**	**599**	**-4,5**

Sur la même période (1988-2018), (i) l'humidité moyenne minimale et maximale est de 3,6 % et 76,6 % respectivement. L'humidité moyenne minimale la plus faible est observée au mois de mars avec 21 % alors que l'humidité moyenne maximale la plus élevée est notée aux mois d'août et septembre avec 96 % chacun ; (ii) l'insolation moyenne est de 8,1 heures ; (iii) l'évapotranspiration moyenne étant de 5,02 mm ; et (iv) la vitesse moyenne du vent 2,73 m/s.

Le diagramme ombrothermique (figure 10) représente, sur douze mois, les courbes des températures et des précipitations des 30 dernières années de la région de Kaolack. La zone présente deux saisons bien distinctes : une longue saison sèche allant d'octobre à juin et une courte saison des pluies de juillet à septembre avec une forte pluviométrie en août. La température moyenne annuelle est de 29,6 °C avec un maximum de 36,7 °C et un minimum de 22,4 °C. La température moyenne maximale la plus élevée est observée au mois d'avril avec 40,9 °C et celle minimale la plus faible au mois de janvier avec 18,3 °C.

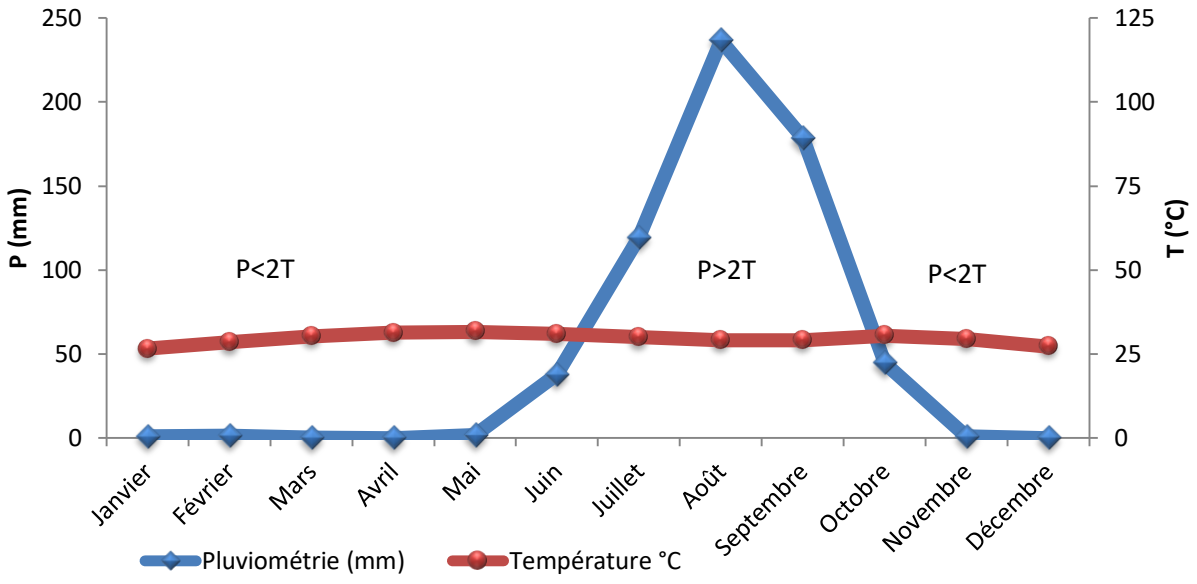


Figure 10 : Diagramme ombrothermique de la région de Kaolack de 1988 à 2018

b) Les ressources en eau

Les ressources en eau de la commune de Ndiago sont composées d'eaux souterraines et de surfaces qui sont tributaires de la pluviométrie. Le réseau hydrographique est essentiellement composé de bas-fonds inondables durant la saison humide. Ce sont des mares et des marigots qui permettent aux populations de satisfaire des besoins domestiques et d'abreuvement du bétail durant deux à trois mois (PDC-Ndiago, 2019). Le réseau hydrologique est constitué de la nappe phréatique qui n'est pas profonde, elle atteint vingt (20) à trente (30) mètres suivant les zones et de la nappe

maëstrichtienne qui est la source d'alimentation des différents forages de Ndiago. Elle peut atteindre cent cinquante (150) à deux cents (200) m de profondeur.

c) Géomorphologie et sol

Le relief est relativement plat dans son ensemble. Toutefois, il existe quelques légères formations de dunes dans sa partie Sud- Est. La zone est composée principalement de trois types de sol : (i) les sols ferrugineux tropicaux lessivés ou sols Dior**,** de structure meuble et perméable favorable aux cultures vivrières (mil, maïs et arachide), occupent près de 85% des terres cultivables de la Commune, (ii) les sols Deck-Dior, dominés par l'argile et le sable, sont riche en matière organique avec une bonne résistance à l'érosion. Ces sols représentent 10% des terres et sont aptes aux cultures du sorgho, du mil, du niébé et de l'arachide et (iii) les sols bruns hydro morphes ou Deck sont des sols argileux et riches en matière organique (humus), ils couvrent 5% des terres cultivables. Ils constituent en hivernage les principales zones de pâturage et d'abreuvement du bétail grâce aux mares (PLD-NDIAGO, 2010).

d) La végétation

La commune de Ndiago offre une végétation classée en trois strates suivant le port et la hauteur des individus qui les composent. Les herbacées très variées mais saisonnières sont une source d'alimentation pour le bétail. Elles sont constituées entre autres de *Cenchrus biflorus* Roxb. (*kha kham*)[2], *Cassia tora* L. (*mboum ndour*), *Eragrostis tremula* Hochst. ex Steud. (*sal gouf*), *Pennisetum pedicellatum* Trin. (*bara*), etc. Les arbustes sont largement représentés et dominés par les combrétacées dont *Combretum glutinosum* Perrott. (*ratt*) et *Guiera senegalensis* J.F. Gmel. (*nguer*), qui constituent des sources de revenus importantes pour les populations. La strate arbustive se dissémine sur toute l'étendue du territoire offrant d'énormes potentialités fourragères pendant la période de soudure. La strate arborée est faiblement représentée et dominée par *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev. (*kad*), *Adansonia digitata* L. (guy), *Tamarindus indica* L. *(dakhar*), *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. (*uul*), etc. Leurs bois sont utilisés à des fins de construction (cases) et de chauffage. Cependant malgré la diversité d'espèces rencontrée dans la commune de Ndiago, il y a des espèces qui ont disparu notamment *Heeria insignis* (Del.) O. Kze. (*waswasor*), *Vitex madiensis* Oliv. (*leung*), *Bombax costatum* Pellegr. & Vuill. (*garab laobé*), d'autres sont en voie de disparition comme *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance *(neew), Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. (*uul*), *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (*dang*), *Sterculia*

[2] Pour ce paragraphe, les mots entre parenthèses sont les noms vernaculaires Wolof des noms scientifiques des espèces végétales.

setigera Delile (*mbèp*), *Tamarindus indica* L. (*dakhar*), *Cordyla pinnata* (A. Rich.) Milne-Redh. (dimb), etc. (PDC-Ndiago, 2019). La disparition ou diminution de ces espèces est causée par la baisse de la pluviométrie, la sécheresse, les coupes abusives d'arbres. Les formes de dégradation des ressources sont largement imputables aux actions anthropiques. De nouvelles espèces ont fait leur apparition dans la commune notamment *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst. (*nguiguiss*), *Ziziphus mauritiana* Lam. (*deem*), *Balanites aegyptiacus* (L.) Delile (*soump*), *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit … Leur présence est due aux semences apportées lors du passage des animaux transhumants (PDC-Ndiago, 2019) et à l'installation d'une parcelle de démonstration (parcelle conservation communautaire) dans le terroir villageois de Nguick.

e) Population et activités socio-économiques

La population est de 12 713 habitants en 2019 (PDC-Ndiago, 2019), et est constituée de Wolofs (ethnie dominante), de Pular et de Sérères. Elle pratique l'agriculture pluviale qui est la première activité économique de la zone suivie par l'élevage, l'artisanat et le commerce. Les principales spéculations produites sont l'arachide (*Arachis hypogaea* L.), le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), le maïs (*Zea maïs* L.), le bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.), le manioc (*Manihot esculenta* Crantz), la pastèque (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai) …

II.1.3 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est composé de nguer (*Guiera senegalensis* J.F. Gmel.) et de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br).

Le nguer est choisi dans cette étude pour sa contribution à la restauration de la fertilité des sols. En effet, des travaux ont montré que *G. senegalensis* redistribue l'eau dans le sol, stimule les microorganismes du sol et génère des « ilots de fertilité » au bénéfice de la culture (Chapuis-Lardy et *al.*, 2019).

Le mil, variété Souna 3 (cycle court de 90 jours), est la céréale la plus cultivée dans la zone. Il a été utilisé pour évaluer l'effet des apports du Phosphate de fond, de la RNA et du BRF sur le sol. Il est utilisé pour sa tolérance à la sécheresse, au faible niveau de fertilité des sols et à des températures élevées. De plus, les populations de la zone cultivent le mil principalement pour l'autoconsommation.

II.1.4 Matériel technique

Au cours de la phase de terrain, un certain nombre de matériel a été utilisé pour la collecte des données (voir partie collecte de données).

II.2 Méthodes

II.2.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé a été mis en place en 2017 dans la parcelle communautaire (1 ha) de Nguick puis reconduit à l'état en 2018, en début de saison des pluies. Cependant, le terrain présentant une pente (existence d'un gradient de fertilité), le dispositif a été installé perpendiculaire à cette dernière pour pallier l'hétérogénéité du milieu (Figure 11). Il s'agit d'un dispositif en blocs complets randomisés (BCR) comportant 4 traitements et 4 répétitions (Figure 6). Chaque bloc a été subdivisé en 4 unités expérimentales (UE) de 594 m^2 (33 m de long et 18 m de large) soit un total de 16 UE. Les traitements (Tableau 2) sont constitués du Témoin (sans amendement), des BRF (1 t/ha), du Phosphate de fond (400 kg/ha) et de la RNA (120 pieds/ha).

Tableau 2 : Traitements appliqués en 2017 et reconduits en 2018

Traitements	Composition	Quantité
Témoin	Sans amendement	-
Phosphate de fond	P_2O_5 (32%)	400 kg/ha
RNA	*G. senegalensis*	120 pieds/ha
BRF	*G. senegalensis*	1 t/ha

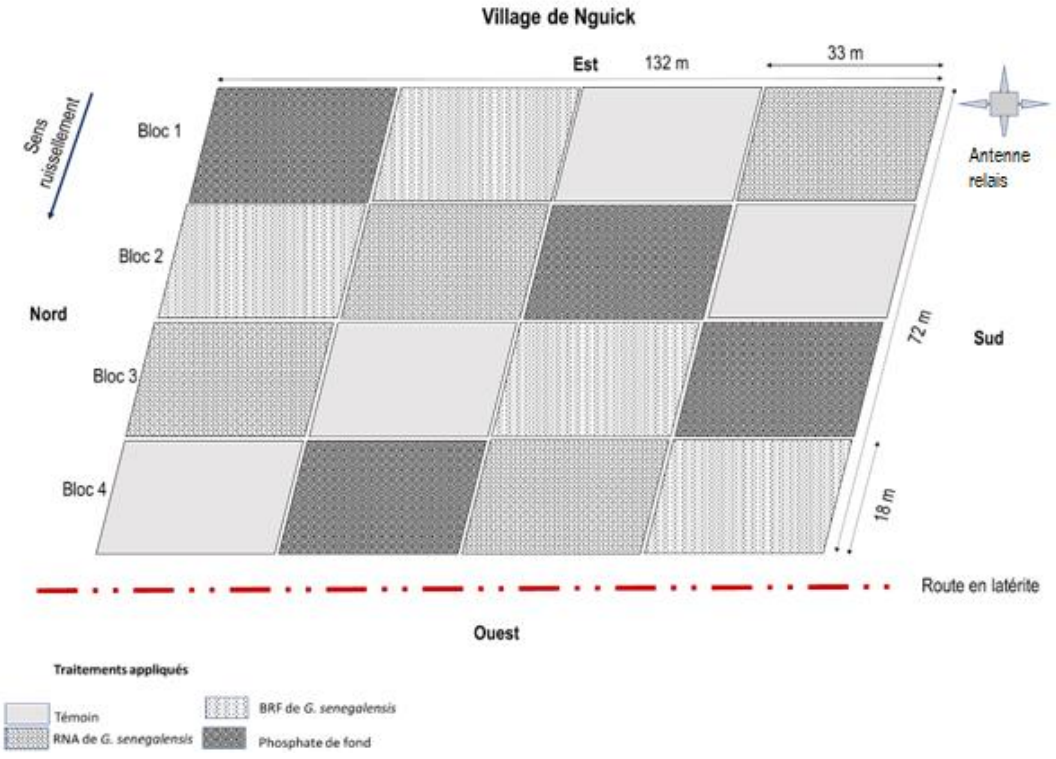


Figure 11 : Plan de masse du dispositif expérimental (BCR) de la parcelle de démonstration à Nguick

II.2.2 Conduite de l'essai

Le dispositif expérimental a été mis en place durant les préparatifs de l'hivernage en 2017, précisément au mois de juillet, puis reconduit tel quel en 2018. Les traitements ont été appliqués en début de saison des pluies (au mois de juillet). Les BRF de *G. senegalensis* (1t/ha) et le phosphate de fond (400 kg/ha) ont été appliqués par épandage. L'entretien des 120 pieds à l'hectare de la RNA de *G. senegalensis* a été réalisé dans les parcelles devant recevoir ce traitement. Ces applications ont été suivies du labour de la parcelle afin de les incorporer aux premiers horizons du sol à des profondeurs comprises entre 20 et 25 cm. Le mil a été semé après la première pluie utile, en mi-juillet, selon la géométrie 90 cm x 90 cm puis son itinéraire technique (premier désherbage, le démariage du mil à 3pieds/poquets, un second et dernier désherbage et des sarclo-binages réguliers, etc.) a été suivi jusqu'à la récolte des plants. Le même processus a été suivi en 2018 lorsque l'essai a été reconduit.

II.2.3 Collectes de données

a) Evaluation des paramètres morphométriques du mil

Afin d'évaluer l'effet des traitements, les variables morphométriques du mil ont été mesurées à maturité. Ainsi, trois (03) carrés de rendements de 5 m x5 m ont été délimités à l'aide d'un ruban mètre, dans chaque unité expérimentale. Ce qui fait quarante-huit (48) carrés de 25 m² pour toute la parcelle. Des piquets ont été utilisés pour matérialiser les blocs et les carrés de rendements. Cinq (05) plants ont été choisis de manière aléatoire dans chaque carré de rendement (soit 15 pieds/traitements) pour y collecter : le nombre de talles par comptage, la longueur des tiges et la longueur des épis de mil avec une règle graduée et le diamètre au collet à l'aide d'un pied à coulisse. Des fiches de relevés et un appareil photographique ont été utilisés lors de la collecte des données.

b) Evaluation du rendement en matière sèche

La matière sèche issue de la biomasse épigée a été déterminée pour chaque traitement. Tout d'abord, le nombre total de plants a été déterminé par comptage dans chaque carré de rendement. Ensuite, tous les plants de mil ont été récoltés à l'aide d'un sécateur puis pesés avec une balance pour avoir le poids frais total (PF) pour chaque carré de rendement. Enfin, sur chaque poids frais total un échantillon a été déterminé pour avoir le poids frais de l'échantillon (Pf) dans chaque carré. Ce dernier a été séché à l'étuve à une température de 70°C pendant 5jours afin d'avoir le poids sec (Ps) de l'échantillon. Le rendement en matière sèche est rapporté à l'hectare suivant les formules :

$$\textbf{Matière sèche (Kg)} = \textbf{PF} - (\textbf{PfxTE})$$

avec **TE** = teneur en eau $= \left(\frac{\textbf{Pf}-\textbf{Ps}}{\textbf{Pf}}\right)\boldsymbol{x100}$

$$\textbf{Rendement à l'hectare (Kg/ha)} = \frac{(\textbf{rx10000})}{\textbf{c}}$$

Où **r** (kg/m^2) = (Poids total de récolte dans le carré) / (surface du carré)

C = surface du carré de rendement (m^2)

Remarque : Il est à noter que, vu le retard accusé lors du démarrage des activités, certains plants de mil n'ont pas bouclé leurs cycles de remplissage et de maturation de leurs grains. À cela s'ajoute une attaque aviaire sur les épis de mil, ce qui ne nous a pas permis de quantifier les différents rendements en grains. Cela constitue une limite objective de notre étude.

c) Evaluation des paramètres physico-chimiques des sols

Les prélèvements d'échantillons composites de sol ont été faits sur chaque UE dans la parcelle avant et après les récoltes (au mois de novembre) suivant la méthode des diagonales aux horizons 0-20 cm. Les caractéristiques chimiques des sols ont été déterminées suivant les méthodes standardisées au Laboratoire Sol-Eaux-Plantes du Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey (CNRA/ISRA). Le carbone total (C Total) selon la méthode Walkley-Black (1934), l'azote (N) suivant la méthode Kjeldahl 1883 modifiée et le phosphore assimilable (Pass) selon la méthode Olsen, 1982 modifié à pH= 8,5. Les bases échangeables notamment le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le potassium (K) et le sodium (Na) ont été déterminées par le spectromètre d'absorption atomique à flamme. La conductivité électrique (CE) du sol a été déterminée à l'aide d'un conductimètre et le potentiel hydrogène (pH) du sol a été lu au pH-mètre. La matière organique (MO) et le rapport C/N ont été déduits par calcul. La granulométrie du sol a été déterminée par la méthode de Robinson. La figure 12 illustre les analyses et appareils de mesure des paramètres physico-chimique du sol au laboratoire de Bambey (CNRA/ISRA).

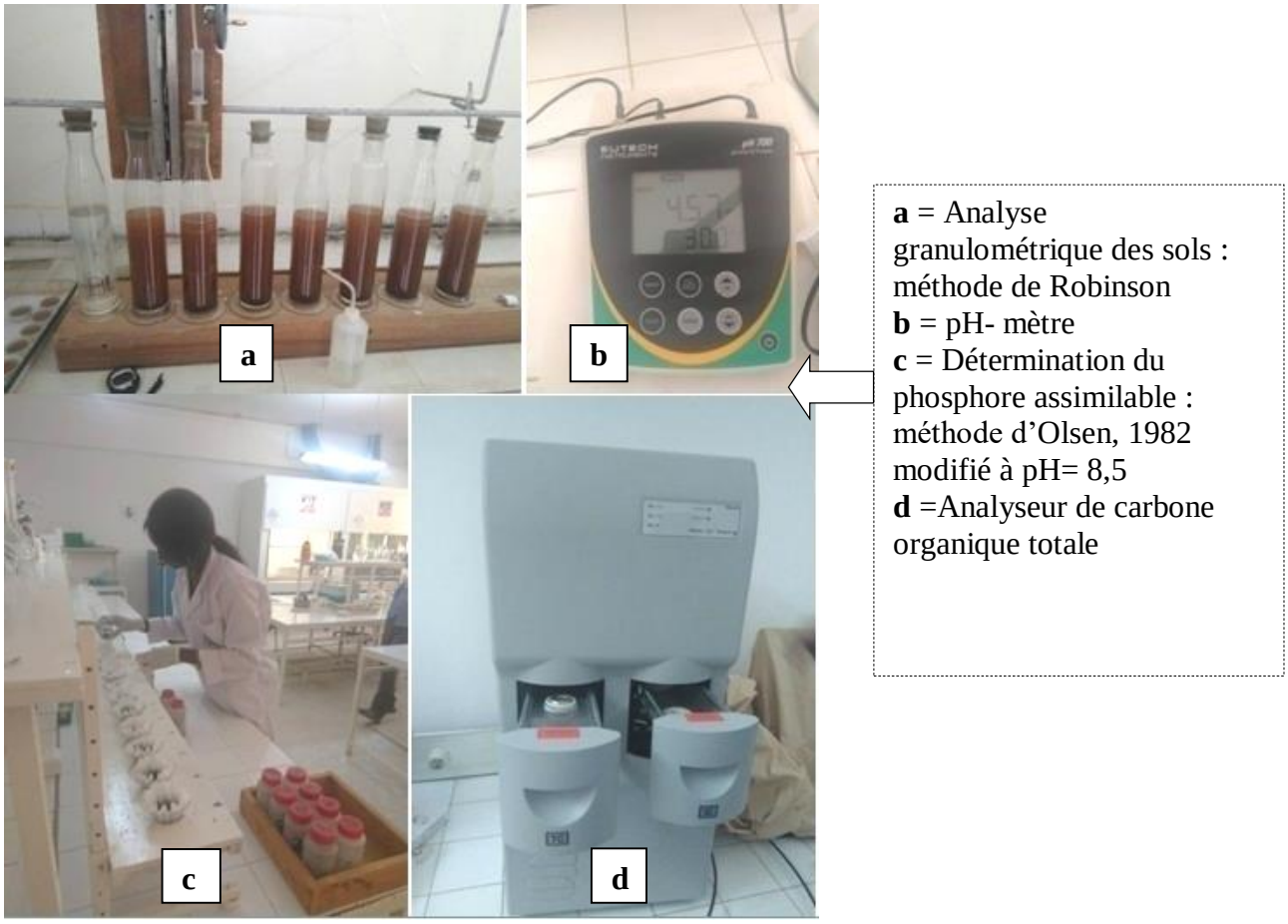


Figure 12 : Analyses et appareils de mesure des paramètres physico-chimiques du sol au laboratoire

d) Composition chimique et biochimique des BRF de *G. senegalensis*

Le carbone, l'azote et le phosphore contenus dans les BRF ont été évalués respectivement par les méthodes de Walkley Black (1934), Kjeldahl (1883) et Olsen modifiée (1982) au Laboratoire Sol, Eaux, Plantes du Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey (CNRA/ISRA).
Alors que leur composition pariétale a été déterminée par la méthode Van Soest et *al*. (1991) au laboratoire Alimentation-Nutrition du Laboratoire National d'Elevage et de Recherche Vétérinaire (LNERV/ISRA).

II.2.4 Détermination de la densité de *Striga hermonthica (Delile) Benth.*

Au moment de la récolte du mil à la deuxième année d'étude en 2018, un développement important de striga a été observé sur toute la parcelle. Ce qui n'était pas le cas en première année en 2017. Ainsi, une évaluation de la densité de striga a été faite en 2018 afin de voir sa répartition selon les traitements en place. Autrement dit quel est le traitement qui favorise moins la prolifération des striga ? Dès lors, le nombre de plants de striga par unité expérimentale a été dénombré et la densité correspondant au nombre d'individus par unité de surface est évaluée. Elle est déterminée par le

rapport de l'effectif total (N) des individus dans chaque carré de rendement sur la surface du carré (S). Elle s'exprime en nombre d'individus/ha.

$$\textbf{Densité} = \frac{\mathbf{N}}{\mathbf{s}}$$

II.2.5 Traitements des données

Les données collectées sur le terrain ont été saisies sur un tableur Excel. La matière sèche ainsi que la densité du Striga ont été calculée à l'aide du tableur Excel**.** Le logiciel R version 3.6.1 (64 bits) a été utilisé pour l'analyse des données obtenues sur les paramètres chimiques du sol et les variables morpho-métriques du mil.

L'analyse de variance a été effectuée pour comparer l'effet des traitements sur l'évolution des éléments chimiques du sol en première et deuxième année par rapport à l'état de référence.

Les variables morphométriques du mil ont fait l'objet d'une comparaison de moyenne entre 2017 et 2018 en fonction des traitements.

En présence de différences significatives, le test de Student Newman Keuls (SNK) a été effectué au seuil de 5 % pour identifier les traitements significativement différents selon la variable considérée.

Le test de corrélation de Pearson a été utilisé pour analyser les corrélations entre la composition en éléments chimiques du sol et les paramètres du mil.

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1 Résultats

III.1.1 Teneurs en éléments pariétaux et éléments chimiques des BRF de *G.senegalensis*

Les résultats du tableau 3 montrent que la composition biochimique des bois raméaux fragmentés de *G. senegalensis* est suffisamment riche en éléments pariétaux. En effet les BRF de nguer sont riches en cellulose (>20 %), en hémicellulose (>10 %), en lignine (>10 %) et en matière sèche (>30 %). Les teneurs élevées de ces derniers montrent que l'amendement des BRF de *G.senegalensis* est concentré et donc riche en éléments fertilisants.

L'analyse montre également des teneurs en éléments chimiques importantes avec des valeurs élevées en N (>1,5 %) et C/N (>15).

Tableau 3 : Composition biochimique (%) des BRF de *G. senegalensis*

	Composants pariétaux (%)				**Composante chimiques (%)**				
Constituants	Cellulose	Hemi	Lignine	MS	MO	PTOTAL	Corg	NTotal	C/N
BRF *G.senegalensis*	44,51	13,74	19,60	92,16	60,90	0,12	34,85	1,86	18,72

Hémi = Hémicellulose ; **MS** = Matière Sèche ; **MO** = Matière Organique ; **PTotal** = Phosphore total ; **Corg** = Carbone organique ; **NTotal** = Azote total ; **C/N** = rapport Carbone Azote

III.1.2 Effet des traitements sur l'évolution des paramètres physico-chimiques du sol en fonction du temps

Les caractéristiques physico-chimiques initiales des sols de la parcelle d'expérimentation sont présentées dans le tableau 4. L'analyse du tableau montre que les sables dominent avec des teneurs comprises entre 95,34 et 96,17 %. Ces sols sont caractérisés par une texture sableuse de structure meuble et perméable. Ce sont des sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés appelés sols Dior (argile + limon< 7 %) (Tableau 4) d'après la classification française CPCS. Ce site présente une faible teneur en matière organique et un pH faible (<7). Ces sols sont insuffisamment pourvus en éléments nutritifs tels que l'azote (NTotal) et le Phosphore assimilable (Pass). L'état de ces sols dans la parcelle sont de très basse fertilité (Tableau 4), des apports d'amendement organiques et d'engrais sont donc nécessaires.

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques initiales du sol dans la parcelle avant application des traitements en 2017

Traitements	Granulométrie			pH du sol	Eléments essentiels				
	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	pH	Pass (ppm)	C Total (%)	NTotal (%)	MO (%)	C/N
Témoin	2,16	1,64	96,17	5,4	26,113	0,268	0,018	0,46	15,14
Phosphate	2,23	2,43	95,34	5,5	34,681	0,268	0,021	0,46	13,40
RNA	1,98	1,89	96,13	5,2	40,030	0,252	0,017	0,43	14,87
BRF	2,88	1,62	96,05	5,1	32,187	0,364	0,029	0,63	12,80

- **Évolution des paramètres (pH, C, N, P et MO) du sol en fonction du temps**

Afin de comprendre l'effet des traitements sur certains paramètres chimiques du sol, les données ont été traitées pour ressortir l'évolution de ces paramètres en fil du temps (2017 à 2018). La figure 13 illustre l'évolution des paramètres (pH, C, N, P et MO) du sol en fonction des traitements (Phosphate de fond, BRF, RNA et Témoin) en 2017 et 2018 dans la parcelle de démonstration.

Les résultats ont montré que les traitements Phosphate de fond, RNA et Témoin n'ont pas modifié significativement le pH du sol sur les deux années par rapport à l'état de référence. Seul l'apport de BRF a permis une réduction de l'acidité du sol de façon significative avec un taux d'évolution de +9,8 % comparé au pH de l'état de référence.

Le carbone total diminue au fil du temps avec tous les traitements (Témoin, Phosphate de fond, RNA et BRF). Cependant cette diminution n'est significative que pour le Témoin (p=0,004).

Les teneurs en azote total augmentent au cours du temps avec tous les traitements exceptés le traitement BRF. Ce dernier entraîne une diminution du taux d'azote de 9,37 % entre 2017 et 2018.

L'évolution positive de la matière organique avec les différents traitements n'a été significative qu'en 2018 comparativement à l'état de référence. En effet, une augmentation très significative est observée avec les traitements RNA (p=8,34^{e}-06), Phosphate de fond (p=9^{e}-04) et Témoin (p=2,86^{e}-06). Cependant, même si le traitement BRF induit la teneur en matière organique la plus élevée, avec un taux d'accroissement de 145,5% entre 2017 et 2018, il n'y a aucune différence significative comparée à l'état de référence (p=0,183).

Les teneurs en phosphore assimilable diminuent au fil du temps avec tous les traitements. Cependant, parmi tous les apports seul le traitement Phosphate de fond induit une diminution

significative (p=0,05) du phosphore assimilable sur les deux années comparées à l'état de référence.

Pour le rapport C/N, les résultats montrent une baisse hautement significative au fil du temps avec tous les traitements sauf avec les BRF (p=0,087).

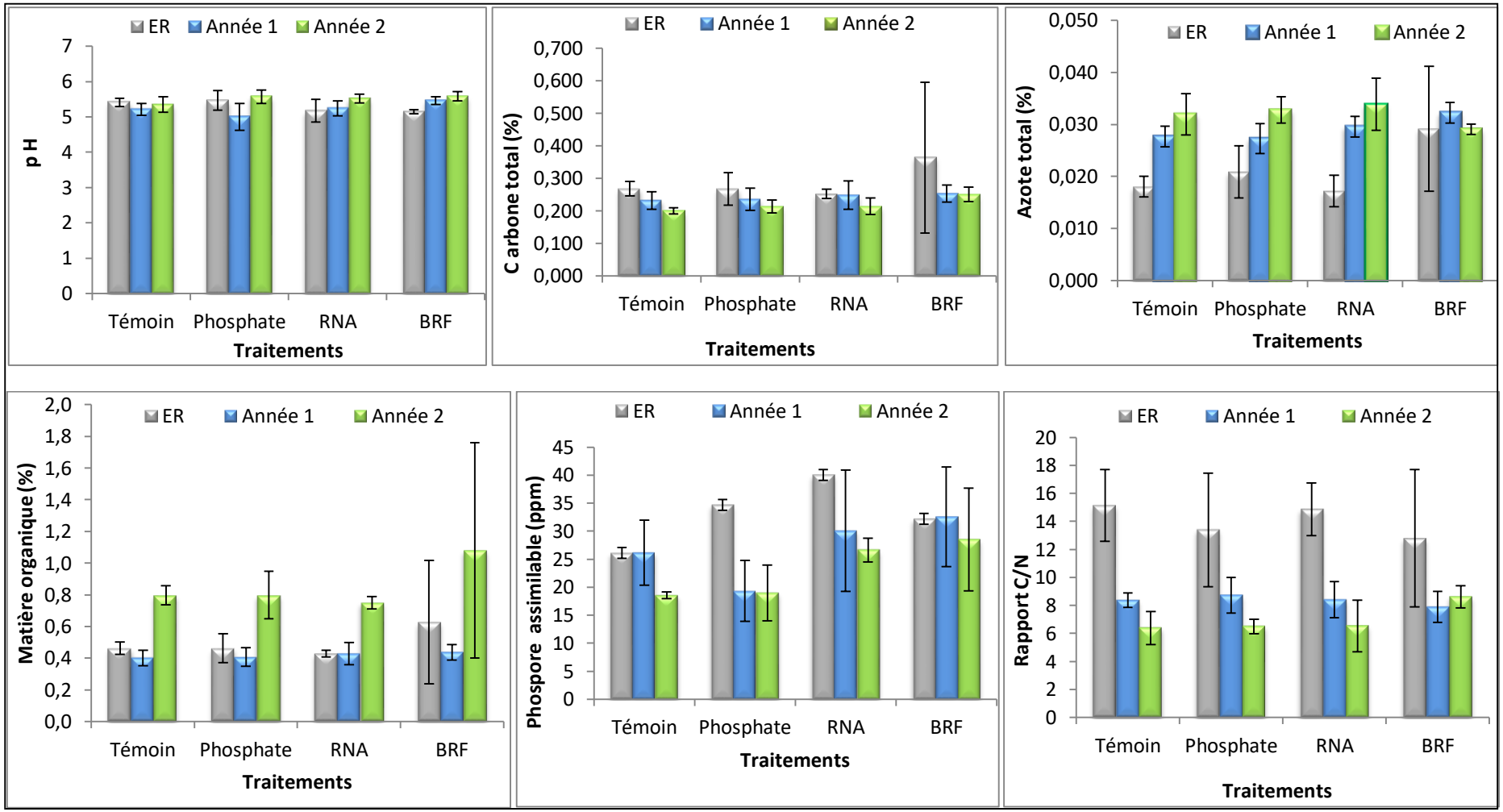


Figure 13: Evolution des paramètres (pH, C, N, P et MO) du sol en fonction des traitements en 2017 et 2018 dans la parcelle de démonstration à Nguick.

Les barres d'erreur présentent l'erreur standard et ANOVA avec $p<0,05$

ER : état de référence ; Année 1= 2017 ; Année 2= 2018

- **Evolution des bases échangeables en fonction des années**

Le tableau 5 montre l'évolution des bases échangeables (Ca, Mg, Na et K) et la capacité d'échange cationique (CEC) en fonction des traitements au fil du temps. Les résultats ont révélé, dans la parcelle, des sols avec une capacité d'échange cationique faible (<4méq/100 g) dont les teneurs en éléments minéraux échangeables (Ca, Mg et Na) sont en dessous de leur seuil minimal (Tableau 5). Notons que seuls les traitements BRF et RNA présentent une augmentation de Ca^{2+} significative comparé à l'état de référence. Par contre, la teneur en potassium (K) est au-dessus de la valeur seuil (≥ 0,15méq/100 g) à l'état de référence sur tous les traitements donc potentiellement disponibles pour les cultures. Cependant, une baisse significative de K^{+} est observée après deux années d'apports chez tous les traitements excepté le BRF par rapport à l'état de référence.

Tableau 5 : Effet des traitements sur les bases échangeables en fonction des années

	Ca^{2+} (méq/100g)			Mg^{2+} (méq/100g)			K^{+} (méq/100g)			Na^{+} (méq/100g)			CEC (méq/100g)		
Traitements	ER	Année 1	Année 2	ER	Année 1	Année 2	ER	Année 1	Année 2	ER	Année1	Année2	ER	Année 1	Année 2
Témoin	$0,88^{a}$ ±0,11	$0,87^{a}$ ±0,29	$0,89^{a}$ ±0,12	$0,19^{a}$ ±0,04	$0,13^{a}$ ±0,08	$0,17^{a}$ ±0,04	$0,22^{a}$ ±0,04	$0,13^{b}$ ±0,04	$0,11^{b}$ ±0,01	$0,11^{a}$ ±0,06	$0,12^{a}$ ±0,07	$0,02^{a}$ ±0,02	$2,01^{a}$ ±0,54	$1,78^{a}$ ± 0,69	$1,27^{a}$ ± 0,28
Phosphate	$0,84^{a}$ ±0,09	$0,9^{a}$ ±0,09	$0,76^{a}$ ±0,08	$0,18^{a}$ ±0,05	$0,16^{a}$ ±0,03	$0,14^{a}$ ±0,04	$0,23^{a}$ ±0,05	$0,17^{b}$ ±0,02	$0,09^{c}$ ±0,03	$0,09^{a}$ ±0,03	$0,07^{a}$ ±0,03	$0,01^{b}$ ±0,01	$2,27^{a}$ ±0,24	$3,45^{a}$ ±2,23	$1,07^{a}$ ±0,17
RNA	$0,67^{c}$ ±0,06	$0,95^{b}$ ±0,11	$0,81^{b}$ ±0,01	$0,15_{a}$ ±0,04	$0,17^{a}$ ±0,01	$0,15^{a}$ ±0,01	$0,20^{a}$ ±0,03	$0,12^{b}$ ±0,03	$0,15^{b}$ ±0,02	$0,06^{a}$ ±0,05	$0,06^{a}$ ±0,02	$0,01^{ab}$ ±0,01	$1,73^{b}$ ±0,58	$2,52^{a}$ ±0,49	$1,31^{b}$ ±0,21
BRF	$0,57^{b}$ ±0,05	$0,84^{a}$ ±0,02	$0,79^{a}$ ±0,18	$0,11^{a}$ ±0,04	$0,16^{a}$ ±0,02	$0,13^{a}$ ±0,03	$0,15^{a}$ ±0,05	$0,17^{a}$ ±0,01	$0,15^{a}$ ±0,04	$0,04^{a}$ ±0,02	$0,08^{a}$ ±0,05	$0,03^{a}$ ±0,02	$1,16^{a}$ ±0,37	$1,53^{a}$ ±0,18	$1,39^{a}$ ±0,29

Pour chaque ligne, les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Tukey

ER : état de référence ; Année 1= 2017 ; Année 2= 2018

III.1.3 Effet des traitements sur les variables morphométriques et sur le rendement de la matière sèche du mil

- **Variable morphométrique du mil**

Les composantes du rendement de mil telles que le nombre de talles, la longueur des tiges, la longueur des épis ainsi que le diamètre au collet des tiges ont été évaluées sous l'effet des traitements. Les résultats de l'analyse du tableau 6 montrent que le développement du « nombre de talles » et du « diamètre au collet des tiges » est significativement plus important en 2018 qu'en 2017. Cependant, la croissance du « nombre de talles » entre les deux années ne présente pas de différence significative avec le traitement Témoin (p=0,873). Par ailleurs, on observe une diminution de croissance de la « longueur des tiges » et de la « longueur des épis » en deuxième année comparée à la première année. Cette diminution est significative avec tous les traitements pour la « longueur des tiges », alors qu'elle n'est significative qu'avec le traitement RNA (p=0,015) pour la « longueur des épis ».

Tableau 6 : Effet des traitements sur les variables morphométriques du mil en 2017 et 2018

	Paramètres							
	Nombre talles		**Longueur tige** (cm)		**Longueur épis** (cm)		**Diamètre collet des tiges** (cm)	
Traitements	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Témoin	8,1^{a} ±3,71	8,2^{a} ±3,72	162^{a} ±21,59	113,1^{b} ±23,39	40,4^{a} ±6,36	38,1^{a} ±7,87	0,8^{b} ±0,21	1,6^{a} ± 0,46
Phosphate	7,3^{b} ±3,18	9,6^{a} ±5,51	154,9^{a} ±25,59	118,4^{b} ±30,41	37,6^{a} ±8,68	36,6^{a} ±9,15	0,8^{b} ±0,24	1,8^{a} ±0,53
RNA	8,1^{b} ±4,20	8,7^{a} ±4,14	157,3^{a} ±31,39	112,7^{b} ±26,80	40,5^{a} ±8,02	36,7^{a} ±8,69	0,9^{b} ±0,22	1,7^{a} ±0,48
BRF	8,3^{b} ±3,46	9,2^{a} ±5,20	160^{a} ±20,2	115,3^{b} ±28,59	40,3^{a} ±6,60	37,8^{a} ±9,21	0,9^{b} ±0,22	1,6^{a} ±0,45

Pour chaque ligne, les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes selon la variable considérée au seuil de 5 % d'après le test de Student Newman Keuls.

- **Le rendement en matière sèche**

Les résultats du test T de Student révèle qu'en 2017, les rendements en matière sèche obtenus avec l'apport des différents traitements ne sont pas significativement différents (p<0,05) comparés à ceux de 2018 (tableau 7). Cependant, seul le phosphate de fond induit une production en matière sèche positive de +7,9 % par rapport aux autres traitements entre ces deux années.

Tableau 7 : Effet des traitements sur le rendement en matière sèche (kg/ha) en fonction des traitements en 2017 et 2018

Traitements	Années		p-value	Variation (%)
	2017	2018		
Témoin	533,2[a]	519,2[a]	0,4521	-2,6
Phosphate de fond	577,6[a]	623,2[a]	0,2512	+7,9
RNA	566,8[a]	484,0[a]	0,1195	-14,6
BRF	631,2[a]	468,0[a]	0,0800	-25,8

Pour chaque ligne, les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Tuckey

III.1.4 Corrélations entre les paramètres chimiques du sol et les composantes du rendement du mil.

Le test de corrélation est utilisé pour évaluer la liaison entre les paramètres du sol (pH, C Total, NTotal, MO, Pass, et le rapport C/N) et les composantes du rendement de mil (nombre de talles (NT), longueur tige (LT), longueur épis (LE), diamètre au collet des tiges (DC) et matière sèche aérienne (MSA)). La matrice de corrélation met en évidence la distribution de chaque variable sur la diagonale (Figure 14). En bas de la diagonale, les diagrammes de dispersion bivariés avec une ligne ajustée sont affichés alors qu'en haut de la diagonale, la valeur de la corrélation plus le seul de signification. Les résultats du test de Spearman ont révélé une corrélation positive et significative des éléments chimiques (pH, azote total et matière organique) du sol et les paramètres agronomiques (longueur des tiges et diamètre au collet des tiges) du mil entre eux (Figure 14). Une liaison significative et positive est aussi notée entre les éléments chimiques (carbone total, phosphore assimilable et rapport C/N) du sol et les composantes du rendement (longueur tige et longueur épis) du mil entre eux (Figure 14). La longueur des tiges est négativement et fortement corrélée avec la MO ($r=-0,91$; $p<0,01$) et le pH ($r=-0,67$; $p<0,1$) du sol. La variable diamètre au collet des tiges est très fortement corrélée de façon négative avec la longueur des tiges ($r=-0,98$; $p<0,001$). Elle a également une liaison significative et négative avec la longueur des épis ($r=-0,76$; $p<0,05$) et le rapport C/N ($r=-0,76$; $p< 0,05$) du sol. Par ailleurs, la matière aérienne sèche n'est corrélée à aucun paramètre étudié de manière significative. Néanmoins, une corrélation positive de 51 % est notée avec la longueur des tiges de mil.

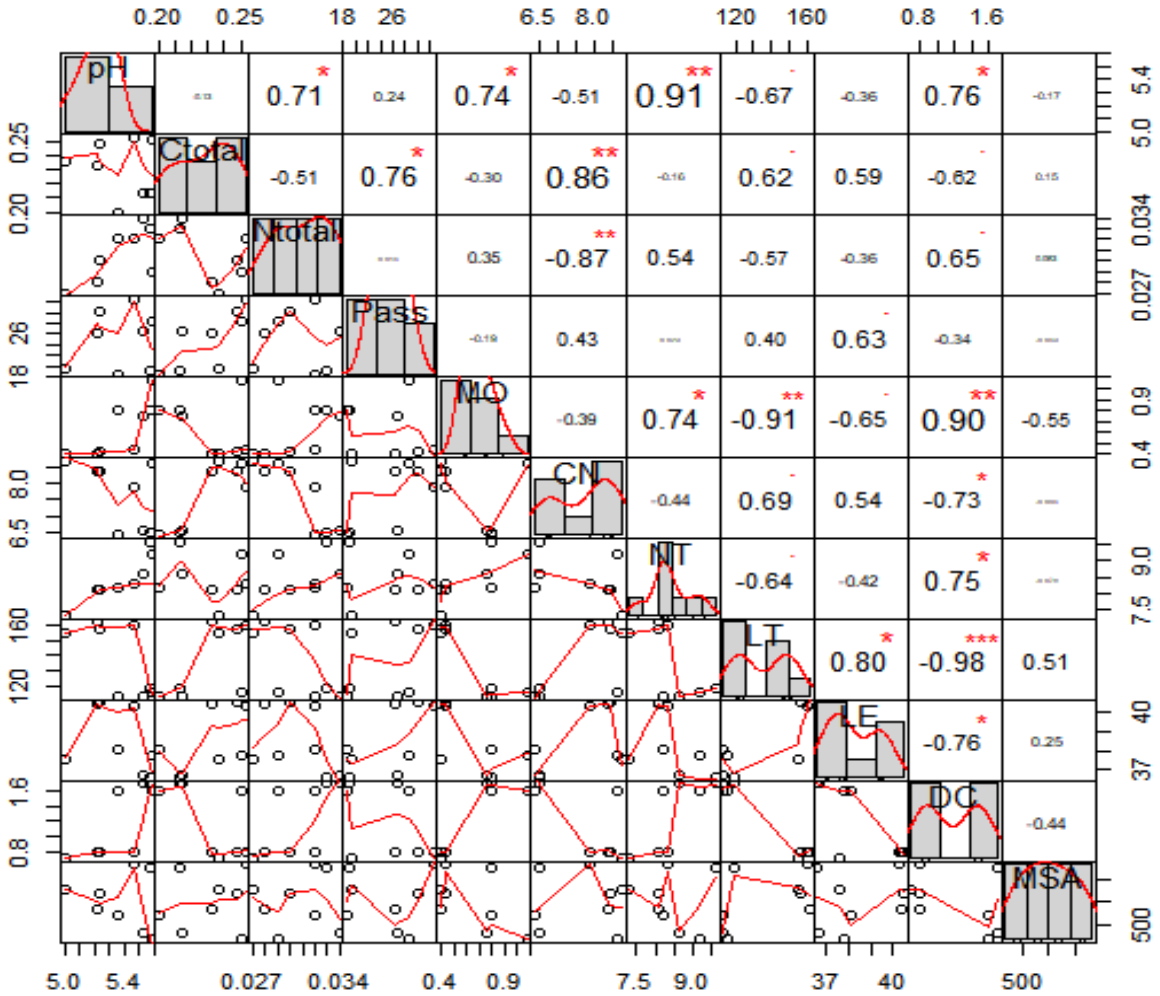


Figure 14 : Corrélations entre les paramètres chimiques du sol et les composantes du rendement du mil.

Chaque niveau de signification est associé à un symbole : valeurs de p (0,001, 0,01, 0,05, 0,1, 1) <=> symboles ("***", "**", "*", ".", " ").

III.1.5 Effet des traitements sur *Striga hermonthica*

La Figure 15 montre la répartition en 2018 de striga en fonction des traitements. En valeur absolue, la densité du striga est plus importante dans les parcelles amendées avec des BRF (43 %) suivi des parcelles ayant reçu le traitement Témoin (28 %) puis le Phosphate de fond (19 %) et enfin la RNA (10 %).

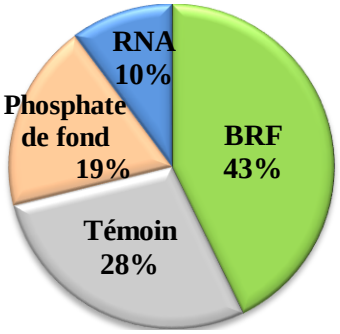


Figure 15 : Répartition de *Striga hermonthica* dans les différentes unités expérimentales en 2018

III.2 Discussion

III.2.1 Effet des traitements sur l'évolution des paramètres chimiques du sol

Les résultats de l'analyse chimique des échantillons de sol montrent que sur les deux années d'études, le pH du milieu a sensiblement augmenté. Les traitements apportés ont positivement corrigé le pH dans la parcelle. Cependant, cette variation du pH est significativement plus marquée dans les parcelles amendées avec des BRF induisant une augmentation de +9,8 % par rapport à l'état de référence. Cette augmentation du pH pourrait être due à la variation positive du taux de calcium (Ca^{2+}) observée chez les BRF (+36,6 %) par rapport à l'état de référence, permettant de dissocier les ions H^+ et OH^- (Lemieux, 1992). En effet le Ca^{2+} occupe à lui seul 70 % de la somme des cations échangeables (Dabin, 1984) et sa plus ou moins concentration contrôle le pH du sol. Des résultats similaires ont été obtenus par Ba et *al*. (2014) qui ont démontré lors d'une étude réalisée en laboratoire qu'après neuf (09) semaines d'incubation l'apport des bois raméaux fragmentés (BRF) de *G. senegalensis* permet d'équilibrer le pH en neutralisant celui des sols (ferrugineux tropicaux). De même, l'évolution du pH du sol serait due à l'augmentation de la matière organique apportée par la RNA et le BRF. Ceci explique la corrélation positive significative existante entre la MO et le pH du milieu ($r=0,74$; $p<0,05$).

Nos résultats montrent une diminution de la teneur en carbone du sol au fil du temps avec les traitements appliqués. Cette diminution non significative observée chez les traitements RNA et BRF, pourrait être due à la faible décomposition de la matière organique fraiche de *G. senegalensis* par les microorganismes du sol. En effet, les BRF de *G. senegalensis* sont riches en lignine (19,6 %) et cellulose (44,51 %) ce qui entraine sa lente décomposition dans le sol. En outre, son rapport élevé en C/N (18,72) ne permet pas une bonne décomposition de la matière carbonée. Ces résultats similaires révélés par Barthès et *al.* (2014) en trois années d'apport du BRF de *P. reticulatum* à un taux de 0,69 Mg C/ha, corroborent ceux obtenus par Félix et *al.* (2018). Ces derniers observent une diminution du taux de carbone durant toute la durée de l'expérience (7 ans) à Gampéla, Burkina Faso avec un apport de 3t/ha. Selon ces auteurs l'effet non significatif du BRF sur le carbone du sol est dû au faible taux d'application et de la variabilité spatiale. Par ailleurs nos résultats ne sont pas en phase avec ceux de Ba et *al.* (2014) qui observent une augmentation du taux de carbone. En effet, la dose d'application de BRF de *G. senegalensis* appliquée par Ba et *al*. (2014) est plus importante que celle utilisée

dans cette étude (04 et 06 tonnes à l'hectare contre deux années d'apport de 01 tonne à l'hectare).

Les résultats obtenus sur le carbone avec le traitement RNA vont à l'encontre de celles obtenues par Chapuis-Lardy et *al*. (2019). Ces derniers ont montré que l'association entre le mil et *G. senegalensis* a permis d'augmenter les teneurs en carbone de 127 % en trois années (2012-2015). La différence pourrait être liée au nombre d'années d'étude mais aussi à la densité de Guiera utilisée dans les deux expérimentations. En effet, ces auteurs ont utilisé une densité de 1200 pieds/ha soit près de 10 fois la densité utilisée dans notre expérimentation (120 pieds/ha). Toutefois, la décomposition et la minéralisation de la matière organique varient en fonction de la composition des résidus de l'arbuste (rapport C/N, teneurs en polyphénols, lignine, hémicellulose et cellulose) (Diedhiou-Sall et *al.*, 2013).

Une augmentation du taux de matière organique a été observée dans la parcelle après deux années d'apport avec tous les traitements comparés à l'état de référence. Cette augmentation très significative en deuxième année, serait due à l'accumulation de la biomasse (feuilles, branches) des bois raméaux fragmentés et celle des plants de *G. senegalensis* présents dans la parcelle. Cet accroissement de MO pourrait également être dû aux résidus de pailles de mil laissés dans le champ après les récoltes. En effet, en utilisant le C et le N disponibles, les microorganismes du sol décomposent rapidement la matière organique d'où une élévation significative du taux de ces derniers. Cependant, nos résultats montrent que, même si les BRF présentent les teneurs en MO les plus élevées et qu'ils induisent un taux d'accroissement de 145,5 % en deux années, leur effet n'est pas significatif par rapport à l'état de référence. Ces résultats sont conformes à ceux de Soumare et *al*. (2002) qui montrent que l'incorporation des bois raméaux fragmentés de *Casuarina equisetifolia* n'a eu aucun effet sur la matière organique du sol. Alors que les BRF de *C. equisétifolia* L. à l'état composté, induisent une augmentation de la matière organique. Ceci pourrait être expliqué par l'apport des amendements de BRF, composé de matière organique en décomposition résultant du compostage avant son incorporation, où des micro-organismes sont déjà en activité (Soumare et *al.*, 2002 ; Montaigne et *al*., 2018).

L'absence d'effet significative des traitements sur la matière organique en première année, s'expliquerait par le fait que les amendements apportés en surface n'ont pas permis une bonne décomposition des matières organiques.

Le faible ratio de C/N (≤ 8) obtenu dans toute la parcelle après deux années d'apport, témoigne de l'augmentation du taux d'azote chez tous les traitements, excepté le BRF. Ce dernier

entraine, en valeurs absolues, une légère augmentation du taux d'azote de 10,34 % en première année et une diminution de 9,37 % en deuxième année par rapport à l'état de référence. L'augmentation de NTotal obtenu dans nos études en première année avec les BRF est conforme aux études réalisées par Ba et *al*.(2014). En effet, pour ces auteurs, l'augmentation de la teneur en N total obtenu serait due à la fluctuation des teneurs en N disponible pour l'activité microbienne et à la décomposabilité de ces amendements. La diminution de N total en deuxième année corrobore les résultats obtenus dans le cadre des travaux de Soumare et *al*.(2002), Barthès et *al*.(2014) et Félix et *al*.(2018). Selon ces auteurs, le faible apport des BRF expliquerait leur effet non significatif sur l'azote total du sol.
L'accroissement significatif de la teneur de l'azote total observé avec le traitement RNA dans cette étude est similaire aux résultats de Bright et *al.*, (2017). Ces derniers ont démontré que la présence d'arbuste de *G. senegalensis* a significativement augmenté les teneurs en nutriments notamment l'azote de 2011 à 2015.

La diminution du phosphore assimilable observée dans cette étude n'est significative qu'avec le traitement 'Phosphate de Matam'. Ces résultats sont en phase avec ceux de Compaoré et *al.* (2001). Leurs travaux ont montré que le phosphate naturel local de Kodjari, appliqué dans les sols ferrugineux, ne permet pas de réalimenter sur le moyen et long termes le pool de phosphate immédiatement disponible.

Par ailleurs, la baisse des éléments chimiques (carbone total, phosphore assimilable et l'azote) dans le cas des BRF pourrait également être expliqué par les deux laboures consécutifs de la parcelle. Car si on se réfère à Caron et Lemieux (1999), dans un champ traité avec des BRF, le labour devrait être retardé de trois ans afin de prévenir l'enfouissement profond et encourager les conditions aérobiques favorables à l'activité enzymatique des basidiomycètes, premiers décomposeurs des BRF. Autrement dit, le taux de matière organique des sols augmente dès lors que l'on supprime le travail du sol et qu'il se retrouve couvert en permanence (Schreiber, 2013).

III.2.2 Effet des traitements sur les variables morphométriques et sur le rendement de la matière sèche du mil

Les résultats ont montré une croissance significative du nombre de talles et du diamètre au collet des tiges, plus élevées en deuxième année avec tous les traitements comparés à la première année. Alors qu'une diminution significative est observée sur la longueur des tiges et la longueur des épis en deuxième année. En effet, ces variables sont corrélées positivement avec le rapport C/N, le pH et la matière organique du sol. Ainsi, l'augmentation des variables « nombre de talles » et « diamètre au collet » des tiges du mil pourrait être expliquée par la faible teneur du rapport C/N du sol (en moyenne 7 pour tous les traitements) et l'augmentation du pH du milieu induit par l'apport de la matière organique dans le sol. Ces paramètres (matière organique, pH, nombre de talles et diamètre au collet) sont négativement corrélés avec la longueur des tiges et la longueur des épis ce qui expliquerait la diminution de ces dernières en deuxième année.

Bien que la différence ne soit pas significative, nos résultats ont révélé, en valeurs absolues, une quantité de matière sèche aérienne plus élevée avec les traitements « Phosphate de fond », « RNA » et « BRF » par rapport au traitement « Témoin » en première année. Dans les parcelles ayant reçu le traitement RNA, la biomasse végétale de *G. senegalensis* laissée sur le sol aurait un effet positif sur le rendement de la matière sèche du mil. En effet, la gestion, en particulier de la taille de l'arbuste dans le système cultivé, permet de préparer un paillis à la surface du sol. Ce paillis, composé des résidus de l'arbuste, constitue une source de carbone et contribue, à travers sa décomposition, à la fourniture de nutriments (Dossa et *al.*, 2009). Ainsi, sur la base de résultats similaires, Dan Lamson et *al* (2015) et Camara et *al.* (2017), confirment l'accroissement des rendements en matière sèche de mil en première année sous l'influence de *G. senegalensis* comparé aux parcelles témoins. De cette manière nos résultats ont été obtenus avec l'utilisation de 2 tiges/ souche de *G. senegalensis* pour la « RNA » conformément à l'étude de Camara et *al*. (2017).

Les résultats ont également montré une quantité de matière sèche aérienne supérieure au Témoin en première année et une diminution en deuxième année avec le traitement BRF. Ces résultats sont similaires à ceux de Félix et *al.*(2018). Ainsi, l'absence d'effet positif significatif observé chez les BRF par rapport au « Témoin » sur la croissance du mil s'expliquerait par l'immobilisation de l'azote par les microorganismes du sol (Noel, 2005). Plusieurs auteurs ont constaté cette immobilisation de l'azote du sol après l'incorporation de BRF frais (Soumare et *al*., 2002 ; Barthès et *al*., 2014 ; Félix et *al*., 2018 ; Thiaw, 2018…). Ce phénomène est

généralement appelé « faim d'azote ». Cependant, cette dernière peut être compensée aisément afin d'avoir une croissance optimale suite à un apport complémentaire d'azote et de BRF. Dès lors, l'association du BRF et d'une première culture de légumineuse est idéale, elle favorise à la fois la culture et l'humification du BRF (Noel, 2005).

Il ressort des analyses que seul le traitement « Phosphate de fond » entraine une augmentation (+7,9 %) significative ($p=5,65^{e}$-15) du rendement en matière sèche du mil en deuxième année. Cet effet positif significatif de l'apport du « phosphate naturel » de Matam serait dû à la disponibilité et à l'accessibilité du minéral essentiel, le phosphore (P), directement utilisables par le mil. En effet le Phosphate de fond (P_2O_5) contient des ions orthophosphates (H_2PO_4- et HPO_4^{2-}) notés Pi, qui représentent les seules formes de phosphore (P) utilisable par les cultures (Plassard et *al.*, 2015). Ces ions sont généralement présents à de faibles concentrations dans la solution du sol. Dès lors, le mil (*P.glaucum*) possède un système racinaire fasciculé important pouvant atteindre dans le cas des sols ferrugineux tropicaux jusqu'à 360 cm de profondeur (Siband, 1981). Cette capacité des *Poaceae* à explorer un large volume de sol, leur permet d'acquérir plus efficacement le Pi du phosphore assimilable dans la solution du sol (Hinsinger et *al.*, 2018).

La faible croissance observée sur les paramètres morphométriques (longueur tige et longueur épis) du mil et sur le rendement de la matière sèche en deuxième année pourraient également être expliqué par l'irrégularité de la répartition pluviométrique en 2018. En effet, un déficit pluviométrique de 4,5 % a été observé par rapport à l'année 2017. Ces déficits constatés au début et à la fin de la saison des pluies auraient un effet négatif sur le développement végétatif du mil. En outre, cette baisse de rendement serait également due à la forte présence de striga dans la parcelle en deuxième année. Cette forte présence de striga en deuxième année, malgré les apports, serait liée à la monoculture de mil entre 2017 et 2018 contrairement en première année (2017) où le précédent cultural est une légumineuse (arachide) en 2016. En réalité le striga est un indicateur des sols pauvres et que cette espèce occasionnerait en moyenne 40 % des pertes de rendement des champs de céréales (Dembele et Sidibe, 2009). Nos résultats ont montré que l'infestation du Striga en deuxième année varie d'un traitement à un autre. Cependant, le traitement RNA favorise moins (10 %) sa prolifération dans la parcelle par rapport aux autres traitements. Cela s'expliquerait par le fait que ce dernier est différent des autres traitements de par la présence du système racinaire dans le système de culture avec le mil. En effet, le striga parasite le système racinaire des plantes de mil. Ainsi, en présence de la touffe de *G. senegalensis*, le mil développe un système racinaire différent (Dan Lamson et *al.*,

2015). En plus de la baisse de la pluviométrie et la présence de striga en deuxième année, la baisse de rendement pourrait aussi être expliquée par la monoculture de mil en deux années consécutives dans la parcelle.

CONCLUSION

Ce travail rentre dans le cadre du projet COPIL/DV qui a pour objectif global d'intégrer la gestion durable des terres dans la gouvernance foncière locale afin de contribuer à réduire la pauvreté et atteindre la sécurité alimentaire. Plus spécifiquement, nos objectifs de recherches sont d'évaluer l'effet de technologies agroforestières (TAF) et de bonnes pratiques agricoles (BPA) sur (i) la fertilité des sols et (ii) sur le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* L. var Souna 3) dans un terroir du Bassin arachidier.

Les résultats obtenus après deux années d'apports des traitements notamment les BRF, ont permis une diminution significative de l'acidité du sol avec une augmentation de 9,8 % du pH. Les traitements RNA et Phosphate de fond ont augmenté significativement les teneurs de la matière organique et l'azote du sol par rapport à l'état de référence. Il importe tout d'abord de souligner que des contraintes d'adaptation aux conditions de la saison des pluies et l'absence de rotations rencontrées par la variété de mil utilisée (Souna3) n'ont pas permis d'avoir des résultats sur les rendements en grains. Les paramètres agronomiques du mil tels que le nombre de talles et le diamètre au collet ont été également amélioré grâce à l'application des TAF et des BPA. En revanche, les apports ont entrainé une décroissance de la longueur des tiges et de la longueur des épis des plants de mil de même que le rendement de la masse sèche aérienne en deuxième année. Cette baisse serait due à plusieurs facteurs notamment la baisse de la pluviométrie, la présence de striga, l'absence de rotation…

En deuxième année seul le traitement « phosphate fond » a augmenté significativement le rendement de la matière sèche épigée par rapport au « Témoin » malgré les contraintes observées. Les corrélations établies entre les paramètres chimiques du sol et les variables agro-morphologiques du mil ont révélé l'influence positive de la matière organique du sol sur le pH, le nombre de talles et le diamètre au collet des tiges. Elles ont aussi montré que les teneurs en MO du sol impactent négativement la longueur des tiges, qui est positivement liée à la matière sèche aérienne du mil. La productivité de ce dernier est favorisée par le traitement « phosphate de fond ».

En résumé, l'apport des traitements sur les deux années a permis d'améliorer le niveau de fertilité du sol via notamment une amélioration significative de quelques propriétés chimiques essentielles (pH, N, MO, C/N) du sol pour une bonne croissance des plantes du mil. Bien que l'évolution de la matière organique dans ces sols soit jugée satisfaisante, il faut cependant signaler que sa teneur reste insuffisante (<2 %). Par conséquent, beaucoup d'efforts restent à consentir pour améliorer le niveau de la matière organique. Quand on sait que l'acidité et la

pauvreté des sols en éléments minéraux constituent des facteurs limitants de premier plan pour l'augmentation de la production des cultures dans le Bassin arachidier, alors l'amendement du sol par les technologies agroforestières pourrait bien constituer une solution alternative durable dans le contexte de dégradation du sol et de changement climatique.

En perspective à ce travail loin d'être exhaustif, il serait intéressant de poursuivre l'étude dans un pas de temps d'au moins cinq (05) ans pour mieux évaluer l'effet de ces pratiques saines à long terme sur les sols de plus en plus pauvres du Bassin arachidier. Ainsi, il serait aussi intéressant de pousser les études sur le développement des striga en présence de *Guiera senegalensis* associé avec le mil. Nos résultats très encourageants sur la RNA pourraient être une solution au développement du striga causant d'énormes pertes de rendement et pour lesquelles il existe peu de mesures de contrôle efficaces. Vu l'importance de l'effet des BRF sur les paramètres chimiques du sol, il serait également intéressant de connaitre la disponibilité de *G. senegalensis* dans la zone afin d'avoir une quantité suffisante pour mieux alimenter les BRF.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIE

Amadou L., Baoua I.B., Ba M.N., Haussmann B., Altiné M. (2017) – Gestion de la chenille mineuse de l'épi du mil par des lâchers du parasitoïde Habrobracon hebetor Say au Niger. *EDP Sciences*, 2–8.

Ba M.F. (2015) – Les Bois Raméaux Fragmentés (BRF) de *Guiera senegalensis* J. F. Gmel et de la fertilisation des sols du Bassin arachidier du Sénégal. Université Cheikh Anta Diop, 72.

Ba M.F., Colinet G., Samba S.A.N., Bassene E. (2014a) – Étude de quelques caractéristiques des bois raméaux fragmentés (BRF) de *Guiera senegalensis* J. F. Gmel et de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst et de leur influence sur des propriétés chimiques et biologiques des sols du Bassin arachidier, Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, **81**, 7253–7262.

Ba M.F., Samba S.A.N., Bassene E. (2014b) – Influence des bois rameaux fragmentés (BRF) de *Guiera senegalensis* J . F . Gmel et de *Piliostigma reticulatum* (Dc) Hochst sur la productivité du mil , *Pennisetum glaucum* (L .). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**, 1039–1048.

Badiane M. (1999) – Gestion intégrée des ennemis du mil dans des champs paysans à Bambey sérère : test de méthodes de contrôle du mildiou, du striga et de la mineuse de l' EPI, avec l'approche IPM. Ecole Nationale Supérieur d'Agriculture (ENSA), 1-78.

Badji M., Sanogo D., Coly L., Diatta Y., Akpo E. (2015) – La Régénération Naturelle Assistée (RNA) comme un moyen de reverdir le bassin arachidier au Sénégal : cas du terroir de Khatre Sy. , **9**, 234–245.

Bakhoum C. (2012) – Diversité et capacités de régéneration naturelle du peuplement ligneux dans les systèmese agraires du Bassin arachidier en zone Soudano-sahélienne (région de Kaffrine, Sénégal). Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 1-151.

Bakhoum C., Agbangba E.C., Ndour B. (2012) – Natural regeneration of tree in arid and semi-arid zones in West Africa. *Journal of Asian Scientific Research*, **2**, 820–834.

Balde M. (2018) – Évaluation des effets d'apports d'amendements ligneux sur le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* L.) et l'enherbement : cas des bois raméaux fragmentés (BRF) de *Guiera senegalensis* J.F. Gmel. Université Assane Seck de Ziguinchor,1-56.

Barthès B.G., Penche A., Hien E. (2014) – Effect of ramial wood amendment on sorghum production and topsoil quality in a Sudano-Sahelian ecosystem (central Burkina Faso). , 81–93.

Bationo B.A. (1994) – Etude des potentialités agroforestières, de la multiplication et des usages de *Guiera senegalensis* J.F.GMEL. Université de Ouagadougou, 1-102.

Berhaut J. (1975) – Flore illustrée du Sénégal. Dicotylédones. Tome IV. Ficoïdées à Légumineuses. Dakar. , **b**, 776–1035.

Bonnet P., Arbonnier M., Grard P. (2008) – Ligneux du Sahel: Outil graphiqued'identification. *Quae, CTA-CIRAD*, **1.0**.

Bright M.B.., Diedhiou I., Bayala R., Assigbetsé K., Chapuis L.L., Ndour Y.., Dick R. (2017) – Long-term *Piliostigma reticulatum* intercropping in the Sahel : crop productivity, carbon sequestration, nutrient cycling, and soil quality. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 9–22.

Camara B.A., Drame M., Sanogo D., Ngom D. (2017) – La régénération naturelle assistée :

perceptions paysannes et effets agro-écologiques sur le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* (L .) R . Br .) dans le bassin arachidier au Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 11025–11034.

Caron C., Lemieux G. (1999) – Le bois raméal pour la régénération des sols agricoles et forestiers - seconde partie -. *Bio-Bulle : Centre d'agriculture biologique de la Pocatière,*, 1–2.

Chapuis-Lardy L., Badiane Ndour, N.Y Assigbetse K., Diédhiou I., Balaya, R., Cournac L., Founoune-Mboup H. M.S.G.B., Ghezzehei T., Jourdan C., Bright M.B., Bogie N. D.S., Delay C., Diakhaté S. S.D.M. et D.R.P. (2019) – Les cultures vivrières associées aux arbustes natifs : un modèle adapté au climat sahélien. In: *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale* (eds Seghieri J, Harmand J-M), pp. 1–254.

CILSS (2012) – Bonnes pratiques agro-sylvo-pastorales d'amélioration durable de la fertilité des sols au Burkina Faso. , 194.

Cirad (2017) – Conception des systèmes agro-écologiques par la gestion des bioagresseurs et l'utilisation de résidus organiques. *DIVECOSYS*.

Compaoré E., Fardeau J., Morel J., Sedogo M.P. (2001) – Le phosphore biodisponible des sols : une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, 81–85.

Cornelis J. (2001) – Un autre regard sur la fertilité du sol. *Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux*, 1–13.

Dabin B. (1984) – Les sols tropicaux acides. *Cahiers - ORSTOM, Serie Pedologie*, **21**, 7–19.

Dan Lamson N., Guero Y., Tankari Dan-badjo A., Rabah L., Andre B., Patrice D., Tidjani A.D., A D O Maman N., Marie A.J. (2015) – Effet de touffes de *Guiera senegalensis* sur la production du mil dans la région de Maradi (Niger). *Revue des BioRessources*, **5**, 1–13.

DAPSA (2018) – Rapport d'évaluation préliminaire des récoltes de la campagne 2018/2019 et de la sécurité alimentaire et de la nutrition. , 1–32.

Delville P.L. (1996) – Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel.*Groupe de Recherche et d'échanges Technologiques (GRET).*

Dembele B., Sidibe A. (2009) – Guide de formation en lutte participative contre le striga dans le système de culture à base de Sorgho. Mali.

Diagne G. (2005) – Etude de quelques aspects de la biologie et de la physiologie des relations parasitaires du charbon du mil (*Tolyposporium penicillariae* sur le *Pennisetum*). *Bibliothèque Centrale de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar*, Bibliothèque Centrale UCAD.

Diakhaté D., Chopart J.L., Ralisch R. (2018) – Traits fonctionnels de *Brachiaria* (TRIN .) *Brizantha* (HOCHST.) Stapf, B. Decumbens Staps et *B. Ruziziensis* (Germs. & Evrard) Ndab cultivés en association avec *Pennisetum glaucum* (L .) Leekr R . BR . en climat tropical sec. *Agronomie Africaine*, **30**, 225–235.

Diedhiou-Sall S., Dossa E.L., Diedhiou I., Badiane A.N., Assigbetsé K.B., Samba S.A.N., Khouma M., Sène M., Dick R.P. (2013) – Microbiology and macrofaunal activity in soil beneath shrub canopies during residue decomposition in agroecosystems of the Sahel. *Soil Science Society of America Journal*, **77 No.2**, 501–511.

Diome T. (2014) – Biodémographie et diversité génétique des populations de *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, Tenebrionidae) ravageurs des grains de mil (*Pennisetum*

glaucum Brown) en stock au Sénégal. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
En ligne sur le site du Bibliothèque centrale de l'UCAD. http://bibnum.ucad.sn

Diouf B., Lo H.M., Dieye B., Sane O. (2014) – Pour une agriculture intelligente face au changement climatique au Sénégal : Recueil de bonnes pratiques d'adaptation et d'atténuation, 1-181.

Dossa E.L., Khouma M., Diedhiou I., Sene M., Kizito F., Badiane A.N., Samba S.A.N., Dick R.P. (2009) – Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization potential of semiarid Sahelian soils amended with native shrub residues. *Geoderma*, **148**, 251–260.

Fao (2015) – Agriculture durable, productivité et fertilité du sol, www.unifa.fr.

FAO, ISRA (2008) – État des ressources phytogénétiques pour l'aimentation et l'agriculture dans le monde. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, *57*.

Faye E., Diallo H., Samba S.A.N., Touré M.A., Dramé A., Fall B., Lejoly J., Diatta M., Kaïré M. (2013) – Importance de la méthode de coupe sur la régénération de Combretaceae du Bassin arachidier sénégalais. *TROPICULTURA*, 44–52.

Félix G.F., Clermont-Dauphin C., Hien E., Groot J.C.J., Penche A., Barthès B.G., Manlay R.J., Tittonell P., Cournac L. (2018) – Ramial wood amendments (*Piliostigma reticulatum*) mitigate degradation of tropical soils but do not replenish nutrient exports. *Land Degradation and Development*, **29**, 2694–2706.

Ganyo K.K. (2014) – Effet du biocharbon dans une rotation culturale mil/arachide en station expérimentale à Bambey (Région de Diourbel). Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 1-41.

Guissou T., BA A.M., Guinko S., Duponnois R., Plenchette C. (1998) – Influence des phosphates naturels et des mycorhizes à vésicules et à arbuscules sur la croissance et la nutrition minérale de *Zizyphus mauritiana* Lam. dans un sol à pH alcalin. *ISRA/Orstom,*, 925–931.

Gupta S., Ndoye A.T., Andrews D.J. (1980) – Essais variétaux sur le mil au Sénégal. *Agronomie Tropicale*, **38**, 229–233.

Hinsinger P., Herrmann L., Lesueur D., Robin A., Trap J., Waithaisong K., Plassard C. (2018) – Impact of roots, microorganisms and microfauna on the fate of soil phosphorus in the rhizosphere. *Annual Plant Reviews Online*, **48**, 377–407.

ICRAF (2019) – Global Soil Week,http://new.worldagroforestry.org/event/global-soil-week

IFA, UNIFA (2015) – La fertilisation et les sols : les experts en parlent, *www.fertilizer.org – Ifa@fertilizer.org*.

INP (2009) – Lutte contre la baisse de la production des terres. *Afrique Développement Local*, En ligne: https://www.sendeveloppementlocal.com

ISRA/CNRA (1991) – Note succinte sur les principales recherches et les résultats obtenus sur la fertilisation phosphatée au Sénégal. , 1–12.

ISRA (2008) – Agriculture durable et réduction de la pauvreté dans le Bassin arachidier du Sénégal : du Modèle Analyse Tradeoffs. *Reflexion et perspactives, ISRA* (Vol. 6). https://doi.org/10.1051/kmae:1993006

ISRA (2012) – Catalogue officiel des especes et des varietes cultivees au Senegal., 212.

Issoufou B., Moustapha A.M., Toudou A., Ali M. (2013) – Impact des modes de gestion de la Régénération Naturelle Assistée des ligneux (RNA) sur la résilience des écosystèmes dans le Centre-Sud du Niger. , 5742–5752.

Jeffery S., Gardi C., Jones A., Montanarella L., Marmo L., Miko L., Ritz K., Peres G. (2010) – Atlas Europeen de la biodiversité des sols. https://doi.org/10.2788/89331

Kadri A., Halilou H., Karimou I. (2019) – Culture du mil [*Pennisetum glaucum* (L) R . Br] et ses contraintes à la production : une revue Millet Crop [*Pennisetum glaucum* (L .) R . Br] and its constraints to production : review. *Internationnal Journal of Biological and Chimical Sciences*, **13**, 503–524.

Kane A. (2014) – Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) dans le sud bassin arachidier du Sénégal : diversité et impact des pratiques culturales sur la mycorhization et le développement de trois cultures et de leurs adventices associées. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Karimou I., Zakari Moussa O., Adamou I., Adamou H., Halilou H., Adam T., Adamou B. (2018) – Historique et perspectives de La recherche sur Le mildiou du mil (*Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schroet .) au Niger : revue de la littérature. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, **11**, 1–8.

Kizito F., Dragila M., Sène M., Lufafa A., Diedhiou I., Dick R.P., Selker J.S., Dossa E., Khouma M., Badiane A., Ndiaye S. (2006) – Seasonal soil water variation and root patterns between two semi-arid shrubs co-existing with Pearl millet in Senegal, West Africa. *Journal of Arid Environments*, **67**, 436–455.

Kouakou P.K. (2013) – Amélioration de la prévision des rendements du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) au Sénégal par l'utilisation de modèles de culture : prise en compte de la sensibilité à la photopériode des variétés et de la fertilité dans les parcelles d'agriculteurs. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 1-17.

Kountche B.A., Hash C.T., Dodo H., Laoualy O., Sanogo M.D., Timbeli A., Vigouroux Y., This D., Nijkamp R., Haussmann B.I.G. (2014) – Development of a pearl millet Striga-resistant genepool: Response to five cycles of recurrent selection under Striga-infested field conditions in West Africa. *Field Crops Research*.https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.07.008

Lemieux G. (1992) – Le bois raméal et la pédogénèse: une influence agricole et forestière directe. *Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux*, 1–45.

Lemieux G., Germain D. (2002) – Le Bois Raméal Fragmenté : La clé de la fertilité durable du sol. *Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux*, 1–23.

Lemieux G., Lachante L. (2000) – Une tentative d'évaluation de la technologie BRF pour des fins maraichères.*Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux.Québec Canada.*

L**emieux G., Larochelle L. (1996)** – Rapport de mission au Sénégal du 5 au 15 décembre1992. *Québec Canada*.http//forestgeomat.ffg.ulaval.ca/brf/

Louppe D., Ndour B., Samba S.A.N. (1988) – Influence de *Faidherbia albida* sur l'arachide et le mil au Sénégal. *Deuxième partie: Sol et cultures*, 123-139.

Maiti R.K., Bidinger F.. (1981) – Growth and Development of the Pearl Millet Plant. *Research Bulletin N° 6. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics ICRISAT Patancheru P.O., Andhra Pradesh 502324, India*, 1–14.

Mary F., Besse F. (1996) – Guide d'aide à la décision à l'Agroforesterie , *Tom 1(GRET), 1-301*.

Montaigne W., DeBon H., Domenach A M., Rggy J.-C. (2018) – Gestion durable de la fertilité des sols par l'utilisation de matières organiques : retours d'expériences de Guyane

française. *Innovations Agronomiques*, **64**, 71–82.

Nacro S., Ouedraogo S., Traore K., Sankara E., Kabore C. (2010) – Effets comparés des pratiques paysannes et des bonnes pratiques agricoles de gestion de la fertilité des sols sur les propriétés des sols et les rendements des cultures dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso. *Internationnal Journal of Biological and Chimical Sciences*, **4**, 1044–1055.

Ndiaye O. (2018) – Analyse des politiques agricoles et commerciales au Sénégal: sécurité et souveraineté alimentaires compromises. Université Sherbrooke.

Ndour P.M.S. (2017) – Effet de la variabilité génétique du mil (*Pennisetum glaucum* L.R. Br.) sur la diversité et l'activité des micro-organismes du sol rhizosphérique: Conséquences agronomisues et physiologiques. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 1-139.

Noba K. (2002) – La flore adventice dans le Bassin arachidier (Sénégal): structure, dynamique et impact sur la production du mil et de l'archide. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.http://bibnum.ucad.sn, 1- 142.

Noel B. (2005) – Le Bois Raméal Fragmenté .Plus de carbone pour nos sols. *Centre des Technologies Agronomiques*, 3–38.

Pauline B.M. (1990) – Résistance variétale du niébé (*Vigna unguiculata* (L) Walp) au *Striga gesnerioides* (Will) Vatke). Centre National de recherche agronomique /ISRA, 1-40.

PDC-Ndiago (2019) – Plan de Développement Communal de Ndiago.

Plassard C., Agnès R., Le Cadre E., Marsden C., Trap J. et al (2015) – Améliorer la biodisponibilité du phosphore : comment valoriser les compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol ? *Innovations Agronomiques*, **43**, 115–138.

Samaké O., Dakouo J.M., Kalinganire A., Bayala J., Koné B. (2011) – Régénération naturelle assistée- Gestion des arbres champêtres au Sahel, 1-29.

Sanogo D., Camara B.A., Diatta Y., Coly L., Diop M.J.-N., Badji M., Binam (2019) – La régénération naturelle assistée dans le bassin arachidier du Sénégal, une alternative pour réduire la pauvreté en milieu rural. In: *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale* (eds Seghieri J, Harmand J-M), p. 254.

Sarr O., Diatta S., Gueye M., Ndiaye P.M., Akpo L.E., Sarr O., Diatta S., Gueye M., Ndiaye P.M., Guisse A. (2018) – Importance des ligneux fourragers dans un système agropastoral au Sénégal (Afrique de l'ouest). *HAL Id: hal-01722601*, 1–7.

Savadogo O.M., Ouattara K., Barrron J., ... (2015) – Etats des écosystèmes sahéliens : reverdissement, perte de la diversité et qualité des sols. *Afrique science*, **11**, 433–446.

Schreiber K. (2013) – Un constat, une évidence,..., une certitude: Couvrir le sol pour produire de l'eau propre. *Institut de l'Agriculture Durable (IAD)*, 1–20.

Sebilotte M. (1993) – L'agronome face à la notion de fertilité. *Natures - Sciences - Sociétés*, 1–14.

Seck M.. (1993) – Essais de fertilisation organique avec les bois raméaux fragmentés de filao (*Casuarina equisetifolia*) dans les cuvettes maraîchères des Niayes (Sénégal). In: *Les actes du quatrième colloque international sur les bois raméaux fragmentés* (eds Les G de C sur, Raméaux), pp. 36–41. Département des Sciences forestières, Université Laval, Québec (Canada).

SERPM-SA. (2009) – Les Phosphate de Matam engrais Naturelle 100% "BIO" au service de la GOANA, 1-16

http://www.cciak.sn/IMG/pdf/exploitation_phosphates_de_matam_pour_engrais.pdf.

Siband P. (1981) – Croissance, nutrition et production du mil (*Pennisetum typhoides*, Hubbard et Stapf), essai d'analyse du fonctionnement du mil en zone sahelienne. *AGRIS*, 283-302.

Siene L.A.C., Muller B., Ake S. (2010)– Étude du développement et de la répartition de la biomasse chez deux variétés de mil de longueur de cycle différente sous trois densités de semis. *Journal of Applied Biosciences*, **35**, 2260–2278.

Somda J., Sawadogo I., Savadogo, Moumini Zougmoré R., Bationo B.A., Moussa, Abdoulaye Saley Nakoulma G., Sanou J., Barry S., Sanou A.O., Some L. (2014) – Analyse participative de la vulnérabilité et planification de l'adaptation au changement climatique dans le Yatenga, Burkina Faso. *Programme de recherche du CGIAR sur le Changement Climatique, l'Agriculture et la Sécurité Alimentaire*, 44.

Soumare M.D., Mnkeni P.N.S., Khouma M. (2002) – Effects of *Casuarina equisetifolia* composted litter and ramial-wood chips on tomato growth and soil properties in Niayes, Senegal. *Biological Agriculture and Horticulture*, **20**, 111–123.

Sow A., Lagnane O. (2010) – Exploitation à petite échelle des phosphates de matam pour la production d'engrais ternaires en bulk blinding' 'rapport". République du Sénégal.

Thiaw M.M.A. (2018) – Effets de l'apport des Bois Raméaux Fragmentés (BRF) de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst sur le rendement du mil (*Pennisetum glaucum L.*) et des herbacées dans le Bassin arachidier. Université Cheikh Anta Diop de Dakar,1-42.

Thioub M. (2015) – Elaboration de référence pour l'évaluation de la politique publique pour les filières Mil & Sorgho au Sénégal. Ecole Nationale de la Statistique et de l'Analyse Economique (ENSAE-Dakar),1-87.

Tissaux J.-C. (1996) – Une revue bibliographique des principaux mécanismes pédogénétiques pour caractériser le rôle du bois raméal fragmenté (BRF) dans le processus d'humification. Université Laval, Faculté de Foresterie et de Géomatique,1-38.

Tostain S., 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. *Le mil en Afrique : diversité génétique et agro-physiologique : potentialités et contraintes pour l'amélioration et la culture*, 33–56.

www.worldagroforestry.org .

ANNEXE

EFFETS DE TECHNOLOGIES AGROFORESTIERES ET DE BONNES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA FERTILITE DES SOLS ET LES PARAMETRES AGRO-MORPHOLOGIQUES DU MIL (*PENNISETUM GLAUCUM* (L.) R. BR.) DANS LE TERROIR DE NGUICK, BASSIN ARACHIDIER (SENEGAL)

Aminata BEYE[1,2], Tamsir MBAYE[2], Sékouna. DIATTA[1] , Marième Fall BA[2], Dioumacor FALL[3].

[1] Université Cheikh Anta DIOP (UCAD), BP: 5005, Dakar-Fann, Dakar Sénégal ; [2] Centre national de recherche forestières (ISRA/CNRF), route des pères Mariste, BP : 2312 Dakar/ Hann; [3] Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey, Route de Diourbel , BP : 53, Bambey- Sénégal.

Email : aminabeye45@gmail.com

Introduction

Au Sénégal, la dégradation physique, chimique et biologique des terres a comme conséquence la baisse de la fertilité des sols. C'est le cas dans le centre Sud du Bassin arachidier où la pauvreté des terres cultivables en matière organique entraine un impact négatif sur leur productivité, surtout dans le contexte de changement climatique. Ainsi, avec l'appauvrissement continu en éléments nutritifs des terres, la durabilité de l'agriculture peut être remise en cause si la culture continue n'est pas couplée à l'utilisation de pratiques adéquates de restauration des sols. Compte tenu du rôle que joue l'agriculture dans l'amélioration de la sécurité alimentaire, il est indispensable de développer des stratégies pour y remédier. Ce travail rentre dans le cadre du projet COPIL/DV dont l'objectif global consiste à intégrer la gestion durable des terres dans la gouvernance foncière locale afin de contribuer à réduire la pauvreté et atteindre la sécurité alimentaire. Plus spécifiquement, nos objectifs de recherches dans ce mémoire de master est d'évaluer l'effet de technologies agroforestières (TAF) et de bonnes pratiques agricoles (BPA) sur (i) la fertilité des sols et (ii) le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* L. var Souna 3) dans un terroir du Bassin arachidier (Nguick) sur 2 années consécutives (2017 et 2018).

Méthodologie

❑ **Présentation de la zone d'étude**

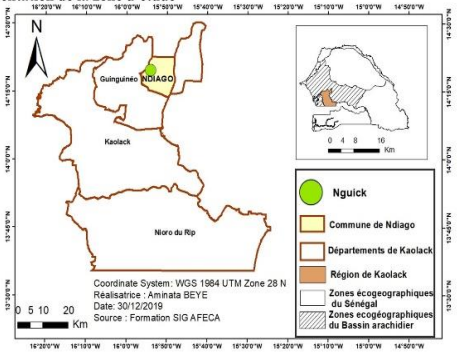


Figure 1 : situation du site d'étude par rapport au Bassin Arachidier du Sénégal et à la région de Kaolack

❑ **La méthodologie** utilisé est :

- Mise en place d'un dispositif expérimental en bloc complètement randomisé avec quatre traitements (BRF de *Guiera senegalensis* à 1t/ha, RNA de *G.senegalensis* à 120 pieds/ha, Phosphate de fond à 400 kg/ha et Témoin) en 2017 puis reconduit à l'état en 2018.
- Analyse des échantillons de sol prélevés à l'horizon 0-20 cm des parcelles permanentes avant l'application des traitements et après chaque récolte pour déterminer l'évolution de leurs paramètres chimiques.
- Evaluation des paramètres agronomiques et le rendement de la matière sèche du mil après la récolte pour chaque traitement.

Conclusion

Au terme de cette étude, les résultats ont montré que l'apport des traitements sur les deux années ont permis d'améliorer le niveau de fertilité du sol par l'amélioration significative de quelques propriétés chimiques essentielles (pH, N, MO, C/N) du sol indispensables à une bonne croissance des plantes du mil.

Par conséquent, de tels résultats indiquent que l'acidité et la pauvreté des sols en éléments minéraux, principaux facteurs limitant pour l'augmentation de la production des cultures dans le Bassin arachidier, peuvent être solutionnés par l'amendement du sol par des TAF et BPA adaptées.

Bibliographie

Ba M.F., Colinet G., Samba S.A.N., Bassene E. (2014a) – Étude de quelques caractéristiques des bois raméaux fragmentés (BRF) de *Guiera senegalensis* J. F. Gmel et de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst et de leur influence sur des propriétés chimiques et biologiques des sols du Bassin arachidier, Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, **81**, 7253–7262.

Compaoré E., Fardeau J., Morel J., Sedogo M.P. (2001) – Le phosphore biodisponible des sols : une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, 81–85

Remerciements

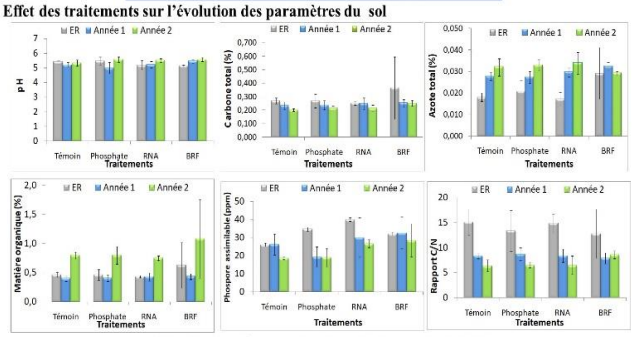
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

AGENCE ITALIENNE POUR LA COOPERATION AU DEVELOPPEMENT

Plateforme Nationale DV&GF

Résultats

❑ **Effet des traitements sur l'évolution des paramètres du sol**



ER : état de référence ; Année 1= 2017 ; Année 2= 2018

Les barres d'erreur présentent l'erreur standard et ANOVA avec P<0,05

Figure 2 : Evolution des paramètres chimiques (pH, C, N, P et MO) du sol en fonction des traitements en 2017 et 2018 dans la parcelle de démonstration à Nguick.

- Augmentation du pH due au traitement BRF (+9,8 %) conformément aux travaux de BA et *al*, (2014)
- Augmentation significative du taux de matière organique dans la parcelle après deux années d'apport avec tous les traitements comparés à l'état de référence. Ceci serait dû à l'accumulation de la biomasse des bois raméaux fragmentés, celle des plants de *G. senegalensis* et aux résidus de paille de mil présents dans la parcelle.
- Le faible ratio de C/N (≤ 8) obtenu dans toute la parcelle après deux années d'apport, témoigne de l'augmentation du taux d'azote chez tous les traitements excepté le BRF en deuxième année (-9,37 %) et de la diminution du carbone en grande partie aussi, en principe
- Diminution du phosphore assimilable avec tous les traitement. Ce qui traduit d'un prélèvements de phosphore par les plantes diminuant ainsi le phosphore dissous dans la solution du sol. Cette diminution est très significative avec le traitement Phosphate de fond par rapport à l'état de référence. Ce qui est en phase avec les travaux de Compaoré et *al*, (2001)

❑ **Effet des traitements sur les paramètres de croissance et sur le rendement de la matière sèche du mil**

Tableau 1 : Effet des traitements sur les variables morphométriques du mil en 2017 et 2018

	Paramètres							
	Nombre talles		Longueur tige (cm)		Longueur épis (cm)		Diamètre collet des tiges (cm)	
Traitements	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Témoin	8,1[a] ±3,71	8,2[a] ±3,72	162[a] ±21,59	113,1[b] ±23,39	40,4[a] ±6,36	38,1[a] ±7,87	0,8[b] ±0,21	1,6[a] ± 0,46
Phosphate	7,3[b] ±3,18	9,6[a] ±5,51	154,9[a] ±25,59	118,4[b] ±30,41	37,6[a] ±8,68	36,6[a] ±9,15	0,8[b] ±0,24	1,8[a] ±0,53
RNA	8,1[b] ±4,20	8,7[a] ±4,14	157,3[a] ±31,39	112,7[b] ±26,80	40,5[a] ±8,02	36,7[a] ±8,69	0,9[b] ±0,22	1,7[a] ±0,48
BRF	8,3[b] ±3,46	9,2[a] ±5,20	160[a] ±20,2	115,3[b] ±28,59	40,3[a] ±6,60	37,8[a] ±9,21	0,9b ±0,22	1,6[a] ±0,45

Pour chaque ligne, les valeurs suivies par la ou les même (s) lettre (s) ne sont pas significativement différentes selon la variable considérée au seuil de 5 % d'après le test de Student Newman Keuls

Tableau 2 : Effet des traitements sur le rendement en matière sèche (kg/ha) en fonction des traitements en 2017 et 2018

	Années			
Traitements	2017	2018	P-value	Variation (%)
Témoin	533,2[a]	519,2[a]	0,4521	-2,6
Phosphate de fond	577,6[a]	623,2[a]	0,2512	+7,9
RNA	566,8[a]	484,0[a]	0,1195	-14,6
BRF	631,2[a]	468,0[a]	0,0800	-25,8

Pour chaque colonne, les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tuckey

Meilleur rendement en matière sèche aérienne en 2017.

❑ **Contraintes de la production de mil en 2018 :**

- Baisse de la pluviométrie par rapport à l'année 2017 (-4,5 %);
- Forte présence de *Striga hermonthica* dans la parcelle en deuxième année;
- Monoculture de mil sur deux année consécutives.

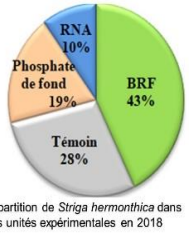


Figure 3: Répartition de *Striga hermonthica* dans les différentes unités expérimentales en 2018