



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI



FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES (FSA)

**ECOLES DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE PRODUCTION
VEGETALE (ESTPV)**

**Spécialité : Gestion Durable de la Fertilité des Sols
Tropicaux**



**Effet des bois raméaux fragmentés de *Gmelina arborea* et de la litière de volaille
sur la croissance et la production du gombo sur sol ferrallitique au Sud Benin.**

Etudiant:

Freddy Fidèle T. AKUETE

Superviseur :

Pr. Guillaume Lucien AMADJI

*Professeur Titulaire des Universités du CAMES
Directeur du Centre d'Expertise et de Recherche en
Eco Pédologie (CEREP) et du Laboratoire des
Sciences du Sol de la FSA*

Année académique : 2018-2019

LES RECHERCHES QUI ONT CONDUIT A LA PRESENTATION DE CE TRAVAIL ONT ETE
FINANCIEREMENT ET MATERIELLEMENT APPUYEES PAR LE PROJET PAREA DE LA
FONDATION PAUL GUERIN LAJOIE, DU FONDS VERT DU PCCI DU MELCC DU QUEBEC,
DANS LE CADRE DU PLAN D'ACTION 2013-2020 SUR LES CHANGEMENTS
CLIMATIQUES.

CERTIFICATION

*Nous certifie que ce travail a été entièrement réalisé sous notre supervision par l'étudiant **Freddy Fidèle Tété AKUETE** l'Ecole des Sciences et Techniques de Production Végétale (ESTPV) de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) pour l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques.*

Le Superviseur,

Prof. Dr. Ir. AMADJI L. Guillaume

Professeur Titulaire en Science du sol des Universités de CAMES FSA/UAC

***Directeur du Centre d'Expertise et de Recherche en Eco Pédologie (CEREP) et du
Laboratoire des Sciences du Sol de la FSA.***

DEDICACE

A mes très chers parents, Feu Mireille Thècle CODJIA ; Félix AKUETE et Pélagie Lucile NACSIMENTO pour leur soutien dans la réalisation de ses travaux.

REMERCIEMENTS

J'exprime toute ma gratitude à/au :

- ♣ Prof. Dr Ir. Guillaume Lucien AMADJI, pour avoir accepté de diriger ce travail, en dépit de son programme très chargé ;
 - ♣ Dr. Ir. Elvire SOSSA pour son suivie et ses multiples conseils ;
 - ♣ Doctorant Rodrigue DAASSI pour son accompagnement et son soutien
 - ♣ Doctorants Issiakou HOUSSOUKPEVI, Faki CHABI, Crescendo SEHOUN, Lucas ADOHO pour leur accompagnement ;
 - ♣ mon père Félix AKUETE et ma feu mère Mireille CODJIA ; cette œuvre est aussi la vôtre ;
 - ♣ mes frères et sœurs Julio, Fédine, Frizelle, Francine, Fabrice pour le soutien et l'affection ;
- Je n'oublie pas :
- ♣ tous mes Professeurs et encadreurs pour leurs précieux enseignements ;
 - ♣ tous mes camarades et amis de la 6^{ème} promotion LMD de la Faculté des Sciences Agronomiques, en particulier ceux du Master en Gestion Durable de la Fertilité des Sols Tropicaux pour l'amitié et la chaleur qui nous ont toujours liées autour d'un même idéal, celui de la réussite ;
 - ♣ tous ceux qui de près ou de loin m'ont toujours soutenu dans mon processus d'instruction ou qui ont apporté une aide substantielle à la réalisation de cette œuvre.

Profondes gratitudees !

RESUME

La présente étude a pour objectif général d'évaluer le statut organique du sol et la production du gombo sous l'effet des Bois Raméaux Fragmentés (BRF) de *Gmelina arborea* et la litière de volaille. L'expérimentation a été conduite dans le lycée Mèdji de Sékou au sud du Bénin. Deux facteurs (amendements organiques et volume d'arrosage) ont été utilisés sous un dispositif en split-plot avec quatre répétitions. Les traitements considérés sont : T1 : BRF_V1 ; T2 : LV_V1 ; T3 : BRF+LV_V1 ; T4 : Témoin_V1 ; T5 : BRF_V2 ; T6 : LV_V2 ; T7 : BRF+LV_V2 ; T8 : Témoin_V2. L'échantillonnage des sols sur les profondeurs 0-20cm et 20-40cm après récolte du gombo a permis de faire l'analyse physico-chimique et hydrique des sols au laboratoire. Les racines ont été prélevées à la floraison de la culture pour le comptage des structures vésiculaires à la loupe binoculaire et les mesures de hauteurs et le nombre de feuille sur les plants de gombo. Le résultat révèle une significativité des traitements avec les bois raméaux fragmentés de *Gmelina arborea* sur les éléments chimiques analysés caractéristique de la fertilité des sols. Le traitement T5 présente les meilleurs taux en éléments chimique considérés. L'effet simple du facteur amendement est significatif sur le taux de colonisation des racines. Les amendements BRF et BRF-LV présentent les taux les plus élevés. La réduction de moitié du volume d'arrosage et le facteur amendement influencent significativement la hauteur et le nombre de feuille du gombo. Par contre aucune significativité n'est observé par l'ensemble des facteurs sur le rendement fruit du gombo. Le rendement maximal obtenu était de 2,4t/ha contrairement au potentiel de 12t/ha qu'on reconnaît pour la variété Icrisat cultivée. Notre étude a montré que les bois raméaux fragmentés sont une perspective durable dans le maintien de la fertilité des sols à travers l'amélioration des paramètres physico-chimique, hydrique et microbiologique des sols.

Mots clés : Bois raméaux fragmentés, *Gmelina arborea*, gombo, propriété du sol, paramètre de croissance, rendement.

ABSTRACT

The general objective of this study is to evaluate the organic status of the soil and the production of okra under the effect of Ramial Woods Cheaps (RWC) of *Gmelina arborea* and poultry litter. The experiment was conducted in the Mèdji high school of Sékou in southern Benin. Two factors (organic amendments and watering volume) were used under a split-plot system with four replicates. The treatments considered were : T1: BRF_V1; T2: LV_V1; T3: BRF+LV_V1; T4: Témoin_V1; T5: BRF_V2; T6: LV_V2; T7: BRF+LV_V2; T8: Témoin_V2. Soil sampling at depths of 0-20cm and 20-40cm after the okra harvest made it possible to carry out the physico-chemical and hydric analysis of the soils in the laboratory. Roots were taken at the flowering of the crop for counting vesicular structures with a binocular magnifying glass and measurements of heights and leaf counts on okra plants. The result reveals a significant effect of treatments with the fragmented twigs of *Gmelina arborea* on the chemical elements analysed characteristic of soil fertility. The T5 treatment presents the best rates in chemical elements considered. The simple effect of the amendment factor is significant on the rate of root colonisation. The BRF and BRF-LV amendments have the highest rates. The halving of the watering volume and the amendment factor significantly influences the height and number of leaves of okra. On the other hand, no significant effect was observed for any of the factors on the yield of okra fruit. The maximum yield obtained was 2,4t/ha, in contrast to the potential of 12t/ha for the cultivated Icrisat variety. Our study showed that fragmented branched wood is a sustainable perspective in maintaining soil fertility through the improvement of the physico-chemical, hydric and microbiological parameters of the soil.

Keywords: Ramial Wood Cheaps, *Gmelina arborea*, okra, soil property, growth parameter, yield.

TABLE DES MATIERES

CERTIFICATION.....	iii
DEDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS	v
RESUME.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTES DES FIGURES.....	x
1 : INTRODUCTION GENERALE	1
1.1 Introduction	1
1.2 Problématique, objectifs et hypothèses	2
1.2.1 Problématique.....	2
1.2.2 Objectifs	4
1.2.3 Hypothèses	5
2 SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
2.1 Bois Raméaux Fragmentés (BRF) et le <i>Gmelina arborea</i>	6
2.1.1 Caractérisation des BRF	6
2.1.2 <i>Gmelina arborea</i>	7
2.2 Relation BRF et Sol.....	8
2.2.1 Généralité sur les propriétés du sol.	8
2.2.2 Les propriétés physico-chimiques sous l'influence des bois raméaux fragmentés.	9
2.2.3 Les avantages des BRF pour la vie microbiologique du sol.	10
2.2.4 La contribution des BRF sur les rendements des cultures	11
2.3 Litière de volaille et le Sol.....	11
2.3.1 Définition	11
2.3.2 Impact de la litière de volaille sur les propriétés du sol	12
2.3.3 Impact de la litière de volaille sur le rendement des cultures	12
2.4 Généralité sur le gombo.....	14
2.4.1 Ecologie du gombo.....	14
2.4.2 Importance du gombo.....	15

3	: MATERIEL ET METHODES.....	16
3.1	Matériels	16
3.1.1	Milieu d'étude	16
3.1.2	Matériel végétal.....	17
3.1.3	Substrats organiques.....	17
3.2	Méthodologie.....	18
3.2.1	Dispositif expérimental	18
3.2.2	Méthodes d'analyses des propriétés du sol	19
3.2.3	Mesure du taux de mycorhization des racines de la culture du gombo.....	23
3.2.4	Conduite de l'essai	24
3.2.5	Mesure des paramètres agronomiques	26
3.2.6	Analyses statistiques	28
4	: RESULTATS	29
4.1	Effet des traitements sur les propriétés du sol	29
4.1.1	Effet des traitements sur les propriétés physico-chimique du sol	29
4.1.2	Influence des traitements sur les propriétés hydriques du sol.....	34
4.2	Influence des traitements sur la colonisation mycorhizienne des racines du gombo.....	37
4.3	Effet des traitements sur les paramètres de rendements du gombo	38
4.3.1	Effet des traitements sur la hauteur et le nombre de feuille du gombo	38
4.3.2	Effet des bois raméaux fragmentés et de la litière de volaille sur le rendement du gombo.	38
4.3.3	L'indice de récolte du gombo sous l'application des bois raméaux fragmentés et de la litière de volaille.....	39
5	Discussion.....	40
5.1	Caractéristique physico-chimique des sols sous l'application des BRF et la litière de volaille.	40
5.2	Effets des traitements sur l'activité fongique des champignons.....	43
5.3	Effet des BRF et la litière de volaille sur les paramètres de croissance et de rendement du gombo.	44
6	Conclusion et suggestions.....	47
7	Références bibliographiques.....	48
8	Annexes.....	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Volume d'arrosage suivant les phases phénologiques du gombo	24
Tableau 2 : Stock de carbone organique des sols sous les amendements	33
Tableau 3 : Stock de carbone organique des sols sur l'ensemble du profil.....	34
Tableau 4 : Valeur moyenne des pF sur l'interaction des facteurs à la profondeur 0-20cm	35
Tableau 5 : Humidité des sols au pF sur les amendements organiques	35
Tableau 6 : Humidité des sols au pF sur l'interaction des facteurs.....	36
Tableau 7 : Données de paramètre de croissance relatif à chaque traitement.....	38
Tableau 8 : Rendement fruit obtenu sur l'interaction des facteurs	39
Tableau 9 : Indice de récolte suivant l'interaction des facteurs	39

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Plantation de <i>Gmelina arborea</i>	7
Figure 2: Carte du milieu d'étude	16
Figure 3 : Histogramme des précipitations du milieu d'étude au cours de la période d'étude.	17
Figure 4 : Photo montrant la graine du gombo variété Icrisat.....	17
Figure 5 : Photo montrant les BRF de <i>G.arborea</i> (A) et d'un tas de litière de volaille (B)	18
Figure 6 : Schéma du dispositif expérimental de l'étude	19
Figure 7: Photo montrant le prélèvement du sol	20
Figure 8 : Image d'un mini profil (A), et utilisation des cylindres de densité (B).....	22
Figure 9 : Photo montrant la prise de donnée avec le Watermark (A) et le Procheck (B).....	22
Figure 10 : Photo montrant les vésicules observées à la loupe binoculaire	23
Figure 11 : Image montrant l'arrosage des plants de gombo (à gauche) et l'extrait aqueux de neem (à droite)	25
Figure 12 : Photo montrant la ligne de prise des données de croissance de la plante pour un traitement.....	25
Figure 13 : Photo montrant la prise de mesure des hauteurs des plants.....	26
Figure 14 : Pesée des fruits récoltés et pesée	27
Figure 15 : Image de la biomasse aérienne du gombo	27
Figure 16 : Les valeurs moyennes des pH eau en fonction des traitements.....	30
Figure 17 : Les valeurs moyennes de pH KCl en fonction des traitements	30

Figure 18 : Teneur en carbone organique sur les profondeurs 0-20cm et 20-40cm en fonction des traitements.....	31
Figure 19 : Teneur en azote en fonction des traitements à la profondeur 0-20cm et 20-40cm.	32
Figure 20 : Teneur en phosphore en fonction des traitements à la profondeur 0-20cm et 20-40cm.....	33
Figure 21 : Evolution de la teneur en eau du sol sous les traitements.....	36
Figure 22 : Evolution de la température du sol selon les traitements	37
Figure 23 : Le taux de mycorhization sous l'interaction des facteurs.....	37

LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ANOVA	: Analysis Of Variance ;
BAC	: Bloc Aléatoire Complet ;
BRF	: Bois Raméaux Fragmentés
CAMES	: Conseil Africain et Malgache de l'Enseignement Supérieur ;
C.org	: Carbone Organique ;
CEC	: Capacité d'Echange Cationique
FAO (<i>en anglais</i>)	: Food and Agriculture Organization;
FSA	: Faculté des Sciences Agronomiques ;
g	: Gramme
GIEC (<i>en anglais</i>)	: Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat
ha	: Hectare
K	: Potassium
Kg	: Kilogramme
L	: Litre
LAMS	: Lycée Agricole Mèdji de Sékou
LV	: Litière de Volaille
m ³	: Mètre cube
MS	: Matière Sèche ;
N	: Azotes
pH	: Potentiel Hydrogène ;
PAG	: Programme d'Action du Gouvernement
P.ass	: Phosphore assimilable
SAS (<i>en anglais</i>)	: Statistical Analysis System ;
t/ha	: tonne par hectare
UAC	: Université d'Abomey-Calavi.
V1	: volume 1
V2	: volume 2

1 : INTRODUCTION GENERALE

1.1 Introduction

Après plusieurs années de gestion agricole, majoritairement orientée vers le coton (principale filière organisée), les autorités politiques actuelles du Bénin semblent avoir pris la mesure des enjeux. C'est ainsi que dans le Programme d'Action du Gouvernement (*PAG, 2016-2021*) l'objectif global du volet agricole est d'améliorer les performances de l'agriculture béninoise pour la rendre capable d'assurer de façon durable la souveraineté alimentaire de la population ; de contribuer au développement économique et social du Bénin ; à l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) et à la création d'emploi. Le développement économique et social du Bénin, repose principalement sur son agriculture, laquelle contribue de manière significative à la lutte contre la pauvreté et la sécurité alimentaire (IFDC. 2002). Elle emploie plus de 42,36% de la population active (BIRD-IDA, 2017) ; contribue à 75% des recettes d'exportation et fournit environ 70% des emplois (FAO et CEDEAO 2018). L'apport économique de l'agriculture repose sur plusieurs d'activités ; parmi celles-ci, la production maraîchère occupe une place très importante et contribue significativement à la souveraineté alimentaire (Kahane et al. 2005), à la lutte contre la pauvreté et au revenu des familles (James et al. 2010; Yolou et al. 2015). En Afrique de l'ouest, le maraîchage constitue l'une des composantes principales de l'agriculture urbaine et périurbaine qui se sont fortement développées au cours des dernières décennies suite à la croissance démographique et à l'augmentation des besoins alimentaires (Assogba-Komlan et al. 2007; FAO 2015)). Au Bénin, le maraîchage emploie environ 4 % de la population active, soit 60000 emplois (Yolou et al. 2015). Il se caractérise par des pratiques et des variétés locales, un potentiel de rendement par unité de temps et par unité de surface très élevé et des productions végétales alliant croissance rapide, valeur marchande élevée et qualité nutritionnelle *via* la diversification des aliments (Mpundu et al. 2014). Spécifiquement pour cette activité maraîchère, le PAG envisage une augmentation de la production des cultures de grande consommation de 25% à travers l'accès aux intrants, la maîtrise de l'eau et les productions de contre-saison. Aussi est-elle identifiée comme une des filières à haute valeur ajoutée et répond aux préférences et à la demande alimentaire urbaine. La production est constituée de la culture de plusieurs légumes fruits notamment le gombo. Cette production est majoritairement sous la contrainte du bas niveau de la fertilité de ces sols notamment en Afrique (Saïdou et al. 2009). Elle n'échappe pas à des d'autre difficultés entre autre (1) l'attaque des insectes, de maladies et des champignons, (2) l'accès aux crédits, aux terres et au

marché, (3) de la pauvreté des sols, accès aux intrants et manque de maîtrise de l'eau (Ahouandjinou 2013). Au Bénin, le problème de la baisse de la fertilité des sols est une préoccupation aussi bien pour les agriculteurs qui se heurtent au coût élevé des intrants que pour les chercheurs dont les travaux de recherche visent à maintenir ou à restaurer la fertilité des sols dégradés pour une intensification de la production agricole (Saïdou et al. 2009) L'une des stratégies pour l'amélioration de la fertilité des sols, en particulier les sols ferrallitiques reconnus pour leur pauvreté en azote et en phosphore (Koné et al. 2009) est l'utilisation de substance organique Il est donc nécessaire de contribuer à la remédiation de cette contrainte par l'introduction de nouvelle technologie telle que les bois raméaux fragmentés. C'est dans ce cadre que le Programme d'Amélioration de la Résilience des Entreprises Agricoles (PAREA) a initié ce travail de recherche basé sur la contribution des bois raméaux fragmentés dans la gestion de l'aggradation des sols, la biodiversité des micro-organismes dans le sol, et l'économie d'eau afin de mieux préparer à la résilience aux changements climatiques.

1.2 Problématique, objectifs et hypothèses

1.2.1 Problématique

Le Bénin, pays de l'Afrique subsaharienne, dispose d'un potentiel agricole grâce à la diversité de ses zones agro écologiques propices à de nombreuses spéculations. En effet, ces zones sont constituées de sol qui sert de support, de réserve en eau et en nutriments pour les plantes cultivées (Montaigne et al. 2018). Les sols sont le principal support de la production alimentaire et de biomasse et rendent donc un service indispensable qui fait partie des services éco systémiques tels que définis par l'Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire, plus connu sous le terme anglais de Millenium Ecosystem Assessment (MEA). Il est considéré comme une ressource naturelle faisant partir des grands enjeux planétaires à protéger car la GIEC annonce la baisse des rendements agricoles en Afrique de l'Ouest qui pourrait être comprise entre 5 et 20 % au Bénin (GIEC 2007). Pour cause, sa dégradation est un défi mondial majeur qui menace sur la biodiversité, la stabilité des écosystèmes et le climat mondial. Au Bénin, la dégradation des sols est une situation compromettante pour le développement et la survie des populations. Cette dégradation due entre autres par les mauvaises pratiques culturales (principalement les cultures itinérantes sur brulis), se caractérise par la destruction de la flore, la matière organique, la faune et la microfaune du sol (Igüe et al. 2013). Aussi se manifeste-elle par les effets néfastes des changements climatiques à travers la combinaison des facteurs que sont la hausse des températures, la baisse et l'irrégularité des pluies, la montée des eaux de mer, les situations extrêmes (inondations,

sécheresses, etc... (Kate et al. 2016). Ces Changements du climat sont aujourd'hui une réalité ayant pour conséquences directes l'augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes tels que les sécheresses, les inondations et les tempêtes (Akponikpè et al 2010; Bello et al. 2016; UNFCCC 2011; Vissoh et al. 2012). Ces impacts sont beaucoup plus perçus par les petits producteurs dont les capacités adaptatives sont limitées principalement à cause des ressources financières également limitées (Yegbemey et al. 2014). Selon Akponikpè, et al 2010 et Vodounou, J. B. K. 2016 ces conséquences peuvent être résumées en une irrégularité et violence des pluies et une augmentation des températures et de poches de sécheresse tous concourant à une diminution et indisponibilité des ressources en eau, la faible productivité des sols et à la perte de la productivité agricole. Ceci conduit à la dégradation des terres avec une diminution de la matière organique et des nutriments au niveau du sol (Kindiela et al. 2019). Malheureusement, ces impacts sont prévus pour s'aggraver dans le futur (Akponikpè et al. 2019; Jalloh et al. 2013; Zougmore et al. 2016).

Dans un tel contexte, l'utilisation des engrais chimiques est vue comme une alternative pour accroître les rendements des cultures (Some 2017). Cependant, malgré l'effet compensatoire des pertes en élément nutritifs du sol, de nombreuses études ont montré leurs effets négatifs, à long terme, sur la fertilité des sols ; ce qui peut entraîner une réduction de rendements des cultures (Bationo et al. 2012; Koulibaly et al. 2010). Cette pratique entraîne une augmentation de l'acidité, une dégradation du statut physique et une baisse de la matière organique du sol (Boli et Roose 2000).

. Sur l'environnement, les nappes, cours, plans d'eau sont pollués et par ailleurs il y a la présence des résidus de produits chimiques dans les légumes qui ont pour corollaire la perturbation de la chaîne alimentaire (Sohounou et al. 2016). Conscient d'une telle situation, l'agriculture devrait alors continuer par nourrir la population sans cesse croissante dans un climat de plus en plus changeant sans porter atteinte à l'environnement (Kpadonou et al. 2019). L'apport d'amendements organiques est perçu comme une alternative durable de gestion des sols (Manlay, et al 2007). L'agriculture durable passe par le maintien de la qualité du sol et de l'eau et les bonnes pratiques de gestion (BPG) permettent de réduire de beaucoup plusieurs facteurs de risque environnemental de l'agriculture. Ces pratiques agricoles tiennent compte des connaissances actuelles en matière de conservation du sol et de l'eau, sans pour autant sacrifier la productivité. Parmi ces bonnes pratiques culturales, nous pouvons distinguer la fertilisation organique et plus précisément des bois raméaux fragmentés (BRF). Ainsi, il faut développer autres sources d'amélioration du taux de matières organiques des

sols, du rendement des cultures, de la réduction des coûts de productions, de la protection de l'environnement et la résistance des sols au phénomène de changement climatique. Dans cette perspective, l'emploi des bois raméaux fragmentés (BRF) constitue une alternative pour redresser et entretenir la fertilité des sols agricoles (Lemieux. G. and Germain 2001). Avec une teneur en composé phénolique faible et un taux en nutriments relativement élevé, les bois raméaux fragmentés (BRF) s'avèrent d'une importante source de carbone pour le sol (Kerrouche et al. 2018). L'utilisation des BRF a des effets avantageux tels que : une forte stimulation de la vie du sol initiée par la chaîne trophique BRF –champignons lignivores des pourriture blanche (majoritairement des basidiomycètes) –arthropodes fongivores (collemboles et acariens mais aussi cloportes) ;une forte augmentation du taux d'humus ;l'amélioration de la structure du sol; une meilleure rétention de l'eau; une réduction et facilitation du désherbage ;ainsi qu'une meilleure résistance aux parasites (Gilles. 2011). Aussi lorsqu'ils sont enfouis ou épandus sous forme de paillis, les BRF favorisent la conservation de l'humidité dans le sol, augmentent la perméabilité des horizons et assurent aussi la disponibilité à long terme des macros nutriments dans le sol (Montaigne et al. 2018). Ils contribuent également à l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol (Lemieux et Germain 2002) conséquence d'augmentation de la réserve utile du sol pour les plantes. Ainsi, ces matériaux, riches en lignine, sont les précurseurs d'un humus stable, garant des équilibres biologiques et chimiques des sols pour une productivité durable (Kindiela et al. 2019). Compte tenu des effets positifs des BRF dans les systèmes de production, il serait avantageux de l'expérimenter dans le système de production maraichère et de comparer leur performance avec l'utilisation de la litière de volaille comme source locale de fertilisant organique la plus utilisée (Assogba-Komlan et al. 2007) en production maraichère au Bénin. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'étude de « **Effet des bois raméaux fragmentés de *Gmelina arborea* et de litière de volaille sur la croissance et la production du gombo sur sol ferrallitique au Sud Bénin** ».

1.2.2 Objectifs

Le présent travail vise de manière générale à évaluer le statut organique du sol et la production du gombo sous l'effet des bois raméaux fragmentés (BRF) de *Gmelina arborea*.

De manière spécifiques le travail consiste à :

- **OS₁** : Analyser l'effet comparé des bois raméaux fragmentés de *G.arborea* et de la litière de volaille sur les propriétés physico-chimique et hydrique du sol.

- **OS₂** : Evaluer l'effet des BRF et de la litière de volaille sur le taux de colonisation des racines du gombo par les champignons mycorhiziens arbusculaires ;
- **OS₃** : Apprécier les performances agronomiques de la culture du gombo sur des sols traités avec les BRF et la litière de volaille.

1.2.3 Hypothèses

Les hypothèses (H) sont définies suivants chaque objectif spécifique

Objectif spécifique 1 :

H₁ : les paramètres physico-chimiques et la disponibilité en eau des sols sous BRF sont nettement plus améliorés que ceux des sols amendés avec de la litière de volaille.

Objectif spécifique 2 :

H₁ : Les sols traités avec les BRF ont une activité mycorhizienne intense à celle des sols fertilisés avec la litière de volaille.

Objectifs spécifique 3

H₁ : La croissance et le rendement du gombo sous l'effet du BRF sont meilleure que ceux sous l'application de la litière de volaille.

2 SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Bois Raméaux Fragmentés (BRF) et le *Gmelina arborea*

2.1.1 Caractérisation des BRF

Dans le souci de valoriser les résidus d'élagage issus d'arbres situés sous les lignes à haute tension dans les années 1970 au Canada, Mr Edgar Guay, ministre d'alors, avait eu l'ingénieuse idée de pailler les sols dégradés avec ces résidus. Les plantes qui se trouvaient sur ces sols sont mieux développées que les sols non paillés. C'est suite à ce constat qu'à partir de 1979, le Professeur Lemieux de l'Université Laval (Québec) a expérimenté en grande culture cette technologie. En effet le bois raméal fragmenté ou plus communément appelé BRF est un amendement ligneux constitué de jeunes branches ou rameaux ayant au maximum 7 cm de diamètre ; il est obtenu par le déchiquetage frais de petites branches encore vertes (diamètres compris entre 3 et 7 cm) et rameaux (diamètre inférieur à 3 cm), incorporés immédiatement dans les premiers centimètres du sol (Gilles. 2011). L'intérêt des BRF réside dans leur composition chimique hautement diversifiée en molécules complexes : sucres, acides aminés, vitamines et protéines en plus des minéraux et des constituants structuraux du bois (Stevanovic. 2006). Ces constituants structuraux tels que la lignine, la cellulose et l'hémicellulose (Stevanovic et Perrin. 2009), rendent la décomposition des BRF échelonnés sur une longue durée en raison de leurs teneurs élevées de matière ligneuse. Il peut être utilisé en tant qu'amendement par paillage et/ou incorporation sur les premiers centimètres du sol (Darlington 2005 ; Davy , 2011.). L'incorporation superficielle de BRF permet d'activer son intégration au sol, mais nécessite par ailleurs un contrôle régulier des différents paramètres, afin d'éviter d'inverser l'attaque des lignines au profit des bactéries ou actinomycètes (Lemieux et al. 1998). Cependant, plusieurs facteurs tels que l'essence forestière utilisée et les modalités d'apport (dose, périodicité, dimension des fragments, etc.) peuvent limiter les effets négatifs que génèrent l'enfouissement des BRF (Barthès et al. 2010). Stevanovic. (2006) a estimé que les fragments des BRF devraient mesurer 5-10 cm de longueur qu'on étalerait en une couche de 1-3 cm sur le sol, ce qui correspond à 100-300 m³/ha. De plus, l'application devrait être opérée avant la saison de pluies. Par ailleurs, 3 ans d'intervalle suffisent pour chaque application, à raison de 25 à 50 m³/ha, afin d'entretenir l'effet BRF (Lemieux. G. 2005). De ce fait, l'utilisation des BRF permettra donc de provoquer et de maintenir des sols « forestiers » en milieux agricoles et d'en contrôler la fertilité et la structure sur de longues périodes: ce qu'on appelle «l'agriculture forestière sans arbres» ou la véritable agroforesterie, la base même du développement durable tant recherché et avec justesse (Lemieux. G. 2005).

Aussi face à la qualité de l'eau de ruisseaux, rivières et lacs locaux négativement affecté par le nitrate dans le drainage des carreaux au Etats unis les bioréacteurs à copeaux de bois sont une nouvelle option pour réduire la quantité de nitrate dans le drainage avant qu'il n'atteigne les eaux de surface locales.

2.1.2 *Gmelina arborea*.

Arbre à croissance rapide, le *G.arborea* est une espèce de la famille des verbenaceae regroupant les plantes de dicotylédones poussant dans différents habitats.



Figure 1 : Plantation de *Gmelina arborea*

Cliché : Rodrigue DAASSI

Elle est répandue à l'origine dans les pays asiatiques telle le Pakistan, le Vietnam, l'Inde et se développe généralement dans les zones à forte pluviométrie dont les forêts mixtes (Formad 2013). En Afrique, elle est plantée en zone tropicale comme une espèce à croissance rapide pour le reboisement en période de saison sèche et l'emblavure de sa plantation est estimée à 130.000 ha (Adam, 2005). Elle dispose d'un tronc caducifolié de taille moyenne atteignant 40m de haut avec un fût cylindrique. Un fût fréquemment courbe, légèrement renflé à la base sans contrefait pour des cimes à branches largement étalé et feuillage glauque. De formes opposées, décussées, simple sans stipule, les feuilles ont également des pétioles de 15 cm de long courtement poilu ou glabre avec une limbe cordiforme ovale courtement atténué sur le pétiole au sommet en point, acuminé à l'apex. La base du limbe porte deux glandes, glabrescent au-dessus, poilu au-dessous à 3 nervures partant de la base et 4-6 paire de nervure latérales (Adegbelin. et al 1988) *Gmelina arborea* présente des fruits sous forme de drupe globuleuse à ovoïde charnue de couleur jaune et luisante à maturité. Les fruits renferment 1 à 4 graines oblongues, lenticulaire sans albumen issus de fleurs bisexuée zygomorphes à calice largement en cloche. Les feuilles présentent des nervations palmées à trois nervations basales,

deux longeant le bord du limbe vers la mi longueur puis pennée à 3-6 paires de nervure secondaire se raccordant, très saillants et finement pubescente (Adegbelin. et al 1988)

Gmelina arborea est un bois légèrement huileux au toucher, de feuillus légères. La densité de son bois varie entre 400 et 510 kg/m³ avec une teneur en humidité de 12%. Des études au Nigeria ont montré une forte corrélation entre la densité du bois et l'âge du peuplement (Adegbelin. et al 1988). Diverses analyses de la composition chimique du bois de *G. arborea* sont uniformes sur la teneur en lignine de l'ordre de 27%, en cendre de 1%, en produit extractif de 5%, en holocellulose entre 67% et 81% (PROTA). Outre l'usage courant fait du bois, c'est-à-dire la construction légère, la charpenterie, la menuiserie, les emballages, les sculptures, la parqueterie légère, le bois mine etc... le bois du *G. arborea* est aussi employé comme bois de feu, de charbon de bois, de brise vent, de haies vives et dans le reboisement. Dans le domaine agricole, les feuilles servent d'aliment au bétail ainsi qu'à l'élevage des vers en soie (Adam. 2005).

2.2 Relation BRF et Sol

2.2.1 Généralité sur les propriétés du sol.

Le sol fonctionne comme un réacteur chimique, en particulier aux interfaces entre les différentes phases : gaz–solide, gaz–liquide et solide–liquide. Ces réactions chimiques sont nombreuses aux cinétiques variables : réactions acido-basiques, oxydoréduction, hydrolyse, dissolution, précipitation, dissociation, complexation, adsorption, hydratation. Dans l'étude des propriétés physico- chimique des sols, il revient que l'analyse de la granulométrie à travers l'étude des fractions argileuse, limoneuse et sableux forment le constituant physique du sol (Touhtouh et al. 2014). En plus de ce paramètre, il y a la mesure du pH qui est un élément clé de la composition chimique du sol et détermine la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et les microorganismes du sol (Borah et al. 2010; Doucet 2006). A côté de ces paramètres principaux l'étude des propriétés physico chimique des sols fait appel à l'analyse du taux de saturation en base V qui est une valeur déterminée à partir de la capacité d'échanges cationique ; des cations échangeables (Ballot et al. 2016). Nous avons aussi la détermination des éléments totaux (C ; N ; P ; K ; Ca ; Mg ; Na ; Mn ; Fe ; g.kg-1) suivant les méthodes d'analyses analytique (Augusto et al. 2006) qui constituent les indicateurs de fertilité des sols (Pypers et al. 2011). Parmi ces éléments se trouve le carbone qui est rattaché à un autre concept appelé matière organique qui fait partir des principaux indicateurs de fertilité des sols (Ballot et al. 2016). La matière organique permet à la fois l'alimentation des plantes en libérant les éléments minéraux adsorbés et le stockage de ces

éléments. Par conséquent, elle empêche le lessivage des éléments minéraux en raison de très faible capacité d'adsorption des colloïdes minéraux. Elle constitue l'un des principaux moteurs de l'amélioration de la fertilité du sol et du rendement du manioc (Akanza et al. 2002) . Selon Hubert et Schaub (2011) la matière organique joue un rôle physique dans le sol pour la cohésion, la structure, la porosité, la rétention ou le stockage de l'eau, etc. Elle assure aussi un rôle biologique dans la stimulation de l'activité biologique (vers de terre, la biomasse microbienne). Enfin, elle joue un rôle chimique dans la nutrition des plantes à travers des actions de dégradation, minéralisation. L'interprétation de ces paramètres loin d'être exhaustive, permet une caractérisation physique et chimique des sols en vue de mettre en évidence la domination des différentes fractions minérales du sol.

2.2.2 Les propriétés physico-chimiques sous l'influence des bois raméaux fragmentés.

Le bois raméal fragmenté est considéré comme matériau, déchets et amendement organique fraîche non dégradé. Elle est issue d'un broyage de branche à faible diamètre, qui cherche à activer les cycles naturels spécifiques aux écosystèmes forestiers et les processus impliqués dans la transformation du bois (Breton et al. 2015). D'après (Breton et al. 2015), les BRF assurent l'amélioration de la qualité agronomique du sol en favorisant une évolution naturelle de l'état organique à l'état minéral des matériaux ligneux difficilement dégradable au niveau du sol. Plusieurs études ont montré effets positifs des BRF sur les principaux nutriments du sol. En effet, les BRF lors de leur deuxième année après application améliorent la teneur en matière organique, le rapport C/N, de la teneur en phosphatase alcaline et stimulent la croissance des bactéries ainsi que la présence d'activité microbienne (Lalande et al. 1998). Tahboub et al. (2008) à travers des études du BRF de *Carya illinoensis* sur un sol argilo-limoneux a montré également une augmentation de façon significative de la teneur en matière organique du sol et la stabilité des agrégats, notamment à les doses d'application plus élevées. Mais il n'a pas remarqué une modification de la salinité du sol (déterminée par la conductivité électrique) et la densité apparente, notamment une réduction du pH du sol. Sur la production elle ne favorise pas la croissance de la culture qui l'a suit à cause d'une immobilisation de l'azote les premières années. Avec l'incubation prolongée des BRF dans le sol, on connaît une meilleure amélioration des rendements de culture les années suivantes (Barthès et al. 2014). Soumare et al. (2002) observent l'augmentation de la CEC et de la teneur en potassium (K échangeable) et la diminution de la teneur en phosphore assimilable (P_{ass}), toutes significatives. Les données sur les rendements et les teneurs en N et P des feuilles suggèrent

une immobilisation de N et P par la microflore du sol pendant la première culture, puis une minéralisation les rendant disponibles pour la seconde culture. En zone tropicale, les apports ligneux ou herbacés ont peu d'effet sur NO_3^- et Pass, surtout lorsque les stocks (kg/ha) plutôt que les teneurs (g/kg) sont considérés. En revanche, le pH et la CEC tendent à être plus élevés après apport ligneux que sans apport organique ou même qu'après apport herbacé (Barthès et al. 2010). Les effets positifs du BRF sur le rendement des tomates, la lutte contre les mauvaises herbes et les propriétés du sol suggèrent un fort potentiel est un bon amendement potentiel pour l'agriculture dans les îles tropicales (Robert et al. 2014). Par conséquent, des amendements organiques riches en cellulose et lignine augmente le niveau de matière organique (Allison. FE. 1973; Flaig. W. 1978; Smith et al. 1993),

2.2.3 Les avantages des BRF pour la vie microbiologique du sol.

L'étude des micro-organismes du sol est de plus en plus prise en considération par les recherches scientifiques. Les scientifiques s'attachent à caractériser les populations microbiennes des sols, à comprendre leurs rôles et à étudier leurs interactions avec les plantes. Invisibles à l'œil nu, les micro-organismes (bactéries, champignons, protozoaires, nématodes...) représentent 75 à 90 % de la biomasse vivante du sol. Ils ont un rôle majeur dans la décomposition de la matière organique, contribuent au recyclage des nutriments et facilitent l'absorption des éléments par les racines. La présence des microorganismes est caractéristique de la bonne santé et de la fertilité des sols (Horst et al 1998; Montaigne et al. 2018).

Les Bois Raméaux Fragmentés sont réduits en broyat avant enfouissement dans le sol afin de faciliter leur digestion par les microorganismes du sol (Noel. B. 1997). Le BRF favorise en effet la pédogenèse nécessaire à la création de l'humus. Il sert principalement à réinstaller l'activité biologique mise à mal par le travail du sol (labour) qui détruit le lieu de vie des habitants du sol (pédofaune) en le bouleversant et le mettant à nu. On incorpore pour cela le BRF en surface (0 à 4 cm, voire jusqu'à 20 cm ou plus sur un sol très dégradé), puis les vers de terre se nourrissent de la cellulose pendant que les champignons dégradent la lignine. Cette digestion des débris favorisant la fertilité du sol a pour corolaire l'augmentation des rendements obtenus sur les parcelles traitées (Badiane et al. 2000). La teneur en fibres et en lignine des BRF fait qu'ils se décomposent lentement ; ce qui les rends moins susceptibles à la dégradation des microorganismes (Ba et al. 2014) .Ce qui s'explique par le fait que ces débris riches en lignine et en cellulose durent dans le temps sur les parcelles (Roose E. 2017). Cette disponibilité à long terme réduit les coûts et la fréquence de fertilisation mais la stabilité

et la fertilité du sol est toujours maintenue (Lemieux et Germain 2002) ce qui est favorable pour la productivité élevée des sols.

2.2.4 La contribution des BRF sur les rendements des cultures

Les bois raméaux fragmentés sur les performances agronomiques des cultures.

Depuis plusieurs années, la question relative au maintien du niveau optimal de taux de matière organique dans le sol préoccupe plus d'un auteur. En effet, (Ndayegamiye et Dube. 1986) ont montré que l'application des BRF dans le sol comme amendement organique, occasionne un effet dépressif à la croissance des plantes durant la première année de leur incorporation. Du même auteur on retient que les BRF peuvent exercer une action favorable indirecte sur la croissance des plantes par amélioration des propriétés du sol. La capacité de rétention en eau, une de ses propriétés, a été améliorée par l'apport de résidus de matériaux ligneux induisant l'augmentation de la production et la qualité des pommes de terres (Gasser et al. 1995). Par ailleurs, dans les Niayes (Sénégal) des BRF de filao (*Casuarina equisetifolia*) ont provoqué une augmentation significative de la production : de 400% pour la tomate, de 300% pour la tomate amère (*Solanum aethiopicum*), de 1000% pour l'aubergine avec baisse des attaques de nématodes et contrôle des pucerons et des sclérotés et en Côte d'Ivoire de 400% du maïs (Furlan et Lemieux 1996)). Toujours au Sénégal (Drame and Seck n.d.) ont constaté une légère amélioration des paramètres de croissance telle que la hauteur des plants de tomate, la biomasse aérienne suite à une incorporation de 20t/ha de BRF de filao au cours d'une expérimentation. Par contre selon (Vialle 2017), le rendement de millet a significativement baissé de 33% lors de la première application de BRF de saule qui pourraient être expliqués par l'impact de certains facteurs sous-estimé jusqu'à présent comme l'effet de l'essence de bois utilisée (Barthès et al. 2010). Allant dans le même sens, (Diallo et al. 2019) montre une amélioration non significative des paramètres de croissance et de rendement en grains du mil par les fertilisants organiques à l'exception de la litière de *Faidherbia albida* qui a montré un effet dépressif sur la plupart des facteurs mesurés (nombre de feuilles, diamètre au collet, hauteur des plants, biomasses sèche aérienne et racinaire et rendement en grains).

2.3 Litière de volaille et le Sol.

2.3.1 Définition

Dans un contexte de forte dégradation des sols et du coût élevé des engrais chimiques, le recours aux substrats organiques (SO) dans l'agriculture s'est présenté comme une alternative intéressante pour la fertilisation des sols (Hien et al. 2011). Les SO regroupent divers produits organiques, parmi lesquelles l'un des plus utilisés et efficace pour l'amendement est

le fumier (INERA 2003). Le fumier est une matière organique issue des déjections (excréments et urine) d'animaux mélangées à la litière (Devisscher 1997). Le copeau du bois est souvent pour recouvrir le parterre des poulaillers. Ainsi on parle de litière de volaille lorsqu'il s'agit d'un mélange de fumier de volaille avec le copeau du bois.

2.3.2 Impact de la litière de volaille sur les propriétés du sol

Les amendements organiques incorporés au sol participent globalement à l'amélioration des qualités physiques du sol (Ouédraogo et al. 2001). Du même auteur la litière de volaille permet l'aération et la capacité de rétention en eau du sol et sa disponibilité pour les plantes. De plus elle assure une meilleure porosité et structuration du sol en cimentant les particules grâce à l'humus qu'ils produisent (Bresson et al. 2001; Pagliai et al. 2004). La fumure organique à base de la fiente de volailles est un fertilisant peu onéreux, composté ou non, apporte au sol à la fois de l'azote, du soufre, du phosphore, du potassium, du magnésium, et des oligo-éléments (Biekre et al. 2018; Leclerc 2009). Sur la qualité chimique du sol le fumier de volaille constituent une réserve d'éléments nutritifs, principalement en azote, phosphore et soufre (Bationo et al 1998; Landry 2011). L'application de fumure organique sous forme d'amendement permettent également d'accroître le taux de matière organique du sol (Lompo 2009), d'augmenter le pouvoir tampon et le pH du sol (Cirad-Gret 2002), la capacité d'échange des sols et de diminuer ainsi les risques d'exportation des métaux vers la plante (Bolan et al. 2003; Cirad-Gret 2002; Mustin 1987; Essehi et al. 2016). C'est à juste titre qu'il ressort de l'étude de Gomgnimbou et al. (2019) que les traitements à base de fientes de volailles ont eu une incidence sur les paramètres chimiques du sol pendant les deux années de l'expérimentation.

2.3.3 Impact de la litière de volaille sur le rendement des cultures

Convenablement employé, le fumier est un moyen d'enrichissement des sols et d'amélioration des rendements agricoles (Bonzi 1989; Kini 2007). Plusieurs études ont montrées l'effet bénéfique de la fiente ou litière de volaille sur la croissance et la production des plantes tant sur sa contribution au compost que son effet simple. Au Bénin, Koussihouèdé. et al .(2016) ont montré que les traitements à base de litière avicole ont été plus efficaces que celles à base de déjections compostées de petits ruminants et la dose de 20 t/ha de litière a donné la production la plus élevée dans la culture de l'amarante au sud du Bénin. Des productions élevés de biomasse fraîche de la laitue ont été observées suite à un apport de compost enrichi à la fiente de volaille sur sol ferrallitique au sud du Bénin (Saidou et al. 2012). Des mêmes

résultats ont été obtenus sur la production de la carotte et le compost enrichi avec les fientes de volailles pourrait être recommandé à la dose de 30t/ha (Biaou et al. 2017). De plus il est montré que la combinaison de 10 t/ha de fiente de volaille avec la couverture du sol par la toile en polyéthylène a permis l'obtention du rendement moyen d'ananas le plus élevé s'élevant à 28.06 t/ha au cours des travaux (Allagbe et al. 2012). Par ailleurs il ressort de l'étude que la combinaison fiente de poulet à la variété F1 Mongal est plus productive que la variété F1 Jaguar dans les mêmes conditions de culture dans la zone de Parakou (Batamoussi et al. 2013). Dans la contribution des fientes au compost, les résultats des travaux de Benjamin (2019) ont montré qu'avec l'amendement organique à partir du compost de fiente de poule, des performances de croissances et des rendements élevés sont atteintes dans la production de courgette à raison de (3,63 kg/m²) similaire à l'application de fertilisants chimiques. Par ailleurs Maerere et al. (2001) rapporte que la fiente de volaille induit un meilleur rendement par rapport aux déjections de petits ruminants en Tanzanie et avance des doses respectives de 5,8 t/ha de fientes de volaille et 9,8 t/ha de crottes de petits ruminants sans pour autant élucider la question de la dose optimale. Dauda et al.(2009) ont montré que l'application de doses croissantes de fiente de poulet a permis d'obtenir des nombres de fruits par plante tous aussi croissants sur *Citrullus lanatus* au Nigéria. Au Cameroun, 6 mois après semis de *Moringa oleifera* (plante utilisée pour supplémenter l'alimentation des personnes séropositives), la fiente de poule à la dose de 125g/plante a induit une croissance maximale, comparée à la croissance induite par le NPK et l'association fientes-NPK (Pamo et al. 2002). En Côte d'Ivoire, La litière de volaille a entraîné une floraison rapide et une augmentation de la production en graines de *Vigna subterranea*, (Kouakou 2002). Aussi, les travaux de Bakayoko et al. (2007) ont montré que 15 mois après plantation, la litière de volaille a permis d'obtenir une augmentation des rendements moyens de 4 variétés de manioc sur un sol ferrallitique sableux moyennement désaturé. En effet, ils ont obtenu 63 t/ha de tubercules contre 40 t/ha pour le témoin. En outre, le rendement de la litière de volaille était plus élevé que celui obtenu avec une autre fumure organique (la bouse de bovin) utilisée dans les mêmes conditions expérimentales. Par ailleurs, ces chercheurs ont constaté que la fumure de volaille influençait l'apparition des symptômes du Virus Africain de la Mosaïque du Manioc. Une autre étude, menée à la Réunion et comparant l'influence de la fiente de poule séchée et celle de l'engrais, a montré que le poids moyen des salades varie peu selon le mode de fertilisation. Cependant, les parcelles fertilisées avec la fiente de poule ont donné des salades de meilleure qualité, c'est-à-dire mieux pommées (Chabalier et al. 2006).

2.4 Généralité sur le gombo

2.4.1 Ecologie du gombo

Le gombo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) est une plante de la famille des Malvaceae et de la classe des Magnoliopsida (Gnawe et al. 2016). C'est une plante cosmopolite que l'on rencontre un peu partout à travers le monde : Afrique, Asie du Sud-Est et Amérique (Fondio et al. 2003) cultivé pour ses capsules (fruits) utilisées comme légume (Thiaw et al. 2019). Le gombo une plante herbacée robuste, fibreuse, elle se caractérise par une croissance indéterminée (Hussain et al. 2006) sont en Afrique de l'Ouest la deuxième production légumière après les tomates, et ce légume fruit est utilisé comme liant dans les sauces (Caburet et al. 2002). Le gombo est une culture horticole de contre saison ou encore pluviale, et il existe plusieurs variétés de gombo cultivées dans le monde (Nana et al. 2009). Le gombo n'est pas très exigeant quant à la nature du sol. Cependant les sols profonds, limono-sableux, bien drainés, riches en matières organiques et à bonne capacité de rétention d'eau seront les plus indiqués pour sa culture (ISRA 2012; Lim et Chai 2007; Siemonsma et Hamon 2004). Le gombo est caractérisé par une diversité de la forme et de la couleur des fruits et des tiges (Seck 1991). La tige est cylindrique, recouverte de poils et ramifiée. Les feuilles sont disposées en spirale simples, de formes et de tailles variables. Elles sont stipules, filiformes jusqu'à 2 cm de long, souvent fendues jusqu'à la base. Le pétiole peut atteindre 50 cm de long. *Abelmoschus esculentus* porte des fleurs hermaphrodites, axillaires, solitaires et de grande dimension. Elles sont de couleur crème, jaune ou jaune or avec une coloration rouge à la base des cinq pétales libres (Pizongo 2014) et la couleur du fruit varie : blanc crémeux, rouge violacé, vert clair ou vert foncé (Caburet et al. 2002). Le gombo à l'instar de tout végétal a besoin d'eau pour accomplir son cycle, mais les sols hydromorphes sont à éviter. Ainsi les besoins en eau pour sa culture en climat sahélien, sont compris entre 780 à 1 000 mm (De Lannoy 2001). La plante est sensible à la sécheresse mais cela est prononcé à des périodes données de son cycle végétatif. L'effet du stress hydrique en phase de formation de boutons floraux est très néfaste pour le gombo et se manifeste par une baisse des composantes du rendement (Sawadogo et al. 2006). Certains facteurs tels que le stade phénologiques de la plante, la saison et la nature du sol influencent sur les besoins en eau de la plante (Pizongo 2014). Selon l'étude réalisée par (Dkhil and Denden 2014), le gombo est sensible à une variation de température, la germination est optimale à 25°C et elle est totalement inhibée à 10 et 40°C tandis que la plante a besoin de 27°C pour une meilleure croissance.

2.4.2 Importance du gombo

Le gombo est d'une grande importance aussi bien sur le plan social, qu'économique. En effet, le gombo est utilisé dans la cuisine comme condiment ou comme liant dans les sauces (fruit, feuille), dans la médecine (racine), dans l'artisanat ou dans l'industrie (fibre des tiges) (De Lannoy 2001; Marius et al. 1997; Shamsul and Arifuzzaman 2007; Siemonsma and Hamon 2004). Il joue un rôle essentiel dans l'équilibre nutritionnel des populations rurales à travers sa richesse en glucides (7 à 8 % de la matière sèche) présents sous forme de mucilage. Il est assez pauvre en fibres mais riche en protéines pour un légume fruit (1,8 % de la matière sèche), l'acide aspartique et l'arginine représentent 10 % des acides aminés. Malgré une teneur moyenne en vitamine A (300 UI), les teneurs en thiamine, riboflavine, acide ascorbique (Vitamine C) sont bonnes (Sawadogo et al 2006). Une consommation quotidienne de 100 g de gombo frais fournirait environ 20 % des besoins en calcium, 15 % des besoins en fer et 50 % des besoins en vitamines C (Hamon 1988). Il contient peu de calcium (90 mg pour 100 g), de phosphore (56 mg) et de magnésium (43 mg pour 100 g), et très peu de potassium. Le gombo contribue à la sécurité nutritionnelle des ménages grâce à la diversité d'usage dans la préparation des repas (Tshomba et al. 2015). Les tiges servent également à la fabrication d'alcool. Elles sont constituées de fibres permettant la fabrication de pâte à papier, de cordes et de sacs (Icor et al. 2009). Toutes les parties du gombo (racines, tige, feuilles, fruits, graines) sont valorisées au plan alimentaire, médicinal, artisanal et même industriel (Marius et al. 1997). La production maraîchère, en particulier celle du gombo, occupe la majorité des femmes au Bénin et est relativement rentable soit une rentabilité nette annuelle moyenne de 251.446 FCFA (Ibouraïma 2016). Il existe encore d'énormes marges de manœuvre pour accroître la production de gombo sur la base des ressources actuellement utilisées.

3 : MATERIEL ET METHODES

Le présent travail de recherche, est conduit suivant une méthodologie bien définie, avec des matériels adéquats relatifs à chaque aspect spécifique de l'objectif d'étude.

3.1 Matériels

3.1.1 Milieu d'étude

Le site expérimental du Programme d'Amélioration de Résilience des Entreprises Agricoles (PAREA) est installé dans la localité de Sékou (figure 2) commune d'Allada au niveau du potager du Lycée Agricole Mèdji de Sékou (LAMS). Cette localité est limitée au nord par l'arrondissement de Zè ; au Sud par celui de Golo-djigbé ; à l'Ouest par Togoudo et à l'Est par l'arrondissement de Tangbo-Dévié. La commune jouit d'un climat de type subéquatorial constitué de deux grandes saisons, avec une pluviométrie moyenne de l'ordre de 45.68 mm durant la période d'étude (Donnée station météo Sékou) (Voir figure 3). Elle est située dans la zone du plateau de terre de barre qui descend dans les vallées de l'Ouémé, du Couffo, et la dépression de la Lama. Caractérisée autrefois par une forêt dense, aujourd'hui elle laisse la place à des savanes arborées comme végétation sous l'effet de la croissance démographique (INSAE, 2016).

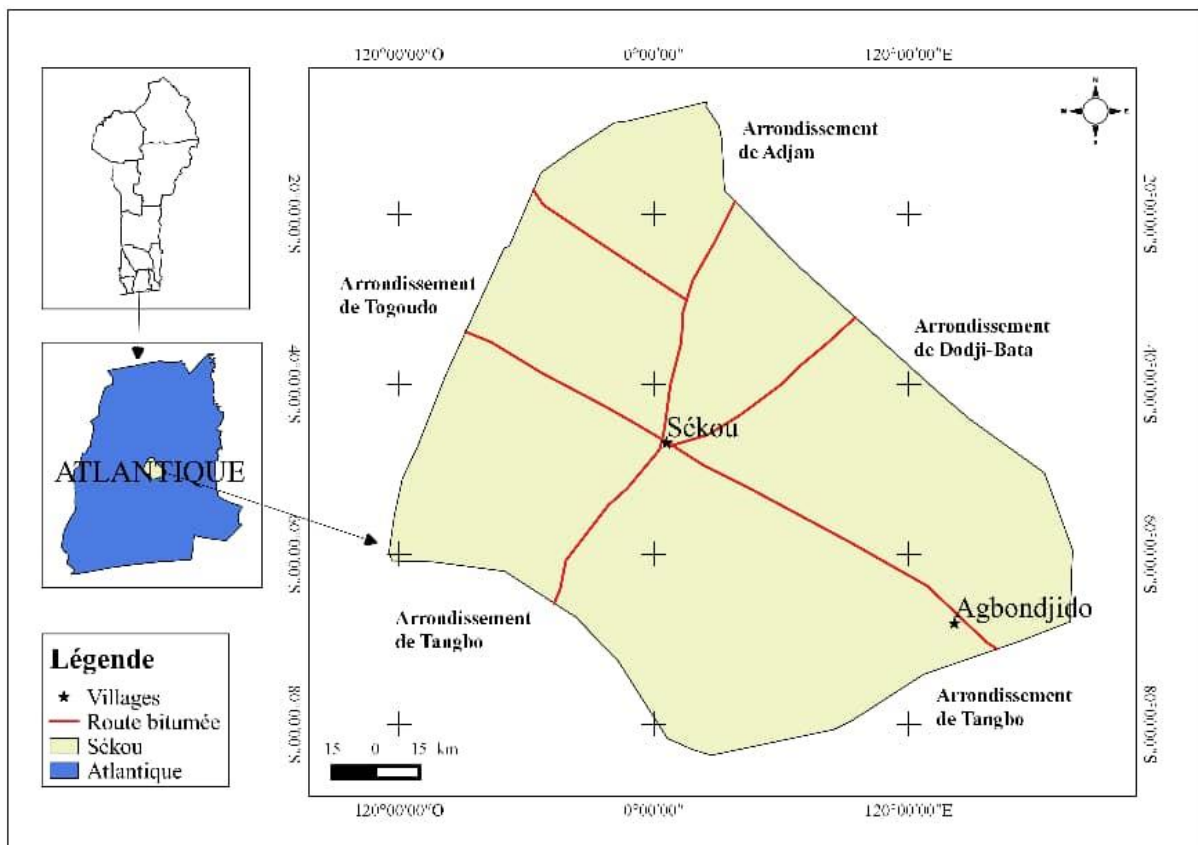


Figure 2: Carte du milieu d'étude

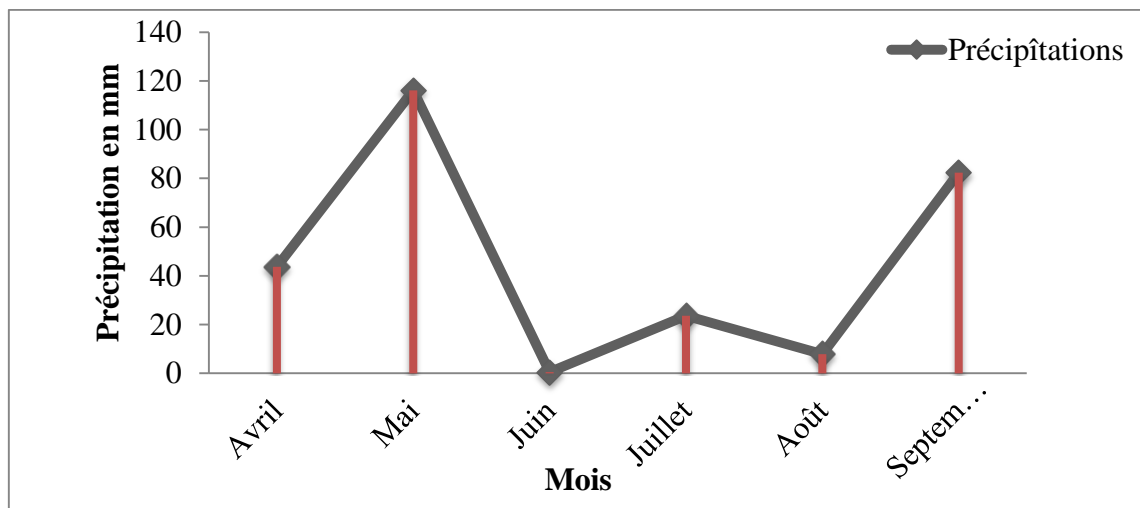


Figure 3 : Histogramme des précipitations du milieu d'étude au cours de la période d'étude.

3.1.2 Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué des semences de gombo variété ICRISAT (figure 4). Cette variété est mise au point par l'Institut National de la Recherche Agricole du Bénin (INRAB), qui à travers les recherches informe de la précocité de la culture du gombo, avec un rendement potentiel allant de 8 à 12t/ha ainsi que de l'adaptation de la production en toute saison (Adégbola, 2017)



Figure 4 : Photo montrant la graine du gombo variété Icrisat

Cliché : Freddy. AKUETE

3.1.3 Substrats organiques

Le substrat organique est constitué des Bois Rameaux Fragmentés (BRF) de *Gmelina arborea* puis de la litière de volaille (Figure 5). Ces substrats sont utilisés comme les amendements organiques sujets de notre expérimentation. La plantation de *Gmelina arborea* de 5 ans d'âge du Lycée Agricole Mèdji de Sékou (LAMS), a servi de matière première pour la fabrication des BRF. Les bois raméaux fragmentés sont obtenus par broyage des branches de moins de

5cm de diamètre du *G. arborea* avec la déchiqueteuse. Quant à la litière de volaille, elle est obtenue auprès de l'exploitation d'élevage du LAMS.



Figure 5 : Photo montrant les BRF de *G.arborea* (A) et d'un tas de litière de volaille (B)

Cliché : A : Rodrigue DAASSI, B : Freddy. AKUETE

3.2 Méthodologie

3.2.1 Dispositif expérimental

C'est une expérience factorielle dont la structure des unités expérimentales est un split plot à quatre répétitions. Le facteur principal est le volume d'eau d'arrosage avec deux modalités : V1 et V2 = $\frac{1}{2}$ V1. V1 étant le volume d'eau réel ou le besoin en eau de la plante pour accomplir son cycle. Le facteur secondaire est l'amendement organique à quatre modalités : i) BRF : application de 45 t.MS de BRF/ha (50% enfoui à 10 cm et 50% en paillis), ii) LV : application de 15 t.MS/ha, iii) BRF+LV : application de 45 t.MS/ha BRF avec 15 t.MS/ha de LV) et iv) Témoin : sans aucun apport de BRF et LV. Le dispositif expérimental comprend ainsi trente-deux unités expérimentales (figure 6) avec quatre (4) blocs et huit (8) traitements à savoir :

T1 : BRF_V1 **T2 :** LV_V1 **T3 :** BRF+LV_V1 **T4 :** Témoin_V1

T5 : BRF_V2 **T6 :** LV_V2 **T7 :** BRF+LV_V2 **T8 :** Témoin_V2

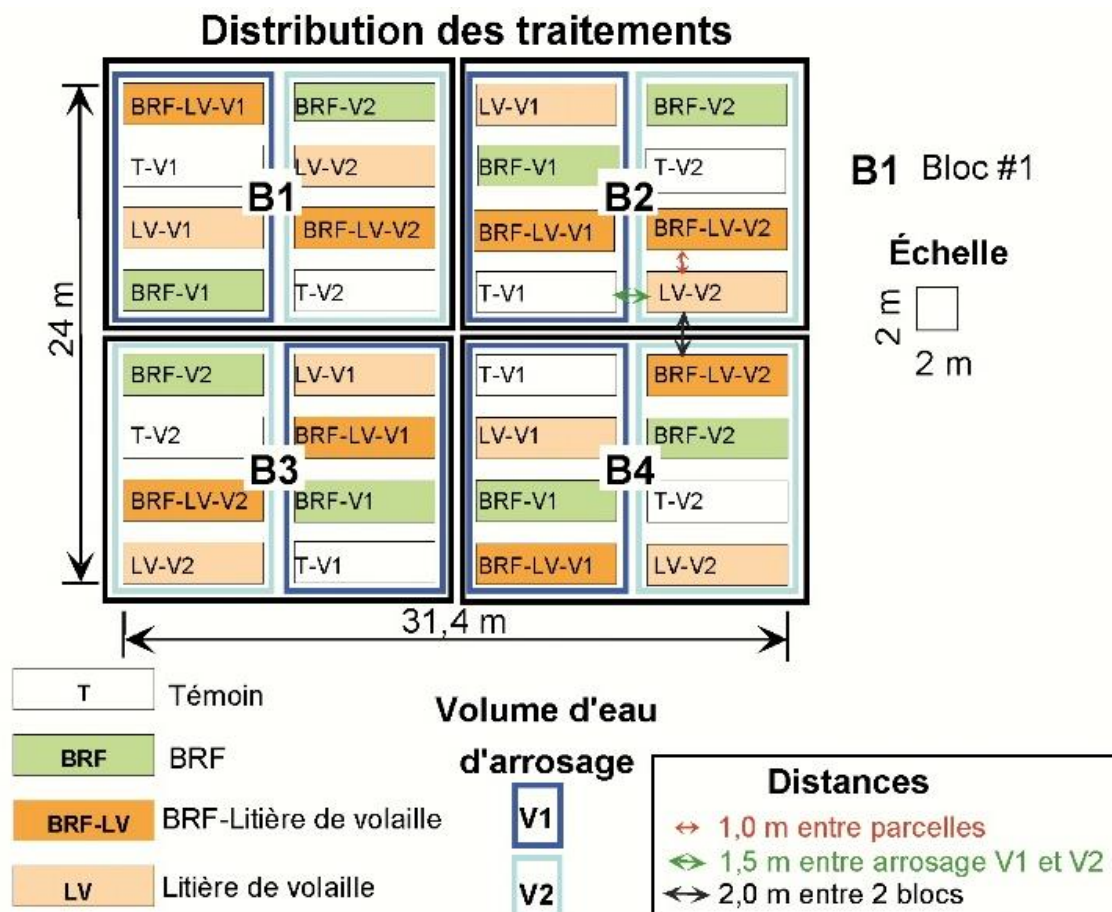


Figure 6 : Schéma du dispositif expérimental de l'étude

3.2.2 Méthodes d'analyses des propriétés du sol

➤ Echantillonnage du sol.

Ce travail fait partie intégrante d'une thèse de doctorat dont l'étude a commencé un an après notre suivi de l'essai. Ainsi après le prélèvement des sols avant essai aux profondeurs 0-20 cm et 20-40 cm, un autre a été effectué à la fin de la production du gombo aux mêmes profondeurs grâce à la tarière (figure 7). Cette opération est réalisée à trois emplacements différents suivant les diagonales de chaque unité expérimentale pour en faire un échantillon composite selon la profondeur afin d'avoir une meilleure représentativité du sol caractéristique du traitement et aussi pour avoir une grande quantité de sol (1kg approximativement) pour faciliter les analyses au laboratoire. Ces sols ont subi un séchage à l'air libre à la température ambiante puis un tamisage avec un tamis à maille carré de 2mm de diamètre. Les échantillons de sols sont analysés au laboratoire de science du sol de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey Calavi avec pour analyse le pH, de la teneur en carbone organique, de l'azote total, du phosphore assimilable.



Figure 7: Photo montrant le prélèvement du sol

Cliché : Freddy. AKUETE

➤ *Propriétés physico-chimiques du sol*

La capacité de rétention en eau du sol, la densité du sol et la texture d'une part et le pH, la teneur en matière organique, en azote total, en phosphore d'autre part sont caractéristiques respectivement des propriétés physiques et chimiques du sol qui s'améliorent par des amendements organiques (Tahboub et al. 2008).

Les méthodes qui sont utilisées pour chaque analyse dans notre étude se présentent comme suit :

- Le pH (eau) et pH (KCl): par la méthode potentiométrique dans un rapport sol/eau distillée de 1/2,5. La valeur du pH est lue grâce à un pH-mètre;
- La teneur en matière organique : par calcination, consistant à prélever une aliquote de 5g de sol sec tamisé et broyé à 2 mm et mis à l'étuve pendant 24h à 105°C qu'on soumet à une combustion au four à moufle à 700°C. La teneur en matière organique a été calculée par différence de poids initial et final. On admet que l'eau de constitution représente 10% du poids de l'argile avec pour terme correctif, le dixième du taux d'argile de l'échantillon de sol considéré. La teneur en matière organique est obtenue en multipliant la teneur en matière organique par 1,724 ;
- L'Azote : l'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl (1883). Cette méthode consiste à minéraliser le sol par l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré en

présence d'un comprimé de sélénium (servant de catalyseur). La distillation a été faite par entraînement de la vapeur en présence de 50 ml de NaOH 30%. Le distillat a été recueilli dans un erlenmeyer qui contient 20 ml d'acide borique et 4 gouttes d'indicateur à base de rouge de méthyle. Le titrage a été fait avec l'acide sulfurique 0,1 N

- Le phosphore assimilable par la méthode Bray 1. La solution d'extraction était composée de 30ml de NH_4F et de 200 ml de solution d'acide chloridrique (HCl). Le filtrat est coloré par le molybdate d'ammonium en présence de l'acide ascorbique et l'intensité de la coloration a été déterminée par colorimétrie à une longueur d'onde de 660 nm;
- La densité apparente a été déterminée par la méthode de cylindre de densité. Pour cela un second échantillonnage nous amène à creuser un mini profil de 50cm de profondeur (figure 8) sur les planches. Ce profil est dirigé vers le levé du soleil afin que le profil soit mieux rafraichir pour le prélèvement. Dans le profil sur les profondeurs 0-20cm et 20-40cm nous insérons les cylindres de densité de 100 cm³ (figure 8) dans la face du profil sans tasser. Le cylindre est retiré par suite délicatement contenant la motte de sol. Ce prélèvement permet de conduire les analyses de la densité apparente sur chaque traitement.
- Le stock de carbone organique calculé pour les horizons 0-20 cm ; 20-40 cm de chaque parcelle. La formule du calcul des stocks de carbone du sol s'énonce :

$$C \text{ (t/ha)} = C \text{ (mg.g}^{-1} \text{ sol)} \times da \times e \times TF$$

Avec :

- C (t/ha) : le stock de carbone d'une couche de terre en t/ha;
- C (mg.g⁻¹ sol) : La teneur en carbone mesurée dans la couche de sol en mg/g de sol ;
- da (g.cm⁻³) : la densité apparente (en g/cm³) et
- e : épaisseur en dm ;
- TF, le pourcentage de terre fine, TF = (100-% en éléments grossiers) /100.

Dans cette étude, le pourcentage de terre fine n'a pas été considérée parce que le taux de refus est négligeable compte tenu du type de sol qui n'est ni concrétionné ni graveleux. La formule devient :

$$C \text{ (t/ha)} = C \text{ (mg. g}^{-1} \text{ sol)} \times Da \text{ (g.cm}^{-3}) \times e \text{ (dm)}$$

-

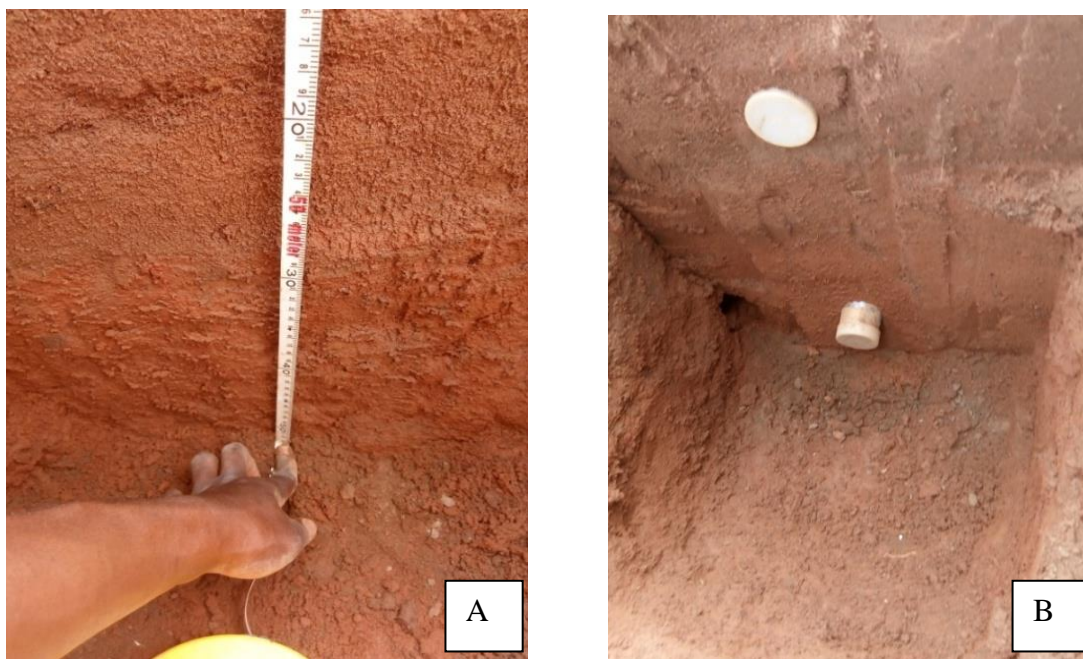


Figure 8 : Image d'un mini profil (A), et utilisation des cylindres de densité (B)

Cliché : Freddy. AKUETE

➤ *Propriété hydrique du sol*

Il est installé des capteurs TM pour la lecture de l'humidité volumique ; la température et la densité du sol sur les unités expérimentales des blocs 2 et 3 lu par une console de marque Procheck. De même sur les blocs 1 et 4, des capteurs de pression d'eau sont incorporés au sol pour relever la tension interstitielle de l'eau dans le sol à l'aide du tensiomètre WaterMark. Ces données sont collectées tous les trois jours dans la matinée au cours du cycle de production (figure 8). Par ailleurs des sols sont prélevés aux profondeurs 0-20 et 20-40 cm afin de déterminer les humidités caractéristiques du sol (pF 4,2 et pF 2,5) traduisant la capacité de rétention au champ et le point de flétrissement

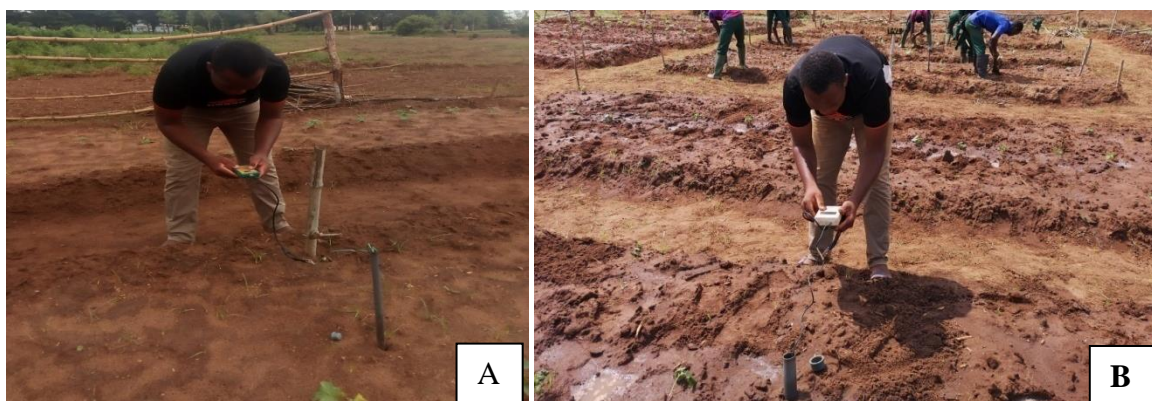


Figure 9 : Photo montrant la prise de donnée avec le Watermark (A) et le Procheck (B)

Cliché : Freddy. AKUETE

L'évaluation de la propriété hydrique du sol, passe par la détermination à la fin de la production du gombo de la densité apparente des échantillons ; l'humidité aux différentes pF (pF 4,2 et pF 2,5) traduisant la capacité de rétention au champ et le point de flétrissement.

3.2.3 Mesure du taux de mycorhization des racines de la culture du gombo

Au début de la floraison de la culture du gombo, un plant est arraché par parcelle expérimentale et ses racines, principalement les poils absorbants, sont échantillonnées. Le pourcentage de mycorhization racinaire est évalué par comptages des structures mycorhiziennes sur deux observations successives par échantillon.

Cette observation succède à la préparation des racines suivant la procédure de Vierheilig et al. (1998) qui se présente comme ci après :

- Prélèvement des racines fines de la partie inférieure du système racinaire.
- Eclaircissement des racines par l'ajout de la solution d'Hydroxyde de potassium (KOH 10%), puis passage au bain marie à 90°C pendant 15min
- Rinçage avec l'eau distillé
- Ajout de l'encre de vinaigre 5% sur les racines rincées puis passage au bain marie pendant 5mn.
- Rinçage avec l'eau distillé ; renversement des racines dans les boîtes à pétrie puis observation à la loupe binoculaire.

Lors de l'observation, nous avons placé une grille de comptage sous la boîte à pétrie, puis suivant l'horizontale nous comptons 100 intersections des racines avec les pixels de la grille en comptant la présence des structures mycorhiziennes (vésicules ou arbuscules) (figure 9) sur ses intersections.



Figure 10 : Photo montrant les vésicules observées à la loupe binoculaire
Cliché : Izibath BABIO

3.2.4 Conduite de l'essai

Les parcelles expérimentales mesurant 12 m² (6m x 2m) reçoivent une graine de gombo par poquet suivant un écartement de 80cm entre plants et 40cm entre lignes. Trois lignes de semis sont ainsi obtenues avec 42 plants au cours de la production. Les parcelles sont arrosées (figure 10) chaque jour, tôt le matin entre 7h et 10h et le soir après 16h. Le volume d'eau d'arrosage journalier apporté à la culture du gombo est calculé en tenant compte de ses besoins par phase phénologiques. Cette quantité est déterminée en utilisant les données pluviométriques de la station météorologique installée dans le cadre de l'essai et les données d'ETP de 1971 à 2008 issues de l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique (ASECNA). Elle se résume dans la détermination de :

- Pluie efficace (Formule des USDA–S.C présentée par Fabien (2007)).

$$P_{ef} = \frac{P_{tot} \times (125 - 0,2 \times P_{tot})}{125} \text{ si pluie totale (P}_{tot}\text{) inférieur à 250 mm}$$

$$P_{ef} = 125 + 0,1 \times P_{tot} \text{ si pluie totale (P}_{tot}\text{) supérieur à 250 mm}$$

- Evapotranspiration maximale (ETM)

$$ETM = K_c \times ETP$$

- Besoins brut (BB)

$$BB = \frac{ETM - P_{ef}}{\text{efficience}} ; \text{ L'efficience a été considérée égale à 0,90 en considérant comme 10\%, les pertes d'eau enregistrées de la prise d'eau à la parcelle.}$$

La moitié de la quantité d'eau apportée journalièrement sur les parcelles marquées V1 est apportée sur celles marquée V2.

Tableau 1 : Volume d'arrosage suivant les phases phénologiques du gombo

Phases phénologiques	Volume d'arrosage (L d'eau/m ² / jour)	
	V1	V2
Phase initiale	4	2
Phase de croissance	6	3
Mi-saison	8	4
Arrière saison	8	4

Le désherbage, binage, et la protection phytosanitaire se fait de manière régulière (trois fois par semaine). Les extraits aqueux de neem (*Azadirachta indica*) (figure 11) sont utilisés dans le contrôle des ravageurs lors des traitements phytosanitaires.



Figure 11 : Image montrant l'arrosage des plants de gombo (à gauche) et l'extract aqueux de neem (à droite)

Cliché : Freddy. AKUETE

La prise des mesures s'est effectuée sur les plants des lignes médianes de cultures de chaque unité expérimentale (figure 12). Cette ligne de culture est choisie en raison de sa représentativité et sa position sur la surface utile des planches. La ligne porte quatorze plants de gombo, mais nous laissons les deux (2) plants de bordure (l'extrémité de part et d'autre de la planche) et nous collectons les données sur douze plants rigoureusement. Ces plants sont ciblés et ne varient pas dans le temps lors des collectes.

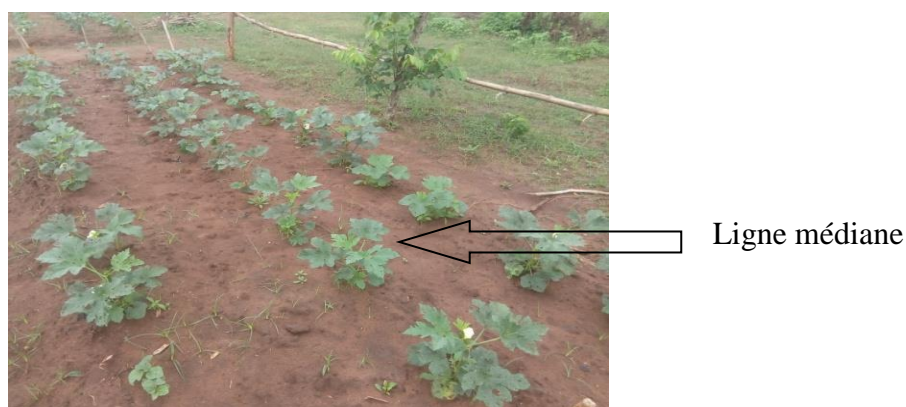


Figure 12 : Photo montrant la ligne de prise des données de croissance de la plante pour un traitement

Cliché : Freddy. AKUETE

3.2.5 *Mesure des paramètres agronomiques*

Divers paramètres sont mesurés au cours de cette étude sont catégorisées selon les paramètres de croissance et les paramètres de rendement.

➤ **Paramètres de croissance**

Selon (Drame et al. 2009) les données de croissance agronomique, sont appréciées par la hauteur des plants et la biomasse aérienne. Ces données sont reconnues comme est un indicateur de fertilité et de productivité du sol (Diallo, Chotte, Guissé, et al. 2008; Zombré 2003). En prenant appui sur ces études, nous avons mesuré la hauteur des plants et compté le nombre de feuille, à 45 jours après semis des graines, à la maturité des fruits caractérisée par la première récolte. La mesure de la hauteur des plants (figure 13) est prise à l'aide du décimètre du collet de la plante à l'extrémité de la tige. A cette extrémité se trouvent les feuilles nouvelles en formation. Le nombre de feuilles correspond au nombre de ramification au niveau d'un plant de gombo en raison de la morphologie de la plante.



Figure 13 : Photo montrant la prise de mesure des hauteurs des plants.

Cliché : Freddy. AKUETE

➤ **Paramètre de rendement**

Deux types de données sont collectés sur les plants de gombo. Les données relatives au rendement de la biomasse aérienne et au rendement fruit aux fins de calculer l'indice de récolte.

A la maturité des plants, soit 45 jours après semis, nous avons récolté les fruits de gombo sur les douze plants représentatifs de chaque unité expérimentale. Les récoltes sont échelonnées sur chaque trois jours et sont pesées à chaque prise jusqu'à la fin de la production (figure 14).



Figure 14 : Pesée des fruits récoltés et pesée

Cliché : Freddy. AKUETE

La plante est constituée d'une partie aérienne et racinaire. La partie aérienne, composé des feuilles, des branches, de la tige, des fleurs a représenté la biomasse aérienne (figure 15) et est obtenus en coupant la tige au collet. La biomasse ainsi obtenue, est pesées à l'aide de notre balance électronique. Cette information est utilisée pour le calcul de l'indice de récolte au niveau de chaque traitement



Figure 15 : Image de la biomasse aérienne du gombo

Cliché : Freddy. AKUETE

Ces rendements ont permis de déterminer l'indice de récolte selon la formule ci après :

$$Ir = \left(\frac{\text{Rendements fruit}}{\text{Rendement fruit} + \text{biomasse aérienne}} \right)$$ L'indice est calculé pour chaque parcelle élémentaire.

3.2.6 Analyses statistiques

Le tableur Excel a été utilisé pour la saisie des données et la réalisation des graphiques. Le modèle PROC Mixed du logiciel SAS version 9.4 est utilisé pour les analyses statistiques. Ces analyses sont essentiellement constituées des analyses de variance (ANOVA) à deux facteurs considérant le volume d'eau d'arrosage et les amendements organiques. Le test de Tukey-Kramer au seuil de 5% est utilisé pour la comparaison des moyennes.

4 : RESULTATS

4.1 Effet des traitements sur les propriétés du sol

Plusieurs propriétés du sol sont analysées. Les résultats sont présentés suivant les propriétés physiques ; chimiques et hydrique.

4.1.1 Effet des traitements sur les propriétés physico-chimique du sol

➤ pH eau et pH KCl

Les figures 16 et 17 présentent respectivement les valeurs des pH eau et pH KCl en fonction des traitements et des profondeurs du sol. Le résultat d'analyse de variance (Annexe 1) indique respectivement une différence significative et hautement significative des pH eau ($F=5,76$; $p=0,0112$) et pH KCl ($F=7,32$; $p=0,0048$) suivant l'interaction des facteurs amendements et volume d'arrosage. Cette différence est observée uniquement sur la profondeur 0-20cm. La comparaison des moyennes du test de Tukey ne montre aucune différence significative entre les traitements T1 (BRF-V1), T2 (LV-V1), T4 (Témoin-V1), T6 (LV-V2) et T8 (Témoin-V2). De plus ces traitements confèrent au sol un état très fortement acide ($4,5 < \text{pH} < 5$), ce qui limite très sévèrement la fertilité du sol et lui donne un état très bas de fertilité. Par contre, les traitements T3 (BRF-LV-V1) ($5,5 \pm 0,2$), T5 (BRF-V2) ($5,4 \pm 0,11$) et T7 (BRF-LV-V2) ($5,5 \pm 0,2$) significativement différents des autres permettent au sol d'être fortement acide ($5,1 < \text{pH} < 5,5$) mais limite moyennement la fertilité du sol en considérant le pH actuelle (pH eau). Pour le pH KCl seul le traitement T5 ($5,4 \pm 0,12$) (BRF-V2) permet d'avoir un niveau de fertilité moyenne du sol, les deux autres (T3 : $5,3 \pm 0,2$; T7 : $5,2 \pm 0,2$) limitent sévèrement la fertilité du sol.

Cependant, sur la profondeur 20-40cm aucune différence significative n'est remarquée entre les traitements pour les pH eau et pH KCl. La réduction de moitié du volume d'arrosage et l'apport d'amendement organique n'a pas influencé l'état d'acidité du sol à cette profondeur.. Les sols des traitements T1, T6, T7, T8 montrent une extrême acidité ($\text{pH} < 4,5$) quand ceux des traitements T2, T3, T4, T5 présentent une très fort acidité avec un très bas niveau de fertilité pour le pH eau. Par contre les pH KCl de tous les traitements présentent une acidité extrême de leur sol et une limitation très sévère du niveau de fertilité.

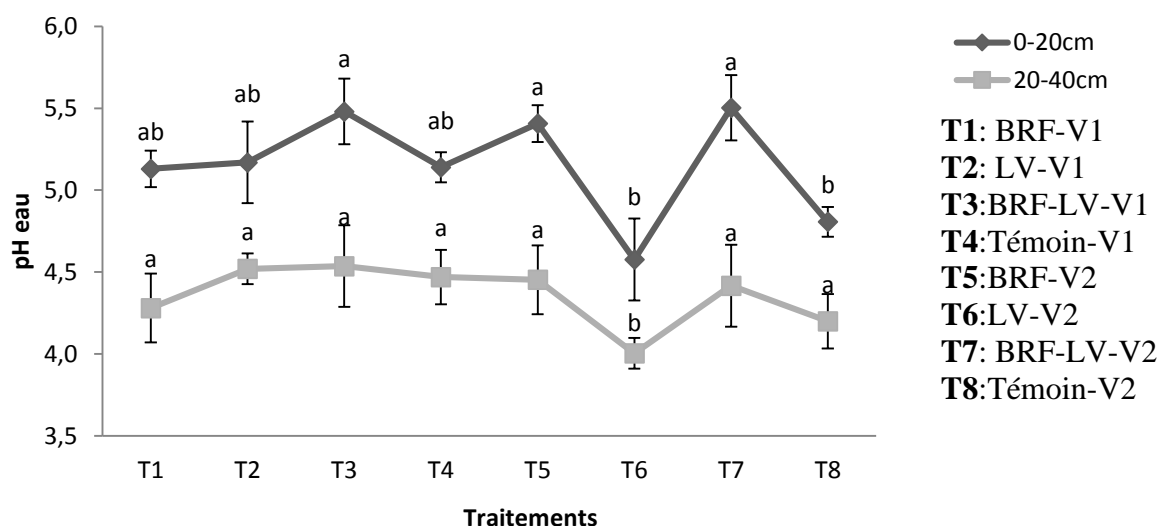


Figure 16 : Les valeurs moyennes des pH eau en fonction des traitements

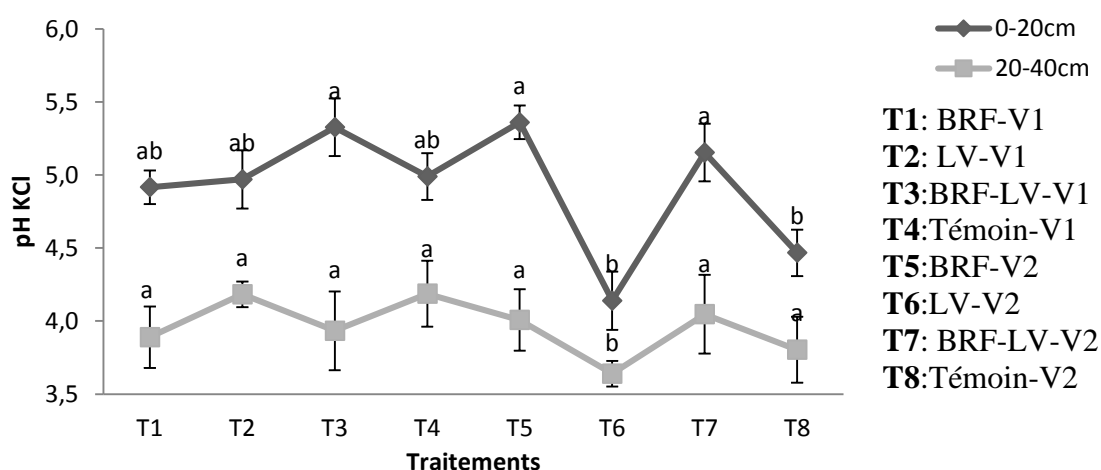


Figure 17 : Les valeurs moyennes de pH KCl en fonction des traitements

➤ Teneur en carbone organique (%C.org)

L'analyse de variance (Annexe 1) montre que l'interaction des deux facteurs étudiés n'est pas significative sur la teneur en C.org des traitements sur la profondeur 0-20cm. De même, l'effet simple du facteur volume d'arrosage n'est pas significatif montrant que la réduction du volume d'arrosage n'influence pas le facteur amendement sur cette profondeur. Seul l'effet simple de l'amendement organique a significativement ($F= 58,75$; $p< 0,0001$) influé la teneur en carbone organique des sols. La teneur en carbone organique du sol sur les traitements BRF-LV ($1.7\pm0.15a\%$) et BRF ($1,5\pm0,06a\%$) est significativement supérieure à celle de LV ($1,3\pm0.06b\%$) et du Témoin ($0,6\pm0,05b\%$).

Par ailleurs, sur la profondeur 20-40cm, l'interaction des deux facteurs a significativement influencé la teneur en carbone organique du sol ($F=7,13$; $p=0,0052$). Les traitements T2, T4

et T8 statistiquement égaux donnent au sol des teneurs faibles en C.org ($\%C.org < 0,6$) contrairement aux traitements T1, T3, T5, T6, T7 qui permettent au sol d'avoir un niveau élevé en C.org ($\%C.org > 0,8$). Parmi ces derniers, les traitements T3 et T5 viennent en tête avec les teneurs en carbone organique optimal et significative que les autres sur l'ensemble du profil.

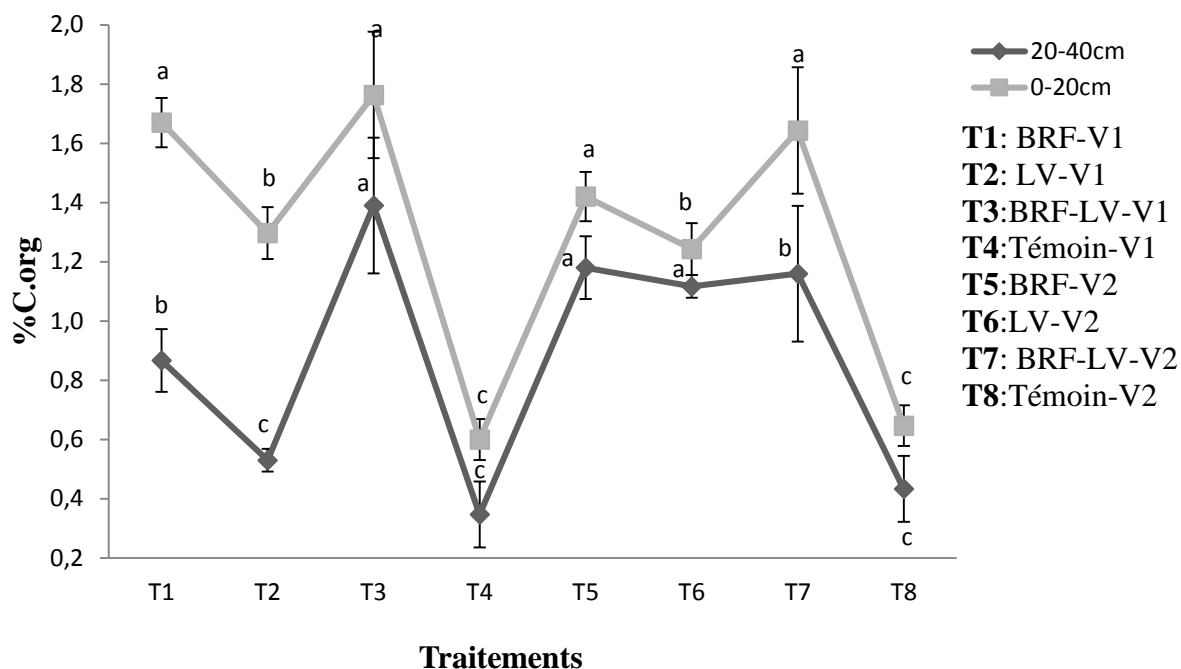


Figure 18 : Teneur en carbone organique sur les profondeurs 0-20cm et 20-40cm en fonction des traitements

➤ Teneur en Azote (%N)

L'interaction des facteurs (amendement et volume d'arrosage) a un effet significatif ($F=3,57$; $p=0,0471$) (Annexe 1) sur la teneur en azote des sols dans la profondeur 0-20cm (figure 19). Les traitements T2, T4, T8 présentent les faibles teneurs en azote ($\%N < 0,08$) avec aucune différence significative entre eux. Par contre les traitements T1 ($0,11 \pm 0,005\%$), T3 ($0,11 \pm 0,01\%$), T6 ($0,13 \pm 0,01\%$) et T7 ($0,14 \pm 0,01\%$) sont d'après le test de Tukey différents des précédents et donnent des teneurs en azote plus élevé. La plus importante moyenne est obtenue sur le T5 ($0,15 \pm 0,005\%$) qui est significativement différents des autres. L'influence du volume V2 d'arrosage est bénéfique à l'apport des BRF. Par ailleurs, le taux d'azote des sols sur la profondeur 20-40cm est très significativement ($F=37,64$; $p < 0,0001$) influencée par l'effet simple du facteur amendement. Ainsi les amendements BRF ($0,1 \pm 0,006a\%$) et

BRF-LV ($0.09 \pm 0.004a\%$) présentent les moyennes en azote élevées significativement différent des amendements de LV ($0.06 \pm 0.006b\%$ et de témoin ($0.03 \pm 0.007b\%$)).

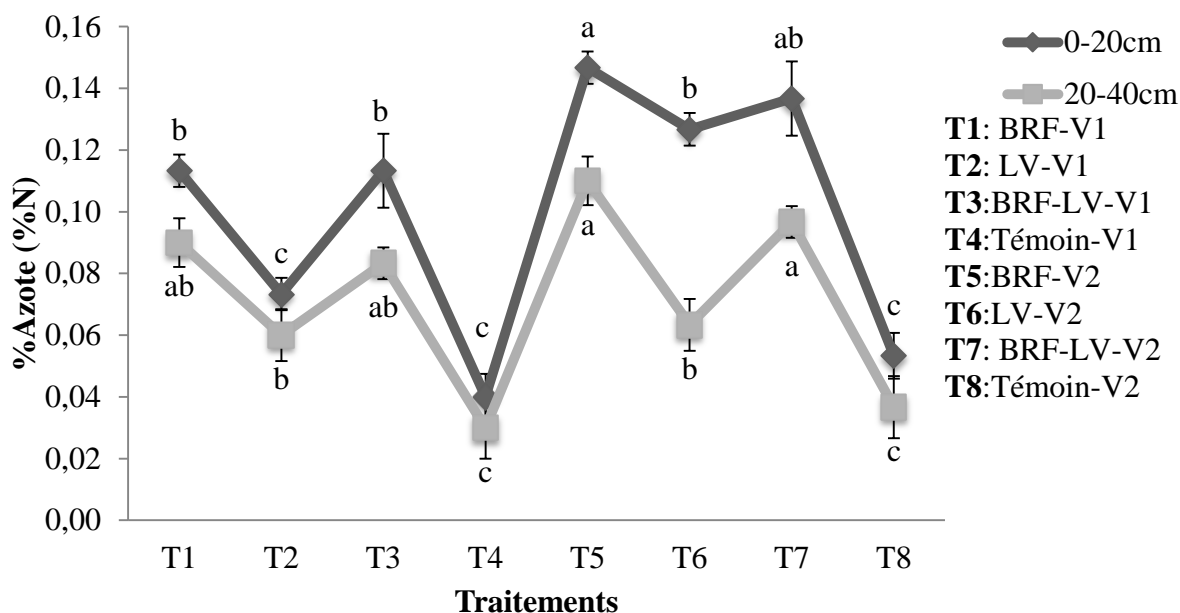


Figure 19 : Teneur en azote en fonction des traitements à la profondeur 0-20cm et 20-40cm.

➤ Teneur en phosphore

Dans la partie arable du sol (0-20cm) l'amendement influence très significativement ($F=50,82$; $p<0,0001$) les teneurs en phosphore des sols d'après l'analyse de variance (Annexe 1). Les moyennes élevées obtenues par l'amendement BRF ($14,6 \pm 1,07\text{ppm}$) et BRF-LV ($14,1 \pm 1,17\text{ppm}$) sont significativement supérieures aux moyennes obtenues sur les amendements LV ($6,9 \pm 0,77\text{ppm}$) et le témoin ($5,72 \pm 0,6495\text{ppm}$). Les amendements avec BRF attribuent au sol une fertilité moyenne quand la litière de volaille baisse son niveau. Par ailleurs, l'analyse de variance (Annexe 1) a montré une différence significative ($F=4,11$; $p=0,0321$) de la quantité de phosphore sur l'interaction des facteurs sur la profondeur 20-40cm. Comme précédemment les mêmes observations sont faites avec les traitements T1, T3, T5, T7 essentiellement constitués de BRF et la combinaison BRF_LV influencés par la diminution de moitié du volume d'arrosage. Ces traitements présentent des valeurs élevées en quantité de phosphore, donc un niveau élevé de fertilité pour les sols (figure 20)

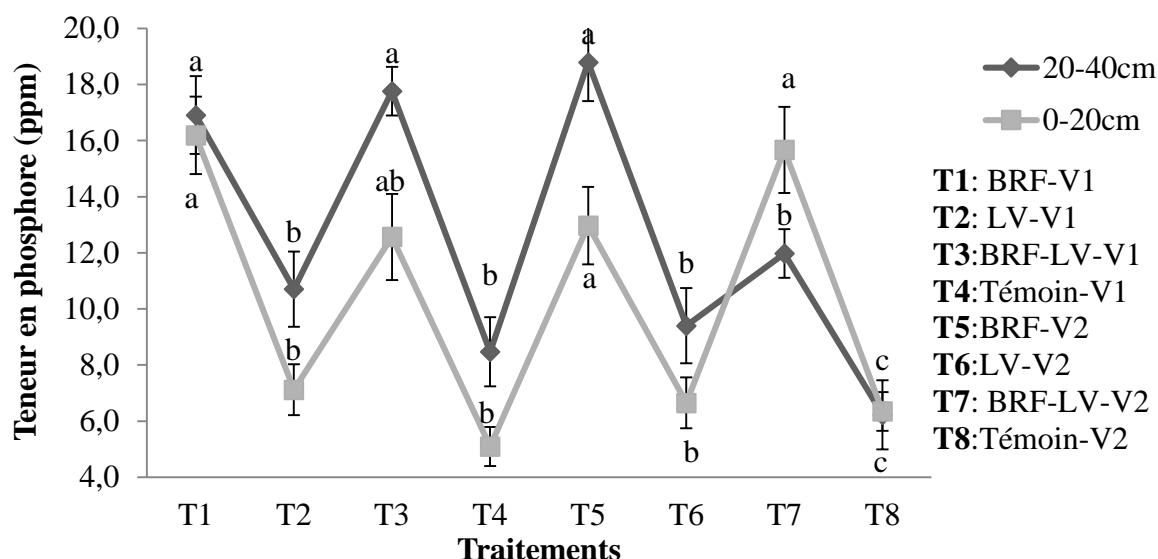


Figure 20 : Teneur en phosphore en fonction des traitements à la profondeur 0-20cm et 20-40cm

➤ Stock de carbone et rapport C/N

L'effet de l'interaction des deux facteurs n'est pas significatif sur le stock de carbone du sol. Par ailleurs, l'effet simple de l'amendement organique a été significatif sur les stocks de carbone aux profondeurs : 0-20cm ($F=19,24$; $p<0,0001$) et 20-40cm ($F=9,91$; $p=0,0014$). Les stocks de carbone des traitements BRF sont significativement supérieurs aux traitements LV et témoin (tableau 2). Sur l'ensemble du profil les stocks de carbone des sols les plus élevés sont apportés par les amendements de BRF et BRF-LV (tableau 3). Parallèlement sur l'indicateur de décomposition de la matière organique du sol (rapport C/N) le volume d'arrosage influence significativement ($F=20,19$; $p=0,0461$) les moyennes obtenues. Le rapport C/N du volume d'arrosage V1 ($16,2\pm0,82a$) est significativement différent de celui du volume V2 ($10,9\pm0,82b$). Ces rapports montrent néanmoins une décomposition moyenne de la matière organique du sol.

Tableau 2 : Stock de carbone organique des sols sous les amendements		
Traitements	Profondeurs	
	0-20cm	20-40cm
BRF	40,8±2,9429 ab	25,2±2,82 ab
BRF_LV	44,7±2,94 a	29,5±2,82 a
LV	33,5±2,94 b	20,5±2,82 b
Témoin	16,33±2,94 c	8,9±2,82 c

Les moyennes partageant la même lettre ne sont pas significativement différent

Tableau 3 : Stock de carbone organique des sols sur l'ensemble du profil

Traitements	Volume d'arrosage	Amendements	0-20cm		20-40cm	
			Stock (t/ha)	Erreur type	Stock (t/ha)	Erreur type
T1	V1	BRF	42,2a	4,11	20,1a	3,98
T2	V1	LV	33,3b	4,11	12,1b	3,98
T3	V1	BRF_LV	44,1a	4,11	31,6a	3,98
T4	V1	Témoin	15,4c	4,11	7,5c	3,98
T5	V2	BRF	39,4a	4,11	30,2a	3,98
T6	V2	LV	33,6b	4,11	28,9a	3,98
T7	V2	BRF_LV	45,3a	4,11	27,4a	3,98
T8	V2	Témoin	17,2c	4,11	10,4c	3,98

Les moyennes partageant la même lettre ne sont pas significativement différent

4.1.2 Influence des traitements sur les propriétés hydriques du sol.

Les propriétés hydriques sont appréciées par rapport au pF2.5 et pF4.2 aux différentes profondeurs ; à la température du sol et à la teneur en eau du sol.

- La capacité au champ et le point de flétrissement
 - A la profondeur 0-20cm

Le tableau 4 présente les humidités au pF2.5 et pF4.2 sous l'interaction des traitements. En effet, l'interaction des facteurs démontre une influence significative sur la capacité au champ ($F=18,41$; $p<0,0001$) et le point de flétrissement ($F=18,33$; $p<0,0001$) (annexe 2) dans la couche humifère du sol. Le volume d'arrosage V2 influence plus l'humidité sous la combinaison de BRF et LV. Les traitements T7 : BRF-LV-V2 ; T3 : BRF-LV-V1 ; T1 : BRF-V1 et T2 : LV-V1 montrent les taux humidités les plus élevées comparativement aux autres. Au seuil de 5% ces moyennes ne sont pas statistiquement différentes.

Tableau 4 : Valeur moyenne des pF sur l'interaction des facteurs à la profondeur 0-20cm

Traitements	Volume d'arrosage	Amendements	pF2,5	pF4,2
T1	V1	BRF	21,5±0,7a	11,6±0,4a
T2		LV	20,4±1,5 a	11,03±0,8 a
T3		BRF_LV	22,3±0,6 a	12,04±0,3 a
T4		Temoin	17,9±2,6 b	9,6±1,4 b
T5	V2	BRF	17,7±0,6 b	9,6±0,4 b
T6		LV	12,4±1,4 c	6,7±0,8 c
T7		BRF_LV	23,2±0,6 a	12,5±0,3 a
T8		Temoin	14,1±2,6 c	7,6±1,4 c

Les moyennes partageant la même lettre ne sont pas significativement différent

- A la profondeur 20-40

Dans cette partir du sol, l'interaction des facteurs n'influence par les paramètres considérés. Seul l'effet simple du type d'amendement organique et volume d'arrosage séparément a un effet significatif sur la capacité au champ et le point de flétrissement selon l'analyse des variances (Annexe 1). L'amendement BRF a le plus important taux suivi du BRF-LV relativement au sol recevant la litière de volaille. En comparant les moyennes entre elles, le test de Tukey ne révèle pas de différence significative entre les amendements avec BRF et BRF-LV. Mais une différence significative est observée entre ces amendements et la litière de volaille ainsi que le témoin. Les tableaux 5 et 6 présentent respectivement les valeurs moyennes des pF considérant le facteur amendement et l'interaction des facteurs.

Tableau 5 : Humidité des sols au pF sur les amendements organiques		
Profondeur: 20-40cm		
Amendements	pF2,5	pF4,2
BRF	22,5±0,7 a	12.2±0,4 a
BRF_LV	21,4±0,1 a	11,6±0,5 a
LV	20,3±0,6 b	10,1±0,3 b
Témoin	15.3±0,2 c	8,2±0,2 c

Les moyennes partageant la même lettre ne sont pas significativement différent.

Tableau 6 : Humidité des sols au pF sur l'interaction des facteurs

Traitements	Volume d'arrosage	Amendement s	Profondeur: 20-40cm			
			pF2.5	Erreur type	pF4.2	Erreur type
T1	V1	BRF	25,9a	1,04	14,0a	0,56
T2	V1	LV	24,3a	0,83	13,1a	0,45
T3	V1	BRF_LV	25,1a	1,38	13,5a	0,75
T4	V1	Témoin	19,6b	0,31	10,6b	0,17
T5	V2	BRF	19,1b	1,04	10,3b	0,56
T6	V2	LV	16,3b	0,83	8,8b	0,45
T7	V2	BRF_LV	17,8b	1,38	9,6b	0,75
T8	V2	Témoin	10,9c	0,31	5,9c	0,17

Les moyennes partageant la même lettre ne sont pas significativement différent

➤ La teneur en eau et la température du sol

L'évolution de la teneur en eau et la température du sol au cours des mois sont présentée par les figures 21 et 22. L'analyse des figures montrent que les traitements T5, T7, T2 ont une teneur en eau constamment élevé durant la production. Les traitements avec BRF ont plus été influencés par le volume V2 d'arrosage dans la conservation de l'humidité du sol. La température quant à elle reste assez constante suivant les traitements.

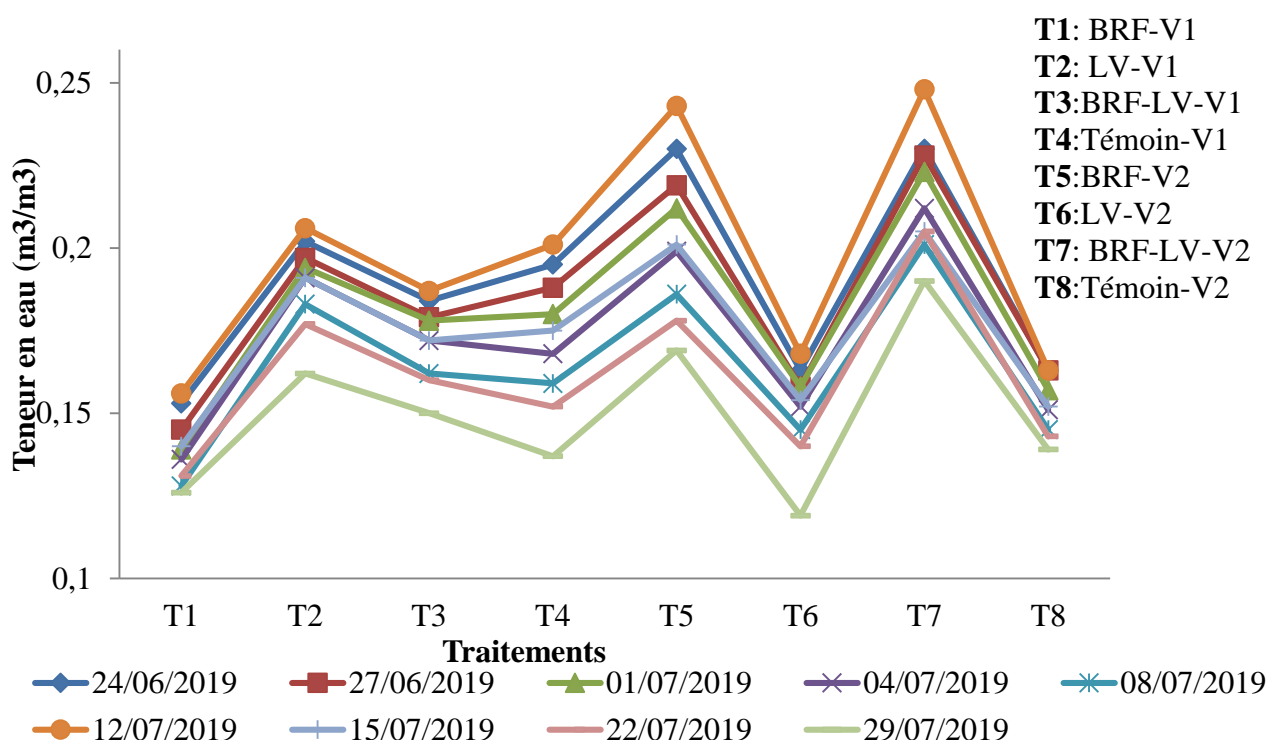


Figure 21 : Evolution de la teneur en eau du sol sous les traitements

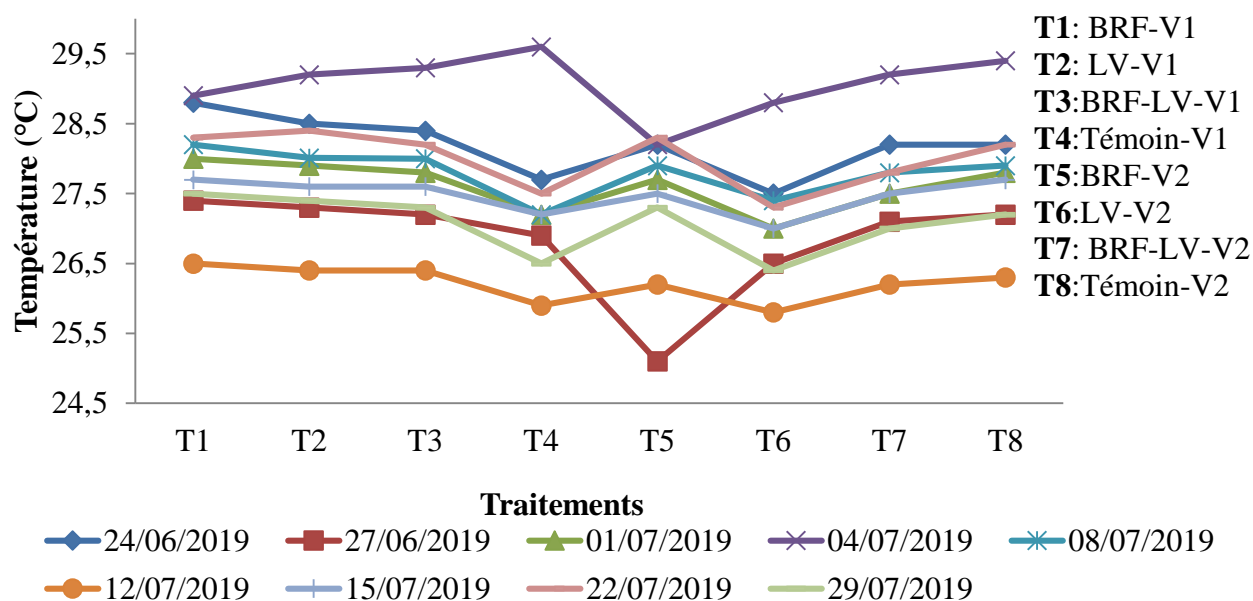


Figure 22 : Evolution de la température du sol selon les traitements

4.2 Influence des traitements sur la colonisation mycorhizienne des racines du gombo.

Le taux de colonisation des racines soumis à l'analyse de variance (Annexe 2) indique une non-significativité des moyennes suivant l'interaction des deux facteurs (figure 23) ainsi que l'effet simple du facteur volume d'arrosage. Par contre, l'effet simple du facteur amendement organique est significatif sur le taux de colonisation ($F=56,73$; $p=0,0001$). Le test de Tukey indique que les amendements BRF ($62,75 \pm 3,34a$) et BRF-LV ($62,69 \pm 3,34a$) procurent aux racines, une forte colonisation par les champignons mycorhiziens à travers la présence des vésicules dans la structure racinaire du gombo supérieure à celle de la litière de volaille ($27,68 \pm 3,34b$). Les taux moyen portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différent.

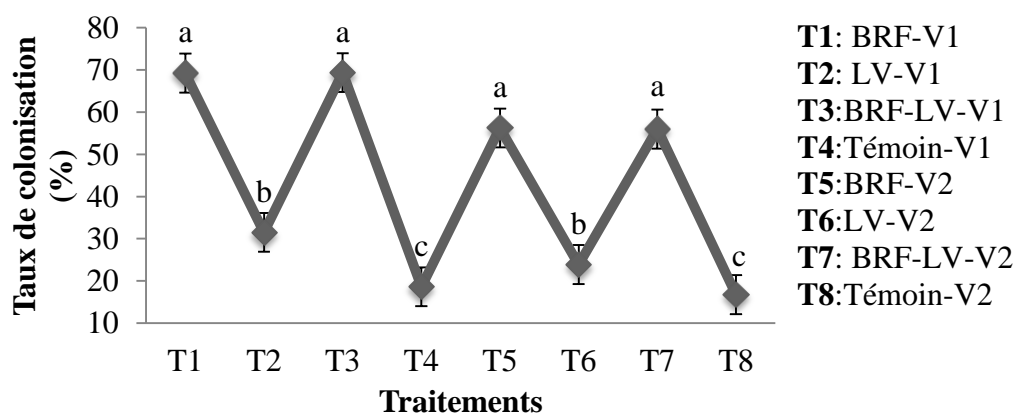


Figure 23 : Le taux de mycorhization sous l'interaction des facteurs

4.3 Effet des traitements sur les paramètres de rendements du gombo

4.3.1 Effet des traitements sur la hauteur et le nombre de feuille du gombo

Les résultats d'analyse de variance montrent une différence significative ($F= 4,01$; $p= 0,0079$) entre la hauteur du gombo et le nombre de feuille observé pour l'interaction des deux facteurs : amendement organique et volume d'arrosage (Annexe 3). Les effets de la combinaison des facteurs sur les paramètres de croissance sont présentés par le tableau 7. L'analyse de ce tableau révèle que la réduction de moitié du volume d'arrosage n'influence les paramètres de croissance que sur les traitements litière de volaille et témoin. Par ailleurs, la comparaison des moyennes effectuée avec le test de Tukey révèle de manière générale une supériorité des moyennes sur les traitements constitué de BRF ; BRF-LV par rapport aux traitements composés de litière de volaille (LV) et témoin. Ces traitements présentent des valeurs élevées en hauteur et feuille du gombo.

Tableau 7 : Données de paramètre de croissance relatif à chaque traitement

Paramètres de croissance	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	V1				V2			
	BRF	LV	BRF_LV	Témoin	BRF	LV	BRF_LV	Témoin
Hauteur (cm)	31,1±2,1 a	27,9±2,0 a	28,2±1,9 a	24,9±2,0 b	28,3±2,1 a	24,8±2,0 b	30,1±1,9 a	23,2±2,0 b
Nombre de feuille	10,8±0,7 a	11,2±0,7 a	10,8±0,8 a	9,9±1,2 b	10,0±0,7 a	10,0±0,7a	13,6±0,8 a	9,3±1,2 b

Les moyennes des traitements ne partageant pas les mêmes lettres sont significativement différentes.

4.3.2 Effet des bois raméaux fragmentés et de la litière de volaille sur le rendement du gombo.

Les rendements en fruit obtenus soumis à l'analyse de variance ne présentent aucune différence significative suivant l'interaction des facteurs ($F=1,29$; $p=0,3092$) ainsi que sur les facteurs amendements ($F=0,29$; $p=0,8304$) et volume d'arrosage ($F=0,33$; $p=0,6052$). Ces résultats indiquent que le rendement en fruit obtenu sous le volume V1 ($2,4±0,4$ t/ha) n'est pas significativement différents de celui du volume V2 ($2,1±0,4$ t/ha) ; il n'y a également pas de différence significative entre les 4 traitements organiques (BRF : $2,4±0,6$ t/ha ; BRF-LV : $2,1±0,4$ t/ha ; LV : $2,1±0,4$ t/ha ; témoin : $2,0±0,3$ t/ha). L'interaction révèle que les

traitements T1, T2, T5 et T7 permettent d'atteindre des rendements moyens élevés pour la production du gombo (tableau 8).

Tableau 8 : Rendement fruit obtenu sur l'interaction des facteurs

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	V1				V2			
	BRF	LV	BRF_LV	Temoin	BRF	LV	BRF_LV	Temoin
Rendement fruit (t/ha)	2,4±0,7 a	2,4±0,4 a	1,9±0,5 a	2,1±0,7 a	2,4±0,7 a	1,8±0,4 a	2,2±0,5 a	2,1±0,7 a

Les moyennes des traitements ne partageant pas les mêmes lettres sont significativement différentes au test de Tukey (5%)

4.3.3 L'indice de récolte du gombo sous l'application des bois raméaux fragmentés et de la litière de volaille

La part qu'occupe la production des fruits dans le rendement totale (rendement fruit +biomasse aérienne) du gombo est traduit par les données d'indice de récolte. L'analyse de variance (Annexe 3) indique une différence significative ($F=5,93$; $p=0,0053$) entre l'interaction des traitements et cette significativité est due aux amendements organiques ($F=6,37$; $p=0,0039$) appliqué au seuil de 5%. Le résultat indique que l'indice de récolte le plus élevé est observé sur les traitements ayant reçu la Litière de volaille (LV-V1 : 0.8075 ± 0.03447 ; LV-V2 : 0.7975 ± 0.03447). Le test de comparaison des moyennes différencie significativement le traitement BRF-V1 (ayant la plus petite moyenne d'indice) des autres traitements, qui entre eux ne présente pas significativement de différence. Les traitements partageant au moins une lettre en commun dans le tableau 6 ne présentent statistiquement pas de différence.

Tableau 9 : Indice de récolte suivant l'interaction des facteurs

Traitement	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
nts	V1				V2			
	BRF	LV	BRF_L	Témoin	BRF	LV	BRF_L	Témoin
	V				V			
Indice de récolte	0,55±0,03	0,81±0,04	0,74±0,11	0,81±0,04	0,80±0,04	0,80±0,03	0,64±0,11	0,81±0,03

5 Discussion

5.1 Caractéristique physico-chimique des sols sous l'application des BRF et la litière de volaille.

L'objectif est d'évaluer l'effet des amendements organiques et du volume d'eau d'arrosage sur les paramètres du sol. Les résultats des analyses de sol ont montré que les traitements à base de BRF C'est-à-dire T3 (BRF-LV-V1), T5 (BRF-V2), T7 (BRF-LV-V2) donnent un état moyennement acide au sol. Par contre les traitements avec la litière de volaille donnent un état très fortement voir extrêmement acide au sol (Confère tableau d'interprétation en annexe). Le pH (eau) est un paramètre utilisé pour évaluer l'acidité actuelle du sol et n'est pas très stable dans le temps. Ainsi, on lui associe le pH (KCl) qui rend compte de l'acidité potentielle constituée par les ions H^+ fixé sur le complexe absorbant. Le pH est un élément clé de la composition chimique du sol et détermine la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et les microorganismes du sol (Borahet al 2010; Doucet 2006).Influence également l'assimilation des nutriments par les plantes (Joimel 2018).Ainsi l'application des BRF facilite l'assimilation des éléments nutritifs dans le temps de façon durable contrairement à la litière de volaille. Les BRF permettent au sol d'avoir une acidité moyenne selon le tableau de limitation du niveau de fertilité (Annexe 1).

L'analyse des résultats de l'étude a montré également que le stock de carbone sur les profondeurs 0-20 et 20-40cm est significativement influencé par l'amendement organique. On a constaté que les amendements avec BRF présentent environ 10t/ha de stocks de carbone de plus que les traitements avec litière de volaille (tableau 2).Les travaux de recherche effectués par Volkoff *et al.*,(1999) sur les sols ferrallitique et ferrugineux tropicaux du Bénin ont montré que les stocks moyens de carbone était de 22 t.ha⁻¹ dans la tranche de 0-20 cm et de 45 t.ha⁻¹ dans la tranche de 0-100cm. Ces stocks de carbone des sols de nos différents traitements étaient bien situés dans la fourchette définie par Volkoff *et al.*,(1999). Néanmoins il est constaté que les stocks de carbone de la couche arable (0-20cm) observés sont supérieurs à ceux de la profondeur 20-40cm. Powers et Schlesinger, (2002) ont montré que le niveau de l'horizon peut aussi expliquer la variabilité de la concentration du carbone du sol, car les argiles des horizons inférieurs emprisonnent fortement le carbone qui ne peut être facilement oxydé. Ceci pourrait être expliqué aussi par la forte teneur décroissante en carbone organique des sols suivant la profondeur 0-40cm, prouvé par nos résultats. Nos résultats ont également

montré que le carbone organique est très significativement influencé par les amendements sur la profondeur 0-20cm.

Cette accumulation du carbone organique serait due à l'incorporation des amendements dans la première couche du sol et l'absence de labour dans les préparations des sols. Certains auteurs pensent que les modes de travail du sol supprimant le labour contribueraient à augmenter la teneur en C organique en surface et ainsi à favoriser la séquestration du C dans les premiers centimètres du sol (Angers et al. 1997; Six et al. 2002; Carter, 2005; Oison et al., 2005). Poirier (2007) par contre prouve qu'en l'absence de labour, la teneur en C augmente à la surface du sol, la présence du labour accroît la teneur en C des horizons inférieurs. Six et al. (2000) justifie cette affirmation par la fonction du lien existant entre le renouvellement des macro-agrégats, la formation des micro-agrégats et la stabilisation du C dans le sol. Le carbone est rattaché à un autre concept appelé matière organique qui fait partir des principaux indicateurs de fertilité des sols (Ballot et al. 2016)

L'ensemble des éléments nutritifs (N ;P ; pH) constituent les indicateurs de fertilité des sols (Pypers et al. 2011) et dépendent plus ou moins directement de la teneur en matière organique quantifié par le carbone (Augusto et al. 2006). Cependant l'azote total et le phosphore assimilable ont connu de forte teneur sous les traitements avec BRF contrairement aux sols sous les litières de volaille. Le phosphore est resté plus immobilisé dans la profondeur du sol et influencé par le volume d'arrosage avec une quantité maximale de 18,8ppm. Quant à l'azote, il est beaucoup plus concentré dans la partie arable du sol avec une quantité maximale de 1,5g/kg de N. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que, les sols étudiés présentent une teneur assez bonne en matière organique. Cette dernière permet à l'immobilisation du phosphore et la disponibilité de l'azote dans les sols. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par (Bertrand et Gigou 2000; Luciens et al. 2012). Le résultat de Daassi et al., (2020) soumis ont montré que les BRF de *G. arborea* ont des teneurs élevés en éléments nutritifs (N :0,5% ; P : 537,2 mg/kg; K :519,9 mg/kg ; Na : 76,4 mg/kg; Ca : 60mg/kg; Mg : 72mg/kg; Mn :60,9mg/kg; Fe :99,3mg/kg; Zn : 16,1mg/kg. Par ailleurs, ces mêmes auteurs ont montré que les BRF de *G. arborea* présentaient des teneurs en lignine, cellulose, extractibles et cendre respectivement de 24,6%, 21%, 16% et 3,3%. Ces caractéristiques pourraient expliquer les effets bénéfiques des BRF observés sur l'amélioration des paramètres physico-chimiques déterminés. En effet, la forte teneur en lignine de ces matériaux pourrait contribuer, lors de sa décomposition, à l'augmentation des substances humiques dont la formation est expliquée par plusieurs auteurs par la théorie des polyphénols (Flaig. W. 1978; Haider 1994;

Haynes 1986; Stevenson 1994; Stout et al. 1981). De poids moléculaire élevé, la lignine exerce un contrôle sur le taux de décomposition à la fois par sa résistance aux attaques enzymatiques, et par la protection physique des constituants cellulaires contre la dégradation (Kindiela et al. 2019).

En outre, le rapport C/N des tissus végétaux est un indicateur qui détermine le taux de libération des nutriments au cours de la minéralisation dans le sol et, par conséquent, la vitesse de décomposition relié à l'activité biologique (Dossa et al. 2009; Joimel 2018; Tissaux 2001). En effet, les sources d'engrais organique possédant un rapport C/N en dessous de 20 contiennent une concentration élevée de nutriments (Chaves et al. 2007; Tognetti et al. 2008). D'après nos résultats, le volume d'arrosage influence significativement le rapport C/N des sols. Les rapports C/N obtenus sous les volumes V1 et V2 sont statistiquement différentes. Allant dans le même sens que nos résultats, (Moore et al. 1999) indique que le climat, la composition chimique de la matière organique et l'organisme décomposeurs sont des variables affectant la vitesse de décomposition des amendements. Ces auteurs ajoutent que le climat traduisant la décomposition de la litière est surtout affecté par la température et l'humidité. En effet, dans les conditions de température et humidité élevées, les processus de minéralisation de la matière organique sont intenses en raison d'une plus grande activité des organismes du sol (Couteaux et al. 1995; Meier et al. 2010)

Concernant la propriété hydrique du sol, les travaux ont prouvé que les sols ayant reçu les BRF gardent une meilleure humidité à la capacité au champ et au point de flétrissement ainsi qu'une bonne teneur en eau contrairement aux sols traités avec la litière de volaille. Ce résultat peut trouver son explication d'abord par l'action de garder le sol arrosé pour faciliter la décomposition des tissus organiques. Aussi la forte teneur en carbone organiques des sols sous BRF qui traduit une importante source de matière organique stable expliquerait ces résultats. La présence d'humus améliore la rétention en eau du sol, car l'humus affecte le taux d'infiltration, la quantité d'eau totale dans le sol et son évaporation à la surface (Stevenson, 1994). Selon Hubert et Schaub (2011), la matière organique joue un rôle physique dans le sol pour la cohésion, la structure, la porosité, la rétention ou le stockage de l'eau. Par rapport à la fertilisation minérale, la matière organique apporte, en plus des macroéléments, des oligoéléments favorables aux cultures tout en améliorant les propriétés du sol comme : l'infiltration, l'humidité, la porosité et la stabilité structurales plus élevées, ainsi qu'une compacité plus faible (Lalande et al. 1998 ; Soumare et al. 2002). L'augmentation de la quantité de C retenue dans le sol est synonyme d'une hausse de sa teneur en matière

organique, ce qui influence positivement l'augmentation de la quantité de C séquestrée. Cette séquestration du C dans le sol peut se traduire par une amélioration de l'agrégation, de l'aération, de la capacité d'infiltration et de rétention de l'eau et de la qualité des eaux de surface et souterraines, par une diminution de l'érosion et par une augmentation de la capacité d'échange cationique du sol, de l'activité biologique, de la biodiversité et du recyclage des éléments nutritifs (Poirier 2007). L'aptitude des sols traités avec BRF à retenir l'eau serait liée de par sa nature intrinsèque à travers sa texture argilo-limoneux considéré comme équilibré. La texture est un des facteurs clefs de la fertilité des sols car elle détermine certaines propriétés physiques et influence des propriétés chimiques des sols (Baize et al. 2011). Elle apporte notamment des indications sur la capacité de rétention d'eau et l'aération du sol, paramètres essentiels au développement du système racinaire (Joimel. 2018).

De manière générale, l'ensemble des traitements comportant les BRF ont connu une amélioration dans les propriétés du sol. De manière générale, les BRF entraînent après décomposition une amélioration de la fertilité du sol : augmentation de la teneur en C et N, du pH (d'où une réduction des effets des cations toxiques tels Fe, Mn ou Al) comparativement à la litière de volaille, Plusieurs auteurs sont allés dans le même sens : (Gasser et al. 1995; Lalande et al. 1998; N'dayegamiye and Angers 1993; Tremblay and Beauchamp 1998) ; (Barthès et al. 2010; P. G. Lemieux 2001).

5.2 Effets des traitements sur l'activité fongique des champignons.

Les travaux ont montré une forte colonisation des racines du gombo par les champignons mycorhiziens arbusculaires sur les sols soumis au BRF et combinaison BRF-LV. Les sols de litière de volaille présentent de très faible taux de mychorization. Cette forte colonisation caractérisée par la présence des champignons à arbuscule est due à la richesse en élément nutritifs des BRF de *G. arborea* (Daassi et al., 2020) qui par la même occasion enrichis le sol et en la petite taille des fragments de bois. Le sol sous les BRF maintient un bon état d'humidité ce qui favorise l'incubation de la symbiose mycorhizienne. Avec le rapport C/N faible, la température du sol favorable d'après nos résultats, la décomposition de la matière organique intensifie l'activité biologique du sol. La forte teneur en carbone organique influencerait aussi les fortes colonisations observées car l'apport de carbone a avant tout un rôle énergétique pour tous les êtres vivants du sol, des micro- organismes (bactéries, champignons) à la macrofaune (Leclerc 2009). Des travaux montrent que dans le sol cultivé en association avec les arbustes, les activités enzymatiques (uréase, arylsulphatase et

déshydrogénase) sont plus élevées qu'en culture pure. Elles confirment l'existence d'une activité microbienne et d'un recyclage des nutriments plus importants dans le sol cultivé en association avec les arbustes que dans celui d'une monoculture (Diakhate et al. 2016). D'après Tremblay et Beauchamp (1998), l'incorporation de BRF a stimulé temporairement le développement des populations de champignons alors que les populations de bactéries et d'actinomycètes sont demeurées stables. L'ajout de BRF au sol provoque aussi une augmentation des populations de la méso faune du sol (Larochelle 1994). Une grande biodiversité des communautés bactériennes et fongiques est observée dans la rhizosphère du mil, lorsqu'il est cultivé dans le système agro forestier plutôt qu'en monoculture (Debenport et al. 2015; Diakhate et al. 2016). De plus cité par (Chapuis-Lardy et al. 2015), la colonisation des racines de mil par les mycorhizes à arbuscules (AMF) est plus abondante à proximité de l'arbuste, notamment pour les sites du nord, aux sols plus sableux et recevant des précipitations plus faibles (Bright et al. 2014). Une expérimentation en mésocosmes réalisée sous serre a permis de vérifier que la présence de *G. senegalensis* favorise la croissance du mil par le biais d'un réseau de mycélium partagé favorisant le transfert des nutriments et de l'eau (Dick et al. 2015). Des travaux permettent de comprendre que parmi les microorganismes les champignons jouent un rôle majeur (Swift 1982) dans l'activité fongique des sols et que la fragmentation du bois permet donc une meilleure pénétration des hyphes fongiques (Allison, 1973). De plus, l'eau est essentielle au transport des nutriments, dans et à l'extérieur du mycélium du champignon, et joue un rôle clef dans son extension (Rayner et Boddy.1988). Aussi la qualité de la ressource est une notion très importante puisqu'elle influence tous les processus de décomposition subséquents (Haynes 1986; Heal et Dighton. 1985; Northup et al 1995).

5.3 Effet des BRF et la litière de volaille sur les paramètres de croissance et de rendement du gombo.

La hauteur et le nombre de feuille sont significativement influencés par l'interaction des facteurs amendements et volume d'arrosage. La hauteur et le nombre de feuille des plants de gombo sous les traitements avec BRF sont plus améliorés que les traitements à la litière de volaille. Les paramètres de croissance connaissent alors une amélioration suite à deux ans d'application des amendements organiques (BRF et litière de volaille), car l'apport d'amendement organique contribue à améliorer le statut organique des sols, avec tous les effets bénéfiques qu'il entraîne (lutte contre l'érosion, maintien d'une bonne structure, stockage de carbone, augmentation de la bio- diversité) (Leclerc 2009; Saidou et al. 2012).

L'effet significatif des BRF serait lié à la forte disponibilité et à l'amélioration des paramètres physico-chimiques des sols. De plus, les sols sous BRF procurent des conditions telles qu'une bonne capacité de rétention en eau, une température du sol favorable à la vie microbienne, de meilleur teneur en azote, phosphore et surtout en carbone donc un accroissement de la matière organique. La plus grande hauteur est obtenue sur le traitement BRF-V1 et le nombre de feuille le plus élevé sur le BRF-LV-V2. Par ailleurs, aucun des facteurs étudiés n'a affecté significativement le rendement du gombo. Les rendements obtenus se situant entre 1,8t/ha et 2,4 t/ha sont loin d'être les rendements escomptés en considérant la variété Icrisat utilisée. Adégbola et al. (2017) suite à des travaux indiquent que la variété (Icrisat) à un potentiel de 8 à 15t/ha. Ce faible rendement pourrait se justifier par : la durée d'application des amendements ; l'insuffisance des éléments nutritifs du sol pour permettre à la culture de satisfaire ses besoins métabolique afin de bouclé son cycle malgré les fortes teneurs en élément majeur analysés après récoltes dans les sols et la forte activité microbienne observé pendant la phase de floraison. Contrairement à nos résultats sur le rendement, (Kindiela et al. 2019) a montré que l'utilisation des copeaux d'*Acacia mangium* et surtout de *Bridelia ferruginea* comme amendement organique améliore la production du manioc .

D'autres travaux ont montré que l'application de bois raméaux fragmentés (BRF) de *C. equisetifolia* a affecté négativement la croissance et le rendement de la tomate au cours de la première année qui a suivi son application (Ba et al. 2014). Il faut tout de même considérer le fait que la litière de *F. albida* a été prélevée sur l'arbre pour justifier son effet par rapport celle de *C. equisetifolia*. Celle-ci étant prélevée sous l'arbre, le processus de décomposition s'amorcerait avant le ramassage. D'où son influence favorable sur les paramètres de croissance et le rendement du mil comparé à celui de la litière de *F. albida*. Plusieurs chercheurs sont parvenus à accroître le rendement des plantes cultivées par l'apport des engrais organiques. Les travaux de (Diallo et al. 2008) portant sur l'influence de la litière foliaire de cinq espèces végétales tropicales sur la croissance du mil et du maïs en serre ont donné des résultats intéressants sur les cultures testées. La litière de *F. albida* a montré un effet positif sur tous les paramètres de croissance mesurés, à savoir, le nombre de feuilles, le diamètre au collet, la croissance en hauteur et les biomasses sèches racinaire et aérienne. De même, la litière de *C. equisetifolia* avait montré un effet positif sur le diamètre au collet du mil. Sur le maïs, la litière de *F. albida* a amélioré la croissance en hauteur et les biomasses aérienne et racinaire; d'où la nécessité de favoriser la décomposition totale de la matière organique avant le semis des cultures (Diallo et al. 2019). D'autres travaux ont révélé que

l'apport de la litière de *A. indica* en mulch avait permis d'augmenter le rendement du Sorgho (*Sorghum vulgare*) et le degré d'amélioration du rendement était positivement corrélé avec la quantité de feuilles utilisée comme mulch (Samba, 2001).

6 Conclusion et suggestions

Cette étude consacrée à apprécier l'effet des bois raméaux fragmentés de *Gmelina arborea* et de litière de volaille sur la croissance et la production du gombo sur sol ferrallitique au Sud Benin nous a permis de constater l'avantages de l'utilisation des amendements organique pour une agriculture durable. Les résultats de cette étude ont révélé que :

- Les bois raméaux fragmentés de *Gmelina arborea* permettent au sol d'avoir des teneurs élevés en éléments nutritifs (N, P, C.org,) ainsi que des teneurs en eau élevés et des humidités au pF2.5 et 4.2 élevés comparativement à la litière de volaille.
- L'activité fongique à travers la colonisation mycorhizienne des racines, est significativement influencée par le type d'amendement et les sols ayant reçu les bois raméaux fragmentés de *Gmelina arborea* présentent des taux de colonisation plus élevés et significativement différent aux taux des sol de litière de volaille.
- La hauteur et le nombre de feuille sont influencés par l'interaction de l'amendement et du volume d'arrosage. Ces paramètres de croissance sont plus élevés sur les sols traités avec les bois raméaux fragmentés de *Gmelina arborea* que sur ceux de la litière de volaille.
- Les rendements de gombo ne sont pas significativement influencé par l'effet simple, ni combiné des facteurs.

Eu égard à tout ce qui précède, nous suggérons pour la suite de l'étude ce qui suit

- ❖ Une appréciation de l'effet des composts de BRF sur les propriétés du sol.
- ❖ Etudier l'effet des BRF sur des micros doses de volume d'arrosage afin d'apprécier les doses optimales.
- ❖ Appréhender les doses d'application optimale en production maraichère durable.
- ❖ Une étude comparée de l'influence des BRF à d'autres substrats organique biologique

7 Références bibliographiques

- Adegbelin, J.O., J.O Abayomi, and L.B Nwaigbo. 1988. "Gmelina Arborea in Nigeria. Commonwealth." *Forestry review*.
- Ahouandjinou, C. A.C. 2013. "Durabilité de La Production Maraichère Au Sud-Benin. Un Essai de l'approche Systémique." Université d'Abomey Calavi.Benin.
- Akanza, P. K., B. N'zué, and K. Anguété. 2002. "Influence de La Fumure Minérale et de La Litière de Volaille Sur La Production Du Manioc (Manihot Esculenta Crantz) En Côte d'Ivoire." *Agronomie Africaine* 14(2): 79–125.
- Akponikpè, P.B. I., P. Johnston, and E. K. Agbossou. 2010. "Farmers' Perception of Climate Change and Adapta-Tion Strategies in Sub-Saharan West-Africa." In *Con-Ference Paper, 2nd International Conference: Cli-Mate, Sustainability and Development in Semi-Arid Regions ICID+18*,.
- Akponikpè, P.B.I. et al. 2019. "Etude de Vulnérabilité Aux Changements Climatiques Du Secteur Agriculture Au Bénin. Report Produced under the Project "Projet d'Appui Scientifique Aux Processus de Plans Nationaux d'Adaptation Dans Les Pays Francophones Les Moins Avancés d'Afrique Subsah.""
- Allagbe, C M, A. Adjanohoun, E. G. D. Azon, and C.C. Tossou. 2012. "Evaluation Des Effets de La Combinaison de Doses de Fiente de Volaille Avec La Couverture Du Sol Sur Le Rendement et La Rentabilité de l ' Ananas (Ananas Comosus) Au Sud-Bénin EVALUATION OF THE EFFECTS OF THE COMBINATION OF DOSES OF DROPPINGS POULTRY (." *Rev.CAMES-Série A, Sciences et Médecine* 13(2): 252–56.
- Allison. FE. 1973. "Soil Organic Matter and Its Role in Crop Production,." *Development in Soil Science* 3, Elsevier Scientific: 673.
- Assogba-Komlan, Francoise. et al. 2007. "Pratiques Culturelles et Teneur En Éléments Anti Nutritionnels (Nitrates et Pesticides) Du Solanum Macrocarpum Au Sud Du Bénin." *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development* 7(4).
- Augusto, L et al. 2006. "Caractérisation Physico-Chimique Des Sols à l'échelle d'une Région Naturelle à Partir d'une Compilation de Données Exemple Des Sols Du Massif Forestier Landais." *Etude et gestion des sols* 13: 7–22.
- Ba, Marième Fall., G. Colinet, SAN. Samba, and E. Bassene. 2014. "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." *Journal of Applied Biosciences* 81(1): 7253.
- Badiane, A.N., M. Khouma, and M. Sene. 2000. "Region de Diourbel : Gestion Des Sols." *Drylands research working paper*. www.drylandsresearch.org.uk/pdfs/WP_Badiane_Soils.pdf.
- Baize, D. et al. 2011. *Synthèse Sur l'état Des Sols de France*. GIS Sol. eds. V. Antoni and et E Villanneau D Arrouays, A Bispo, M Brossard, C Le Bas, P Stengel. Paris, France.
- Bakayoko, S et al. 2007. "Fumure Organique et Productivité Du Manioc (Manihot Esculenta Crantz) En Côte d 'Ivoire." *Agronomie Africaine* 2(3): 271–79.

- Ballot, C S A et al. 2016. "Caractérisation Physico-Chimique Des Sols En Vue de l'Amélioration de La Productivité Du Manioc (Manihot Esculenta Crantz) Dans La Région de Damara Au Centre-Sud de Centrafrique Characterization Physicochemical Soils to Improve Productivity South-Cent." *Agronomie Africaine* 28(1): 9–23.
- Barthès, Bernard G, Raphaël J. Manlay, and Porte. Olivier. 2010. "Effets de l'apport de Bois Raméal Sur La Plante et Le Sol : Une Revue Des Résultats Expérimentaux." *cath Agri* 19(4): 255–61.
- Batamoussi, Michel Hermann et al. 2013. "Effet Des Engrais Organiques Sur La Croissance et Le Rendement de Deux Variétés de Tomate (Lycopersicum Esculentum) Dans La Commune de Parakou (Nord Bénin) [Effects of Different Organic Fertilizers Application on the Growth and Fruit Yield of Two Var." 24(1): 86–94.
- Bationo, A. et al. 2012. "Overview of Long Term Experiments in Africa. In Lessons Learned from Long-Term Soil Fertility Management Experiments in Africa." In New York; London, 1–26.
- Bationo, A., S. Koala, and E. Ayuk. 1998. . "Fertilité Des Sols Pour La Production Céréalière En Zone Sahélo-Soudanienne et Valorisation Des Phosphates Naturels." *Cahiers Agricultures* 7: 365–71.
- Bello, O. D. et al. 2016. "Trend Analysis of Climate Change and Its Im-Pacts on Cashew Nut Production (Anacardium Oc-Cidentale L.) in Bénin." *Octa Journal of Environ-mental Research; Octa Journal of Environmental Research, International Peer Reviewed Journal* 4(3): 181–97.
- Benjamin, John. 2019. *Effet de Trois Types de Composts et Fertilisants Chimiques Sur La Croissance et Le Rendement de La Courgette (Cucurbita Pepo L.) Dans Des Sols Basaltiques et Calcaires à La Commune de Kenscoff, Haïti*. Haïti. <http://hdl.handle.net/2268.2/8079>.
- Bertrand, R., and J. Gigou. 2000. "Fertilité Des Sols Tropicaux." *Maisonneuve et Larose, Paris (France)*: 397.
- Biaou, O.D.B. et al. 2017. "Effet de l'apport de Différents Types d'engrais Organiques Sur La Fertilité Du Sol et La Production de La Carotte (Daucus Carota L.) Sur Sol Ferrallitique Au Sud Bénin." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11(5): 2315–26.
- Biekre, AHT., B. Tra, T. Denezon, and O. Dogbo. 2018. "Caractéristiques Physico-Chimiques Des Composts à Base de Sous- Produits de Ferme de Songon En Côte d'Ivoire." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 12(1): 596-609.
- Bolan, N. S., D. c. Adrianob, R. Natesana, and B.J. Koob. 2003. "Effects of Organic. Amendments on the Reduction and Phytoavailability of Chromate in Mineral Soil." *Journal of Environmental Quality* 32: 120–28.
- Boli, Z., and E. Roose. 2000. "Rôle de La Jachère de Courte Durée Dans La Restauration de La Productivité Des Sols Dégradés Par La Culture Continue En Savane Soudanienne Humide Du Nord-Cameroun." In *La Jachère En Afrique Tropical*, eds. C. Floret and Pontanier. R. , Paris, 149–54.
- Bonzi, M. 1989. *Etudes Des Techniques de Compostage et Évaluation de La Qualité Des*

Composts: Effets Des Matières Organiques Sur Les Cultures et La Fertilité Des Sols. Mémoire de Fin d'étude IDR. Burkina Faso.

- Borah, K.K., B. Bhuyan, and H.P. Sarma. 2010. "Lead, Arsenic, Fluoride, and Iron Contamination of Drinking Water in the Tea Garden Belt of Darrang District, Assam, India." *Environmental monitoring and assessment* 169: 347–52.
- Bresson, L. M. et al. 2001. "Soil Surface Structure Stabilization by Municipal Waste Compost Application." *Soil Science Society of America Journal* 65: 1804–11.
- Breton, Vincent, Feddy Rey, and Yves Crosaz. 2015. "Le Bois Raméal Fragmenté (BRF) Pour La Lutte Contre l'érosion : Un Exemple de Valorisation d'un Déchet Organique." *Sciences Eaux & Territoires* 16: 46–49.
- Caburet, A. et al. 2002. *Les Légumes : La Tomate, In Memento de l'agronome*. Paris, France.
- Chabalier, PF., VV . De Kerchove, and HS. Macary. 2006. *Guide de La Fertilisation Organique à La Réunion*. CIRAD. ed. Réunion (île de la Réunion).
- Chapuis-Lardy, L. et al. 2015. "Potential of Sahelian Native Shrub Materials to Suppress the Spiral Nematode *Helicotylenchus Dihystera*." *Journal of nematology* 47: 214–17.
- Chaves, B. et al. 2007. "Manipulation the N Release from N- Rich Crop Residues by Using Organic Wastes on Soils with Different Textures." *Soil Use and Man* 23: 212–19.
- Cirad-Gret. 2002. *Mémento de l'agronome*. 5ème.
- Daassi, Rodrigue, Pierre Betu Kasangana, Damase P. Khasa, and Tatjana Stevanovic. 2020. "Chemical Characterization of Tropical Ramial and Trunk Wood and Their Lignins for Sustainable Agriculture Applications." *Industrial Crops and Products*, soumis.
- Darlington, Dave of. 2005. "Chipped Branch Wood. The Vegan-Organic Network." *Chorlton*: 12.
- Dauda, SN., FA. Ajayi, and E. Ndor. 2009. "Growth and Yield of Watermelon (*Citrullus Lanatus*) as Affected by Poultry Manure Application." *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and food Chemistry* 8(3): 305–11.
- Davy, Maxime. "Intérêts Agronomiques et Environnementaux Du Bois Raméal Fragmenté (BRF) - 4ème Année." *CHAMBRE D'AGRICULTURE MORBIHAN* (00).
- Debenport, S.J. et al. 2015. "Shifting Populations in the Root-Zone Microbiome of Millet Associated with Enhanced Crop Productivity in the Sahel." *Applied and environmental microbiology* 81: 2841–51.
- Devisscher, S. 1997. *Propriétés et Valorisation Du Compost. Mémoire de DESS*. France.
- Diakhate, S. et al. 2016. "Soil Microbial Functional Capacity and Diversity in a Millet Shrub Intercropping System of Semi-Arid Senegal." *Journal of arid environments* 129: 71–79.
- Diallo, Dalanda., Mariama. et al. 2019. "Effets de l'application de Différents Fertilisants Sur La Fertilité Des Sols, La Croissance et Le Rendement Du Mil (*Pennisetum Glaucum* (L.) R. Br. Dans La Commune de Gandon Au Sénégal." *Revue Africaine d' Environnement et d' Agriculture* 2(2): 7–15.

- Diallo, M. D., J. L. Chotte, A. Guissé, and S. N. Sali. 2008. "Influence de La Litière Foliaire de Cinq Espèces Végétales Tropicales Sur La Croissance Du Mil (*Pennisetum Glaucum* L. R. Br.) et Du Maïs (*Zea Mays* L.). Sécheresse." 19: 207–10.
- Diallo, M.D., J.L. Chotte, A. Guisse, and S.N. Sall. 2008. "Influence de La Litière Foliaire de Cinq Espèces Végétales Tropicales Sur La Croissance Du Mil (*Pennisetum Glaucum* (L.) R. Br.) et Du Maïs (*Zea Mays* L.) En Sécheresse." 19(3): 207–201.
- Dick, R.P. et al. 2015. "Optimizing Rhizosphere Microbiology and Hydrology of Shrub-Intercropping for Buffering Climate Change in the Sahel." In *In: 3e Conférence Scientifique Mondiale Sur l'Agriculture Climato-Intelligente, 16-18 Mars 2015..*
- Dkhil, B.Ben, and M Denden. 2014. "Effet de La Température Sur La Germination , La Détérioration Des Réserves Protéiques et Minérales Des Graines Du Gombo (*Abelmoschus Esculentus* L .)." *Journal of New Sciences* 5(4): 25–33.
- Dossa, E.L et al. 2009. "Carbon, Nitrogen and Phosphorus Mineralization Potential of Semiarid Sahelian Soils Amended with Native Shrub Residues." *Geoderma* 148(3–4): 251–60.
- Doucet, R. 2006. *Le Climat et Les Sols Agricoles*. ed. Berger. Québec.
- DRAME, Abdoulaye., and Mamadou. SECK. *Etude de l'influence Du Bois Rameal Fragmenté de Filao Sur Le Développement (et Les Facteurs Du Rendement) de La Tomate et Du Peuplement de Nématodes Phytoparasites Au Sénégal*.
- Essehi, Jean Lopez et al. 2016. "Impact de La Fertilisation Organique Sur Quelques Caractéristiques Du Sol et Les Paramètres de Croissance de l ' Hévéa Dans Le Sud de La Côte d ' Ivoire Impact de La Fertilisation Organique Sur Quelques Caractéristiques Du Sol et Les Paramètres de Croiss." *International Journal of Innovation and Scientific Research* 27(1): 143–54.
- FAO. 2015. *Croissance Agricole En Afrique de l'Ouest : Facteurs Déterminants de Marché et de Politique*.
- FAO, and CEDEAO. 2018. *Profil National Genre Des Secteurs de l'Agriculture et Du Développement Rural – Bénin. Série Des Évaluations Genre Des Pays*. Cotonou.
- Flaig. W. 1978. "Biochimie de La Matière Organique Du Sol. In : L'emploi Des Matières Organiques Comme Engrais." *FAO* 27: 34–76.
- Fondio, L., H. A. Djidji, C. Kouame, and D. Traore. 2003. "Effet de La Date de Semis Sur La Production Du Gombo (*Abelmoschus* Spp.) Dans Le Centre de La Côte d'Ivoire." *Agronomie Africaine*. 15(1): 13–27.
- Formad, Environnement. 2013. "Gmelina Arborea."
- Furlan, and Lemieux. 1996. Groupe de coordination sur les BRF *Méthode d'application et d'évaluation Pour l'utilisation Des Bois Raméaux Fragmentés*. Québec GIK 7P4 Québec, Canada.
- Gasser, M. O., A. N'dayegamiye, and M. R. Laverdiere. 1995. "Short-Term Effects of Crop Rotations and Wood-Residue Amendments on Potato Yields and Soil Properties of a Sandy Loam Soil." *Canadian Journal of Soil Science* 75(3): 385–90.

- GIEC. 2007. "Bilan Des Changements Climatiques. Contribution Des Groupes de Travail I, II et III Au Quatrième Rapport d'évaluation Du Groupe d'experts Intergouvernemental Sur l'évolution Du Climat [Équipe de Rédaction Principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A.]. GIEC." In Genève, 103.
- Gilles., Domenech. 2011. *Le BRF (Bois Raméal Fragmenté) et Son Utilisation Dans Le Paysagisme et l ' Agriculture.*
- Gnawe, M. et al. 2016. "Nomenclature Vernaculaire et Diversité Des Variétés Locales Des Gombos (*Abelmoschus* Spp.) Cultivées Au Bénin." *Journal of Applied Biosciences* 106: 10224–35.
- Gomgnimbou, A.P.K et al. 2019. "Effets à Court Terme de l ' Application Des Fientes de Volaille Sur Le Rendement Du Maïs (*Zea Mays* L .) et l Es Caractéristiques Chimiques d ' Un Sol Ferrallitique Dans La Zone Sud-Soudanienne Du Burkina Faso." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13(4): 2041–52.
- Haider, K. 1994. "Advances in the Basic Research of the Biochemistry of Humic Substances. In : N. Senesi et T.M. Miano (Éds.), *Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health.*" *Elsevier Science B.V*: 91–107.
- Hamon, S. 1988. ORSTOM *Organisation Évolutive Du Genre Abelmoschus (Gombo). Co-Adaptation et Évolution de Deux Espèces de Gombo Cultivées En Afrique de l'Ouest, A. Esclulentus et A. Caillei.* Paris, France.
- Haynes, R.J. 1986. "The Decomposition Process : Rnineralization, Immobilization, Humus Formation and Degradation. In : R.J. Haynes (Éd.), *Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System.,.*" *Academic Press, Orlando*: 52–176.
- Heal, O.W., and J. Dighton. 1985. "Resource Quality and Trophic Structure in the Soil System. In : A.H. Fitter, D. Atkinson, D.J. Read et M.B. Usher (Éds.), *Ecological Interactions in Soil, Plants, Microbes and Animals.*" *Blackwetl Scientific Publications, London*: 339–54.
- Hien, E. et al. 2011. "Soil Organic Inputs and Water Conservation Practices Are the Keys of the Sustainable Famling Systems in the Sub - Sahelian Zone of Burkina Faso."
- Horst, M., T. Cobb, and P. Meara. 1998. "Beyond A Clockwork Orange: Acquiring Second Language Vocabulary through Reading." *Reading in a Foreign Language* 11(2): 207–23.
- Hubert, Gérald, and Christiane Schaub. 2011. "La Fertilité Des Sols : L'importance de La Matière Organique." : 46.
- Hussain, S. et al. 2006. "Response of Okra Cultivars (*Abelmoschus Esculentus*) to Different Sowing Times." *Journal of Agriculture and Biological Science* 1: 55–59.
- Ibouraïma, A.Haqq. 2016. "Efficacité Économique Des Unités de Production Du Gombo." Université d'Abomey Calavi.
- Icor, M.D.R. et al. 2009. "Morphological Thermal and Chemical Characterization of Okra T*Abelmoschus Esculentus* Fibres as Potential Reinforcement Polymer Composite." *Polymer Degradation and Stability* 66(2): 179–90.
- IFDC. 2002. *L'État Du Marché Des Intrants Agricoles Au Bénin. Projet, MIR.,.*

- Igue, A M et al. 2013. "Evaluation de La Fertilité Des Sols Au Sud et Centre Du Bénin Soil Fertility Evaluation in South and Central Benin Abstract MILIEU D ' ETUDE." *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* 1: 12–23.
- INERA. 2003. *Recherche Sur Des Technologies de Lutte Contre La Désertification Au Sahel et Étude de Leur Impact Agro Écologique*. Ouagadougou, Burkina Faso.
- ISRA. 2012. "Catalogue Officiel Des Espèces et Des Variétés Cultivées Au Sénégal." : 192.
- Jalloh, A. et al. 2013. "West African Agriculture and Climate Change." *Washington: International Food Policy Research Institute*.
- James, B. et al. 2010. *Gestion Intégrée Des Nuisibles En Production Maraîchère : Guide Pour Les Agents de Vulgarisation En Afrique de l'Ouest*. Ibadan, Nigeria.
- Joimel, Sophie. 2018. "Biodiversité et Caractéristiques Physico-Chimiques Des Sols de Jardins Associatifs Urbains Français." Université de Lorraine.
- Kahane, R., L. Temple, P. Brat, and H. De Bon. 2005. *Les Légumes Feuilles Des Pays Tropicaux : Diversité, Richesse Économique et Valeur Santé Dans Un Contexte Très Fragile*.
- Kate, S, A.H. Azontonde, G.D. Dagbenonbakin, and B Sinsin. 2016. "Effets Des Changements Climatiques et Des Modes de Gestion Sur La Fertilité Des Sols Dans La Commune de Banikoara Au Nord-Ouest Du Benin." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 10(1): 120.
- Kerrouche, I. et al. 2018. "Influence de l'apport Du Bois Raméals Fragmentes et Du Fumier Sur l'indice de La Qualité Biologique Du Sol, Sur Un Sol Inculte, Dans Une Région Semi-Aride Méditerranéenne, Algérie." *African Crop Science Journal* 26(4): 515–27.
- Kindiela, B W Nzobadila, G F Mialoundama Bakouétilla, L M F Yebas, and A M Bitu. 2019. "Impact de Bois Raméal Fragmenté de *Bridelia Ferruginea* et *Acacia Mangium* Sur La Croissance et La Production Du Manioc Sur Sol Ferrallitique Au Congo." *Journal of Animal & Plant Sciences* 40(2): 6636–47.
- Kini, J. 2007. *Analyse Des Déterminants de l'adoption Des Technologies de Conservation Des Eaux et Des Sols Dans Le Plateau Central Du Burkina Faso. Mémoire de DEA*. Burkina Faso.
- Koné, B. et al. 2009. "Réponses Aux Variétés Interspécifiques Du Riz de Plateau Aux Applications de Phosphate En Zone de Forêt Au Nigeria." *Canadian Journal of Soil Science* 89: 555-565.
- Kouakou, K.T. 2002. *Effet de La Litière de Volaille et Du Fumier de Bovin Sur Quelques Paramètres de Croissance de Voandzou [Vigna Subterranea (L.) Verdc.]*. Mémoire de Maîtrise. Abidjan (Côte d'Ivoire).
- Koulibaly, B. et al. 2010. "Effets de La Gestion Des Résidus de Récolte Sur Les Rendements et Les Bilans Culturels d'une Rotation Cotonnier-Maïs-Sorgho Au Burkina Faso." *Tropicultura*, 28: 184-189.
- KOUSSIHOUÈDÉ., H. K. I., F. ASSOGBA-KOMLAN., N. S. H. AHOLOUKPÈ., and G. L. AMADJI. 2016. "Influence Comparée de La Litière de Volaille et Des Déjections

- Compostées de Petits Ruminants Sur La Productivité de l'amarante (*Amaranthus Cruentus* L.) Sur Terre de Barre Au Sud-Bénin.” *Bulletin de la Recherche echerche Agronomique du Bénin (BRAB 80(229): 13–23.*
- Kpadonou, G. Esaïe. et al. 2019. “Quelles Bonnes Pratiques Pour Une Agriculture Intelligente Face Au Climat (AIC) En Production Maraîchère En Afrique de l ’ Ouest ?” *ANNALES DE L’UNIVERSITÉ DE PARAKOU Série « Sciences Naturelles et Agronomie »* (3): 31–48.
- Lalande, Roger, Valentin Furlan, Denis A. Angers, and Gilles Lemieux. 1998. “Soil Improvement Following Addition of Chipped Wood from Twigs.” *American Journal of Alternative Agriculture* 13(3): 132–37.
- Landry, P. C. 2011. *Evaluation de l’efficacité Fertilisante En N et P, et l’ISB de La Fraction Solide de Lisier de Porcs Conditionnée. Conseil Pour Le Développement de l’Agriculture Au Québec, Canada.,*
- De Lannoy, G. 2001. *Gombo Abelmoschus Esculentus (L.) Moench. In : Agriculture En Afrique Tropicale. Légumes.*
- Larochelle, L. 1994. “L’impact Du Bois Raméal Fragmenté Sur La Dynamique de La Mésofaune Du Sol.” Université Laval.
- Leclerc, Blaise. 2009. “Fiche N°6: La Fertilisation Organique En Agriculture Biologique.” *RMT DévAB- Axe 1 - Agronomie* 6: 4.
- Lemieux. G. 2005. *Contribution de l’université Laval à La Connaissance Des Mécanismes Biochimiques et Biologiques Universels, Propres à La Fertilité Des Sols Agricoles et Forestiers- 1983 - 2002. Groupe de Coordination Sur Les Bois Raméaux.*
- Lemieux. G., and D. Germain. 2001. “Le Bois Raméal Fragmenté : La Clé de La Fertilité Durable Du Sol. Groupe de Coordination Sur Les Bois Raméaux.” n°129: 26.
- Lemieux.G., Lachance. L., and Genestal. S. 1998. . . « *Projet d’implantation de La Technologie Des BRF En Afrique : Développement et Recherche En Agroforesterie Appliqués à l’agriculture et à La Forêt*».
- Lemieux, G., and D. Germain. 2002. « *LE BOIS RAMÉAL FRAGMENTÉ : LA CLÉ DE LA FERTILITÉ DURABLE DU SOL* ». Québec (Québec) Canada G1K 7P4.
- Lemieux, Professeur Gilles. 2001. “PÉDOGÉNÈSE : UNE VISION GLOBALE.” : 1–32.
- Lim, L., and C. Chai. 2007. “Performance of Seven Okra Accessions.” In *Senior Officers Conference.*, Departement of Agriculture, Sarawak., 12.
- Lompo, D. 2009. *Evaluation de l’efficacité Agronomique de Quelques Déchets Urbains Solides: Effet Sur La Croissance Du Maïs.* Burkina Faso.
- Luciens, N.K. et al. 2012. “Effets Des Apports Des Doses Variées de Fertilisants Inorganiques (NPKS et Urée) Sur Le Rendement et La Rentabilité Économique de Nouvelles Variétés de Zea Mays L. à Lubumbashi, Sud-Est de La RD Congo.” *Journal of Applied Biosciences* 59: 4286–96.
- M., Coûteaux, P. Bottner, and B. Berg. 1995. “Litter Decomposition Climate and Litter

- Quality.” *Trends Ecol* 10: 63–66.
- Maerere, A.P., G.G. Kimbi, and D.L.M. Nonga. 2001. “Comparative Effectiveness of Animal Manures on Soil Chemical Properties, Yield and Root Growth of Amaranthus (Amaranthus Cruentus L.)” *AJST* 1(4): 8.
- Manlay, Raphaël .J., Christian. Feller, and M. J. Swift. 2007. “Historical Evolution of Soil Organic Matter Concepts and Their Relationships with the Fertility and Sustainability of Cropping Systems.” *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119(3–4): 217–33.
- Marius, C., V. Gerard, and G. Antoine. 1997. “Le Gombo, Abelmoschus Esculentus (L.) Moench, Une Source Possible de Phospholipides.” *Agronomie et Biotechnologies. Oléagineux corps gras. lipides* 4(5): 389–92.
- Meier, C L. et al. 2010. “Fungal Growth on a Common Wood Substrate across a Tropical Elevation Gradient: Temperature Sensitivity, Community Composition, and Potential for above-Ground Decomposition.” *Soil Biology and Biochemistry*: 1–8.
- Montaigne, William. et al. 2018. “Gestion Durable de La Fertilité Des Sols Par l’utilisation de Matières Organiques : Retours d’expérience En Guyane Française.” *Innovations Agronomiques, INRA* 64: 71–82.
- Moore, T.R. et al. 1999. “Litter Decomposition Rates in Canadian Forests.” *Global Change Biol* 5: 75–82.
- Mpundu, M.M., Y.U. Sikuzani, L.N. Kimuni, and G. Colinet. 2014. “Effets d’amendements Carbonatés et Organiques Sur La Culture de Deux Légumes Sur Sol Contaminé à Lubumbashi (RD Congo).” *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* 18(3): 367–75.
- Mustin, M. 1987. *Le Compost: Gestion de La Matière Organique*. François D. Paris, France.
- N’dayeramiye, A., and D A Angers. 1993. “Organic Matter Characteristics and Water-Stable Aggregation of a Sandy Loam Soil after 9 Years of Wood-Residue Applications.” *Canadian Journal of Soil Science* 73(1): 115–22.
- Nana, R., G. Zombre, Z. Tamini, and M. Sawadogo. 2009. “Effet Du Régime Hydrique Sur Les Rendements Du Gombo En Culture de Contre-Saison.” *Sciences & Nature* 6(2): 107–16.
- Ndayegamiye, Adrien., and Armand. Dube. 1986. “L’EFFET DE L’INCORPORATION DE MATIERES LIGNEUSES SUR L’EVOLUTION DES PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL ET SUR LA CROISSANCE DES PLANTES.” *Can. J. Soil Sci* 66: 623–31.
- Noel. B. 1997. . “Mémorandum de l’usage Du B.R.F. Le Comment et Le Pourquoi, In Groupe de Coordination Sur Les Bois Raméaux (Ed).” Université Laval.
- Northup, R.R., R.A. Dahlgren, and S. Yu. 1995. “Intraspecific Variation of Conifer Phenolic Concentration on a Marine Terrace Soil Acidity Gradient : A New Interpretation.” *Plant Soil* 171: 255–62.
- Ouédraogo, E., A. Mando, and N. P. Zombré. 2001. “Use of Compost to Improve Soil Properties and Crop Productivity under Low Input Agricultural System in West Africa.” *Agriculture, Ecosystems and Environment, Burkina Faso* 84: 259–66.

- Pagliai, M., N. Vignozzi, and S. Pellegrini. 2004. "Soil Structure and the Effect of Management Practices." *Soil and Tillage Research* 79: 131–43.
- Pamo, E.T. et al. 2002. "Influence de La Fumure Organique, Du NPK et Du Mélange Des Deux Fertilisants Sur La Croissance de Moringa Oleifera Lam. Dans l'Ouest Cameroun." *Livestock Research for Rural Development* 17(3).
- Pizongo, Wendkûni. Inès. Nadège. 2014. *Réponse de Variétés de Gombo (Abelmoschus Esculentus L) Aux Engrais Chimiques et à La Fumure Organique*. Burkina-Faso.
- Poirier, Vincent. 2007. "Séquestration Du Carbone Dans Un Sol Agricole Du Québec: Influence Du Travail Du Sol et de La Fertilisation Des Cultures." Université Laval Québec.
<http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/24793/24793.pdf%0Ahttp://ariane.ulaval.ca/cgi-bin/recherche.cgi?qu=a1658049>.
- Pypers, P. et al. 2011. "Increased Productivity through Integrated Soil Fertility Management in Cassava– Legume Intercropping Systems in the Highlands of Sud-Kivu, DR Congo." *Field crops research* 120: 76–85.
- Rayner, A.D.M., and Boddy L. 1988. "Fungal Decomposition of Wood : Its Biology and Ecology." *John Wiley and Sons, Chichester*: 587.
- Robert, N., M. Tanguy, J. Riss, and R. Gallois. 2014. "Effects of Ramial Chipped Wood Amendments on Weed Control, Soil Properties and Tomato Crop Yield." *Acta Horticulturae* 1018: 383–90.
- Roose E. 2017. *Restauration de La Productivité Des Sols Tropicaux et Méditerranéens. Contribution à l'agroécologie*. IRD Editio. Marseille France.
- Saidou, A. et al. 2012. "Effet de l'apport d'engrais Organiques Sur Les Propriétés Chimiques d'un Sol Ferrallitique et La Production de Laitue Au Sud Bénin." *Rev.CAMES-Série A, Sciences et Médecine* 13(2): 281–85.
- Saïdou, A., Kossou D., Azontondé A., and D-GJM. Hogni. 2009. "Effet de La Nature de La Jachère Sur La Colonization de La Culture Subséquente Par Les Champignons Endomycorhyziens: Cas Du Système 'Jachère' Manioc Sur Sols Ferrugineux Tropicaux Du Bénin." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 3(3): 587-597.
- Sawadogo, Mahamadou, Gérard Zombre, and Didier Balma. 2006. "Expression de Différents Écotypes de Gombo (Abelmoschus Esculentus L .) Au Déficit Hydrique Intervenant Pendant La Boutonnisation et La Floraison ." 10(1): 43–54.
- Seck, A. 1991. "Okra Germplasm Evaluation in Senegal. Workshop on Okra Genetic Resources. In: Report of an International Workshop on Okra Genetic Resources Held at the National Bureau for Plant Genetic Resources, International Crop Network: Series N°5., Rome : IBPGR."
- Shamsul, A., and K. Arifuzzaman. 2007. "Chemical Analysis of Okra Bast Fiber (Abelmoschus Esculentus) and Its Physico-Chemical Properties." *Journal of textile and Apparel, Technology and management*. 5(4).
- Siemonsma, J. S., and S. Hamon. 2004. Fondation PROTA. Wageningen *Abelmoschus Esculentus (L.) Moench. In :Ressources Végétales de l'Afrique Tropicale* 2.

- Some, Bapèné Marc. 2017. *Effets de Litières de Volailles et de Résidus de Production d' Asticots Sur La Fertilité Du Sol et La Production Du Maïs (Zea Mays L .) Dans l' Ouest Du Burkina Faso*. Burkina-Faso.
- Soumare, M. D., P. N.S. Mnkeni, and M. Khouma. 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(2): 111–23.
- Stevanovic. T.J. 2006. N° spécial : actes de la journée de formation « BRF ». *Constituants Du Bois et La Pédogenèse à Partir Des BRF : Une Solution Pour Un Sol Durable : Mettre En Synergie Agriculture et Foresterie*.
- Stevanovic. T.J., and D.Perrin. 2009. *Chimie Du Bois*. 1ère. ed. Lausanne. Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Stevenson, F.J. 1994. "Chemistry : Genesis, Composition, Reactions. 2 Édition." *John Wiley and Sons, New York*: 496.
- Stout, J.D., K.M. Goh, and T.A. Rafter. "Chemistry and Turnover of Naturaliy Occurring Resistant Organic Compounds in Soil. In : E.A. Paul et J.M. Ladd (Éds.)," *Soil Biology and Biochemistry* 5: 1–73.
- Swift, M. J. 1982. "Basidiomycetes as Components of Ecosystems. In : J.C. Frankland, 3.N. Hedger et M.J. Swift (Éds.), *Decomposer Basidiomycetes : Their Biology and Ecology*." Cambridge University Press, London.
- Tahboub, Mohammed B., William C. Lindemann, and Leigh Murray. 2008. "Chemical and Physical Properties of Soil Amended with Pecan Wood Chips." *HortScience* 43(3): 891–96.
- Thiaw, Mame Arona, Déthié NDIAYE, Talla Mbaye, and Maïmouna BALDE. 2019. "Evaluation Du Rendement de Six Variétés de Gombo (Abelmoschus Esculentus (L.) Moench) Dans Les Conditions Agro-Climatiques de Sédhiou Au Sénégal." *Revue Africaine d' Environnement et d' Agriculture* 2(1): 69–75.
- Tissaux, Jean-Claude. 2001. 126 "Caractérisation de Bois Raméaux Fragmentes et Indices de Décomposition."
- Tognetti, C, M.J Mazzarino, and F. Laos. 2008. "Compost of Municipal Organic Waste: Effects of Different Management Practices on Degradability and Nutrient Release Capacity." *Soil Biology and Biochemistry* 49: 2290–96.
- Touhtouh, D, E M Elfaleh, and Y Moujahid. 2014. "Caractérisations Physico-Chimiques et Minéralogiques Des Sols Du Saïs, Maroc (Physicochemical and Mineralogical Characterizations of Soils of Saïs, Morocco)." *Environ. Sci* 5(S2): 2534–39. http://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol5/vol5_NS2/32-JMES-S2-Touhtouh.pdf.
- Tremblay, J., and C. J. Beauchamp. 1998. "Fractionnement de La Fertilisation Azotée d'appoint a La Suite de l'incorporation Au Sol de Bois Rameaux Fragmentes: Modifications de Certaines Propriétés Biologiques et Chimiques d'un Sol Cultivé En Pomme de Terre." *Canadian Journal of Soil Science* 78(2): 275–82.
- Tshomba, K. J. et al. 2015. "Facteurs Influençant Le Profit de La Culture de Gombo Dans Les

- Conditions Pédoclimatiques et Socio-Économiques de Lubumbashi En RDC.” *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 12(4): 820–30.
- UNFCCC/CCNUCC. 2011. *UNFCCC Tool for Estimation of Change in Soil Organic Carbon Stocks Due to the Implementation of A/R CDM Project Activities (Version 01.1.0)*. <https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-16-v1.1.0.pdf>.
- Vialle, Agathe. 2017. *Amélioration de La Vie Microbienne Par Amendements de Bois Raméal Fragmenté*.
- Vissoh, P. V. et al. 2012. “Perceptions et Stratégies d’adaptation Aux Changements Climatiques : Le Cas Des Com-Munes d’Adjohoun et de Dangbo Au Sud-Est Bénin.” *Les Cahiers d’Outre-Mer, Revue de géogra-phie de Bordeaux*.
- Vodounou, J. B. K. 2016. “Changements Climatiques et Production Agricole : Capitalisation Des Pratiques Culturelles Pour La Sécurité Alimentaire Au Bénin.” *International Journal of Innovation and Scientific Research*, ISSN 2351-8014 23(1): 78–97.
- Volkoff, Boris, Paul Faure, D Dubroeuq, and M Viennot. 1999. “Estimation Des Stocks de Carbone Des Sols Du Bénin.” *Etude et gestion des sols* 6(2): 115–30.
- Yegbemey, R., K. Humayun, OHR Awoye, and Paraïso A. 2014. “Managing the Agricultural Calendar as Coping Mechanism to Climate Variability: A Case Study of Maize Farming in Northern Benin.” *West Africa, Climate Risk Management* 2212–0963.
- Yolou, I. et al. 2015. “Maraîchage En Milieu Urbain à Parakou Au Nord-Bénin et Sa Rentabilité Économique.” *International Journal of Innovation and Scientific Research* 19(2): 290–302.
- Zombré, N. P. 2003. “Les Sols Très Déggradés ‘Zipella’ Du Centre Nord Du Burkina Faso: Dynamique, Caractéristiques Morpho-Bio-Pédologiques et Impacts Des Techniques de Restauration Sur Leur Productivité.” Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- Zougmore, R. et al. 2016. “Toward Climate-Smart Agriculture in West Africa: A Review of Cli-Mate Change Impacts, Adaptation Strategies and Policy Developments for the Livestock, Fishery and Crop Production Sectors.” *Review, Agriculture & Food Security, BioMed Central*,: 16.

8 Annexes

Annexe 1: Analyse des variances des éléments chimiques des sols

Facteurs limitant la fertilité des sols

Caractéristiques	Niveau de fertilité				
	Très élevée (sans limitations)	élevée (limitations faibles)	moyenne (limitations moyennes)	basse (limitations Sévères)	très basse (limitations très sévères)
	Degré 0	Degré 1	Degré 2	Degré 3	Degré 4
Matière organique (%)	> 2	2 - 1,5	1,5 - 1	1- 0,5	< 0,5
Azote total (%)	> 0,08	0,08-0,06	0,06-0,045	0,045-0,03	< 0,03
P ppm (Bray 1)	> 20	20 - 15	15 - 10	10 - 5	< 5
K (méq/100 g de sol)	> 0,4	0,4 - 0,3	0,3 - 0,2	0,2 - 0,1	< 0,1
Somme des bases (méq/100 g de sol)	> 10	10 - 7,5	7,5 - 5	5 - 2	< 2
Saturation en bases(V) (%)	> 60	60 - 50	50 - 30	30 - 15	< 15
CEC (méq/100 g de sol)	> 25	25 - 15	15 - 10	10 - 5	< 5
pH	5,5-6,5	5,5-6,0	5,5-5,3	5,3-5,2	< 5,2
	6,5-8,2	6,5-7,8	7,8-8,3	8,3-8,5	>8,5

Source : **Igué A. M.** et al. (2015)

Analyse de variance du pHeau sur le profil 0-40cm

ANOVA pHeau 0-20cm					ANOVA pHeau 20-40cm			
Effet	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Volume	1	2	1.85	0.3067	1	2	2.18	0.2776
Trait	3	12	8.36	0.0029	3	12	0.70	0.5689
Volume*Trait	3	12	5.76	0.0112	3	12	2.32	0.1269

Analyse de variance du pH KCl sur le profil 0-40cm

ANOVA pHKCl 0-20cm					ANOVA pHKCl 20-40cm			
Effet	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Volume	1	2	4.75	0.1611	1	2	1.58	0.3357
Trait	3	12	7.24	0.0050	3	12	0.17	0.9165
Volume*Trait	3	12	7.32	0.0048	3	12	2.76	0.0880

Analyse de variance de l'azote total sur le profil 0-40cm

ANOVA azote 0-20cm					ANOVA azote 20-40cm			
Effet	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Volume	1	2	29.76	0.0320	1	2	1.78	0.3142
Trait	3	12	58.03	<.0001	3	12	37.64	<.0001
Volume*Trait	3	12	3.57	0.0471	3	12	0.62	0.6149

Analyse de variance du carbone organique sur le profil 0-40cm

ANOVA carbone organique 0-20cm					ANOVA carbone organique 20-40cm			
Effet	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Volume	1	2	1.10	0.4051	1	2	3.98	0.1840
Trait	3	12	58.75	<.0001	3	12	16.80	0.0001
Volume*Trait	3	12	1.27	0.3284	3	12	7.13	0.0052

Analyse de variance du phosphore sur le profil 0-40cm

ANOVA phosphore 0-20cm					ANOVA phosphore 20-40cm			
Effet	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Volume	1	2	0.06	0.8354	1	2	4.64	0.1642
Trait	3	12	50.82	<.0001	3	12	28.41	<.0001
Volume*Trait	3	12	3.07	0.0691	3	12	4.11	0.0321

Analyse de variance du stock de carbone sur le profil 0-40cm

Effet	Prof: 0-20cm				Prof: 20-40cm			
	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Volume	1	2	0.00	0.9649	1	2	5.19	0.1503
Trait	3	12	19.24	<.0001	3	12	9.91	0.0014
Volume*Trait	3	12	0.13	0.9387	3	12	2.58	0.1019

Analyse de variance du rapport C/N sur le profil 0-40cm

Effet	Prof: 0-20cm				Prof: 20-40cm			
	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Volume	1	2	20.19	0.0461	1	2	0.38	0.5995
Trait	3	12	0.59	0.6314	3	12	1.48	0.2696
Volume*Trait	3	12	0.69	0.5768	3	12	3.13	0.0659

Analyse de variance du pF2.5 sur la profondeur 0-40cm

Effet	ANOVA pF2.5 0-20cm				ANOVA pF2.5 20-40cm			
	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Volume	1	2	8.63	0.0990	1	2	125.40	0.0079
Trait	3	12	35.83	<.0001	3	12	54.93	<.0001
Volume*Trait	3	12	18.41	<.0001	3	12	0.67	0.5848

Analyse de variance du pF4.2 sur la profondeur 0-40cm

Effet	ANOVA pF4.2 0-20cm				ANOVA pF4.2 20-40cm			
	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Volume	1	2	8.64	0.0989	1	2	125.30	0.0079
Trait	3	12	35.68	<.0001	3	12	55.03	<.0001
Volume*Trait	3	12	18.33	<.0001	3	12	0.67	0.5841

Annexe 2 : analyse de variance paramètre microbiologique

Analyse de variance de taux de mycorhization

ANOVA taux de mycorhization				
Effet	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Trait	3	50	56.73	<.0001
Volume	1	3	7.04	0.0768
Trait*Volume	3	50	0.75	0.5255

Annexe 3 : analyse de variance paramètre de croissance

Analyse de variance hauteur et feuille de gombo

analyse de variance de hauteur des plants					analyse de variance de Nombre _feuilles de gombo.			
Effet	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Trait	3	370	3.86	0.0097	3	370	45.43	<.0001
Volume	1	3	1.35	0.3298	1	3	40.10	0.0080
Trait*Volume	3	370	4.01	0.0079	3	370	61.75	<.0001

Analyse de variance des variables rendement gombo et indice de récolte

ANOVA rendement gombo					ANOVA indice de récolte			
Effet	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F	DDL Num.	DLL den.	Valeur F	Pr > F
Volume	1	3	0.33	0.6052	1	3	0.60	0.4967
Trait	3	18	0.29	0.8304	3	18	6.37	0.0039
Volume*Trait	3	18	1.29	0.3092	3	18	5.93	0.0053