

Effets des amendements à base de biochar sur les paramètres agro-pédologiques dans une rotation coton-maïs à l'ouest du Burkina Faso



Drissa CISSE

COMMUNAUTÉ FRANÇAISE
DE BELGIQUE

UNIVERSITÉ DE LIÈGE
GEMBLOUX AGRO-BIO TECH

BURKINA FASO

UNIVERSITE NAZI BONI
DE BOBO-DIOULASSO

**Effets des amendements à base de biochar sur les
paramètres agro-pédologiques dans une rotation
coton-maïs à l'ouest du Burkina Faso**

Drissa CISSE

Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique et en Système de production végétale, spécialité Science du sol

Promoteurs : Professeur Jean Thomas CORNELIS, Université de Liège, Belgique
Professeur Hassan Bismarck NACRO, Université Nazi BONI de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Année: 2022

Avec le soutien de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES)



© CISSE Drissa 27.01.2022

Licence

Cette œuvre est sous licence Creative Commons. Vous êtes libre de reproduire, de modifier, de distribuer et de communiquer cette création au public selon les conditions suivantes :

- paternité (BY) : vous devez citer le nom de l'auteur original de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits qui vous confère cette autorisation (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous soutiennent ou approuvent votre utilisation de l'œuvre) ;

- pas d'utilisation commerciale (NC) : vous n'avez pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales ;

- partage des conditions initiales à l'identique (SA) : si vous modifiez, transformez ou adaptez cette création, vous n'avez le droit de distribuer la création qui en résulte que sous un contrat identique à celui-ci. À chaque réutilisation ou distribution de cette création, vous devez faire apparaître clairement au public les conditions contractuelles de sa mise à disposition. Chacune de ces conditions peut être levée si vous obtenez l'autorisation du titulaire des droits sur cette œuvre. Rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint le droit moral de l'auteur.

Drissa CISSE (2022). **Effets des amendements à base de biochar sur les paramètres agro-pédologiques dans une rotation coton-maïs à l'ouest du Burkina Faso.** (Thèse PhD). Cotutelle Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Belgique et Université Nazi BONI de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 29 figures, 25 tableaux.

Résumé

Le défi de l'agriculture au Burkina Faso est de produire davantage sur des superficies de plus en plus réduites et des sols peu fertiles pour répondre aux besoins alimentaires d'une population en constante augmentation. Cette thèse s'intéresse à la durabilité des systèmes de production agricole par l'utilisation d'amendements à base de biochar pour relever le niveau de fertilité des sols à l'Ouest du Burkina Faso. L'objectif de l'étude est de renforcer les capacités de résilience des petits producteurs par la gestion durable de la fertilité des sols.

La méthodologique a consisté à caractériser les sols des zones d'étude et à évaluer la performance agronomique des amendements à base de biochar selon la nature du sol à travers des tests agronomiques.

Les résultats obtenus montrent que les sols étudiés à l'ouest du Burkina Faso sont issus de l'altération du granodiorite et du grès. Les teneurs en argile et en nutriments des lixisols et plinthosols développés sur matériau gréseux sont meilleures à celles des sols développés sur matériau granodioritique. La CEC de ces sols est contrôlée par l'argile. Toutefois les caractéristiques morphologiques varient peu mais les sols issus du matériau gréseux sont moyennement fertiles avec des aptitudes agronomiques modérées à nulle alors que les sols issus du matériau granodioritique ont une fertilité moyenne à basse avec des aptitudes agronomiques marginales à nulle.

L'analyse de la qualité des amendements à base de biochar a montré que l'adjonction du biochar au cours du processus de compostage améliore significativement les teneurs en carbone total, azote total, phosphore total, potassium total et magnésium total du co-compost par rapport au compost de 30%, 48%, 68%, 72% et 64% respectivement. Les résultats des tests agronomiques sur plusieurs types de sol montrent que les meilleurs rendements en coton graine ont été obtenus sur le lixivisol chromique avec le co-compost (1877 kg.ha^{-1}) en 2018 et avec le biochar (2056 kg.ha^{-1}) en 2020. Le même sol a enregistré le meilleur rendement en maïs grain en 2019 avec le traitement co-compost (4140 kg.ha^{-1}). Par ailleurs, les rendements coton graine et biomasse obtenus avec les amendements à base de biochar en 2020 sont significativement élevés comparativement au compost sur tous les sols excepté le lixivisol endolithique où l'essai a subi des dégâts d'animaux en milieu de campagne.

Des tests agronomiques montrent que le co-compost appliqué à une dose de $2,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ en deux ans associé à 75% de la dose recommandée de NPK permet de maintenir le rendement des cultures au même niveau que le compost associé à 100% de la dose recommandée de NPK. Les rendements moyens en coton graine de 2018 sont respectivement de 1338 kg.ha^{-1} pour le co-compost associé à 75% de la dose recommandée de NPK, 1237 kg.ha^{-1} pour le co-compost associé à 100% de la dose

recommandée de NPK et 1176 kg.ha^{-1} pour le compost associé à 100% de la dose recommandée de NPK.

Mots clés : Matériaux parentaux-Biochar- fertilité des sols- résilience - Burkina Faso.

Drissa CISSE (2022). Effects of biochar based amendments on agro-pedological parameters in a cotton-maize rotation cropping in western Burkina Faso. (PhD Thesis). Cotutelle Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liege, Belgium and University Nazi BONI of Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 29 figures, 25 tables

Abstract

The challenge for agriculture in Burkina Faso is to produce more to satisfy the food needs of an ever-increasing population on reduced surface and poor soil fertility. This thesis investigates the sustainability of agricultural production systems through the use of biochar-based amendments to increase soil fertility in western Burkina Faso. The objective of the study is to enhance the resilience of smallholder farmers through sustainable soil fertility management. The methodology consisted to characterize the soils of the study areas, to evaluate the agronomic performance of biochar-based amendments according to the nature of the soil through agronomic tests. The results obtained from the soil characterization show that the study soils developed on sandstone material and granodioritic material. The clay and nutrient contents in Lixisols and Plinthosols developed on sandstone material are better than those in soils developed on granodioritic material. The ECC of these soils is controlled by the clay. However, the morphological characteristics vary little and the fertility level of the soils is medium to low with moderate to poor agronomic suitability.

The test on the quality of biochar-based amendment soil improvers showed that the addition of biochar during the composting process significantly improved the total carbon, total nitrogen, total phosphorus, total potassium and magnesium contents of the co-compost compared to compost by 30%, 48%, 68%, 72% and 64% respectively.

The results of agronomic tests on several soil types show that the best yields of seed cotton in 2018 and 2020 were obtained with co-compost treatment (1877 kg.ha^{-1}) and biochar treatment (2056 kg.ha^{-1}) on chromic lixisol. The same soil recorded the highest maize grain yield in 2019 with the co-compost treatment (4140 kg.ha^{-1}). However, the results show that the performance of the biochar-based amendments does not relate to the type of soil, but more on the duration of the amendment in the soil as all soils performed at different periods.

Agronomic tests show that co-compost applied at a rate of $2.5\text{t.ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$ in two years combined with 75% NPK recommended dose maintains crop yields at the same level as compost combined with 100% NPK recommended rate. The average yields of cotton-grain in 2018 are respectively 1338 kg.ha^{-1} for the co-compost combined with 75% NPK recommended dose, 1237 kg.ha^{-1} for the co-compost combined with 100% NPK recommended dose and 1176 kg.ha^{-1} for the compost combined with 100% NPK recommended dose.

Keywords: Parent material –Biochar- Soil fertility- Resilience - Burkina Faso.

Remerciements

Je rends grâce à Dieu pour cette opportunité qui m'a été offerte.

Une thèse de doctorat, bien qu'étant un projet personnel au départ, est un parcours d'apprentissage, de partage d'expériences et de nouvelles aventures avec la participation d'institutions, de partenaires et de personnes physiques. Il est temps de témoigner notre profonde gratitude aux institutions, aux partenaires et à toutes les personnes qui ont apporté leur concours pour faire de ce projet un succès.

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet *Amélioration durable de la fertilité des sols du Burkina Faso par amendement raisonné en matières organiques et biochar* (BIOPROTECHSOL), avec le soutien financier de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) de la Fédération Wallonie-Bruxelles. Nous tenons ici à remercier l'ensemble du personnel de cette institution qui nous a accompagné et soutenu tout au long des quatre années d'étude.

Nos remerciements vont à Gembloux Agro-Bio Tech de l'Université de Liège (Belgique) et à l'Université Nazi BONI de Bobo-Dioulasso (Institut du Développement Rural (IDR), Burkina Faso) pour avoir accepté et assuré la cotutelle de la présente thèse.

Cette thèse a été réalisée sous la co-direction de Prof. Jean Thomas CORNELIS et Prof. Hassan Bismarck NACRO de l'Université de Liège et de l'Université Nazi BONI de Bobo-Dioulasso respectivement. Malgré leurs charges de travail très élevées ils ont su dégager le temps nécessaire pour suivre et orienter ce travail de bout en bout. Ils ont inculqué en moi une rigueur scientifique et professionnelle, une capacité de résilience face à des défis de terrain. Nous vous prions, Professeurs, de trouver ici, l'expression de nos profonds respects. Respect pour vos qualités d'Hommes de science et vos qualités humaines.

Nous remercions du fond du cœur le Professeur Philippe LEBAILLY de l'Université de Liège qui a accepté présider le Jury de soutenance.

Nos profondes gratitudeux aux Professeurs Edmond HIEN et Gilles COLINET de l'Université de Fada N'Gourma (Burkina Faso) et de l'Université de Liège (Belgique) respectivement ainsi que les Docteurs Caroline De CLERCK de l'Université de Liège (Belgique), Innocent D. KIBA de l'INERA Kamboinsé (Burkina Faso), Jérôme T. YAMEOGO de l'université Nazi BONI (Burkina Faso) qui ont bien voulu accepter au côté du Président du Jury apprécier ce travail. Chers membres du Jury, la pertinence de vos remarques et suggestions a permis d'améliorer la qualité scientifique du document.

Nos remerciements aux Docteurs Bazoumana KOULIBALY, Hamado SAWADOGO, Kalifa COULIBALY et Mamadou TRAORE pour leurs soutiens permanents et leurs conseils avisés.

Mes profondes gratitude aux braves producteurs de Koumbia et Massala: Jacques KERE, Wanhoum BOGNINI, Sibiri COULIBALY, Simon DAKUO, Tankian DAKUO, Séniyi DAKUO et Zéphirin DAKUO.

Aux défunt producteurs Tamoussi BONKIAN (Koumbia) et Blaise DAKUO (Massala), je retiens d'eux des producteurs modèles et des hommes de grande valeur et de parole. Reposez en paix sur la terre libre de vos ancêtres.

A tous les membres de mon comité de thèse, j'adresse mes sincères remerciements pour les conseils et les précieuses contributions tout au long de cette étude. De même, je tiens à remercier les membres du jury qui ont accepté évaluer ce travail. Merci pour l'intérêt porté à ce travail.

Je remercie du fond du cœur ma chère épouse madame CISSE Sita et mes chers enfants Mohamed Aziz, Fayçal Ibrahim et Djaley Maya Hanifa pour le soutien et la compréhension durant mes absences. Merci à mon grand frère CISSE Salia qui m'a insufflé l'énergie nécessaire pour atteindre ce niveau.

Merci à tous les amis doctorants BIOPROTECHSOL pour les moments de doute, d'espoir et de joie passés ensemble : Fati GUIRO SABA, Corneille TARPILGA, Wendlassida OUEDRAOGO.

Merci à tous les collègues et collaborateurs du laboratoire Eau-Sol-Plantes (ESP) de Gembloux Ago-Bio Tech (Victor BURGEON, Raphaël TARANTINO, Emilie MARIT) et du Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du sol (LERF) de l'UNB (: Zoumosé S.B. SOME, Moussa GNISSIEN, Alain HEMA) et les étudiants en master et stagiaires du projet BIOPROTECHSOL pour l'appui et les bons moments passés ensemble . Merci également à tous les amis de "La Maison Internationale Nord-Sud (MNS)".

A tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu pendant ces quatre années passées entre les champs, les laboratoires et devant l'ordinateur, je vous dis merci.

Puisse le Seigneur Dieu vous le rendre au centuple

Drissa CISSE

Gembloux, le 27-01-2022

Table des matières

Remerciements	v
Table des matières	vii
Liste des figures.....	xii
Liste des tableaux	xiii
Liste des sigles et abréviations	xiii
Chapitre 1: Introduction Général.....	3
1. Introduction générale.....	3
1.1. Contexte et justification.....	3
1.1.1. La dégradation des terres et ses conséquences	3
1.1.2. Caractéristiques et contraintes de mise en valeur des sols ferrugineux tropicaux lessivés au Burkina Faso	5
1.1.3. Les pratiques de gestion de la fertilité du sol au Burkina Faso	6
1.1.3. Importance de la matière organique dans la gestion durable des terres	11
1.1.4. Le biochar :.....	12
1.2. Cadre conceptuel de la thèse	15
1.3. Objectifs de la thèse et Hypothèses de recherche.....	17
1.3.1. Objectifs de la thèse.....	17
1.3.2. Hypothèses de recherche	18
1.4. Structuration de la thèse	19
1.5. Références bibliographiques	19
Chapitre 2. Caractéristiques agro-pédologiques des sols sous culture à l'ouest du Burkina Faso.....	31
2. Parent material drive soil controls on agronomic performance in a cotton-corn cropping system in Western Burkina Faso.....	31
2.1. Introduction	32
2.2. Matériel et Méthodes	32
2.2.1. Description des sites d'étude.....	32
2.2.2. Caractérisation des sols	37
2.2.3. Analyse des sols	38
2.2.4. Evaluation des classes de fertilité chimique des sols	39
2.2.5. Analyses statistiques.....	40
2.3. Résultats	41
2.3.1. Description morphologique des sols.....	41
2.3.2. Variation des composantes de la texture des sols en fonction du contexte géologique	45

2.3.3. Variation des propriétés chimiques des sols en fonction du contexte géologique	45
2.3.4. Classes de fertilité et aptitudes agronomiques des types de sol pour les deux contextes géologiques.....	49
2.4. Discussion.....	51
2.4.1. Impacts de la géologie sur le processus de formation des lixisols.....	51
2.4.2. Effet du contexte géologique sur les propriétés des sols et leurs aptitudes agronomiques.....	52
2.5. Conclusions	53
2.6. Références bibliographiques.....	54
Chapitre 3: Efficacité agronomique des amendements à base de biochar dans un contexte pédologique contrasté en zone soudanienne du Burkina Faso	61
3. Agronomic performance of biochar-based amendments in farmers' environment in western Burkina Faso.	61
3.1. Introduction	62
3.2. Matériel et méthodes	62
3.2.1. Sites d'étude	62
3.2.2. Dispositif expérimental.....	63
3.2.3. Matériel végétal	63
3.2.4. Opérations culturales	64
3.2.5. Échantillonnage et analyses physico-chimiques des sols	64
3.2.7. Analyse statistique	65
3.3. Résultats	65
3.3.1. Effets des amendements sur les paramètres chimiques des sols dans la zone de Koumbia	65
3.3.3. Effets des amendements sur les paramètres chimiques des sols dans la zone de Massala	67
3.3.4. Effets des amendements sur les paramètres de croissance et le rendement du cotonnier en 2018	69
3.3.4. Effets des amendements sur les paramètres de croissance et le rendement du maïs en 2019.....	71
3.3.5. Effets des amendements sur les paramètres de croissance et le rendement du maïs en 2020.....	74
3.3.6. Variation des paramètres de croissance et le rendement du cotonnier de 2018 et 2020	77
3.4. Discussion.....	82
3.4.1. Impact des amendements à base de biochar sur les propriétés chimiques des sols.....	82

3.4.2. Les effets des amendements à base de biochar sur les paramètres de croissance et les rendements des cultures.....	83
3.5. Conclusions	84
3.6. Références bibliographiques	85
Chapitre 4. Efficacité agronomique du co-compost dans un système de rotation coton-maïs (<i>Gossypium hirsutum</i> L, 1763 et <i>Zea mays</i> L., 1753) sur un lixisol à l'ouest du Burkina Faso.	91
4. Co-composted biochar to decrease fertilization rates in cotton–maize rotation in Burkina Faso.....	91
4.1. Introduction	92
4.2. Matériel et méthodes	93
4.2.1. Site d’expérimentation.....	93
4.2.2. Dispositif expérimental	94
4.2.3. Production des amendements organiques.....	95
4.2.4. Entretien des cultures	95
4.2.5. Echantillonnage et analyse physico-chimique du sol	96
4.2.6. Caractéristiques chimiques du compost et des amendements à base de biochar	96
4.2.7. Paramètres de rendement mesurés.....	96
4.2.8. Quantification de la minéralomasse des plantes de maïs.....	97
4.2.9. Analyse statistique.....	97
4.3. Résultats	97
4.3.1. Caractéristiques chimiques des amendements.....	97
4.3.2. Caractéristiques physico-chimiques du sol amendé	98
4.3.3. Paramètres de croissance	99
4.3.4. Rendements des cultures	100
4.3.5. Teneurs minérales des feuilles et grains de maïs.....	101
4.4. Discussion	101
4.4.1. Effets de l’adjonction du biochar sur la qualité du co-compost	101
4.4.2. Effets du co-compost sur les propriétés chimiques du sol et les rendements des cultures	102
4.4.3. Effets de l’amendement co-compost sur les teneurs en NPK des feuilles et des grains du maïs	103
4.5. Conclusion.....	104
4.6. Références bibliographiques	104
Chapitre 5: Discussion générale	111
Chapitre 6: Conclusion générale et perspectives	119
6.1. Conclusion générale	119

6.2. Limites de l'étude	120
6.3. Recommandations	120
6.4. Perspectives	121
Appendices : Publications et résumés de conférences.....	125
1. Publications	125
2. Résumés de conférences.....	125

Liste des figures

Figure 1: Dépôt de sédiments induit par un cordon pierreux (photo : Cissé, 2017) ...	7
Figure 2: parc agroforestier à <i>Vettelaria paradoxa</i> (Gaerthn. F.)	8
Figure 3: Plants de sorgho dans des cuvettes de demi-lunes	9
Figure 4: cuvettes de Zaï	10
Figure 5: Fumier dans un champ en attente d'épandage à Massala	11
Figure 6: Biochar de tige de cotonnier	13
Figure 7: MSise en place d'un tas de co-compost	14
Figure 8: Effets du biochar dans le sol	15
Figure 9: Schéma conceptuel de la thèse.....	16
Figure 10: Localisation des sites d'étude	33
Figure 11: Pluviosité de Koumbia et Massala de 2009 à 2020	34
Figure 12: Pétrographie et points de sondage à Koumbia	35
Figure 13: Pétrographie et points de sondage à Massala.....	35
Figure 14: Sols et points de sondage à Koumbia	36
Figure 15: Sols et points de sondage à Massala	37
Figure 16: Corrélation entre la CEC ($\text{cmol}+\cdot\text{kg}^{-1}$), teneur en argile (%) et la Matière organique ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) des GRAL et GREL	48
Figure 17: pH-H ₂ O et teneurs en C _{org} des sols à Koumbia.....	66
Figure 18: Teneurs en N _{tot} des sols à Koumbia.....	66
Figure 19: Teneurs en P _{ass} et K _{disp} des sols à Koumbia	67
Figure 20: pH-H ₂ O et teneurs en C _{org} des sols à Massala.....	68
Figure 21: Teneurs en N _{tot} des sols à Massala.....	68
Figure 22: Teneurs en P _{ass} et K _{disp} des sols à Massala.....	69
Figure 23: Variation des rendements du cotonnier de 2018 et 2020 à Koumbia	78
Figure 24: Variation des paramètres de croissance du cotonnier de 2018 et 2020 à Koumbia	79
Figure 25: Variation des paramètres de croissance du cotonnier de 2018 et 2020 à Massala.....	81
Figure 26: Variation des rendements du cotonnier de 2018 et 2020 à Massala	82
Figure 27: Localisation du site d'étude	93
Figure 28: Dispositif expérimental.....	95
Figure 29: Variation des propriétés chimiques du sol après deux années d'expérimentation	99

Liste des tableaux

Tableau 1: Pratiques agricoles sur les parcelles échantillonnées.....	38
Tableau 2: Classe de fertilité des sols au Burkina Faso (BUNASOLS, 1990).....	39
Tableau 3: Classes d'aptitudes agronomiques des sols du Burkina Faso (BUNASOLS, 1990)	40
Tableau 4: Description morphopédologique d'un lixisol sur granodiorite (GRAL).....	42
Tableau 5: Description morphopédologique d'un lixisol sur grès (GREL)	43
Tableau 6: Description morphopédologique des plinthosols sur granodiorite (GRAPli).....	44
Tableau 7: Description morphopédologique des plinthosols sur grès (GREPli).....	44
Tableau 8: Composition granulométrique des sols selon l'origine géologique.....	45
Tableau 9: Caractéristiques chimiques des sols des deux contextes géologiques ...	46
Tableau 10: Classes de fertilité des sols dans les deux contextes géologiques	50
Tableau 11: Aptitude agronomique des sols des deux contextes géologiques pour la culture du coton et du maïs.....	50
Tableau 12: Caractéristiques physico-chimiques initiales des sols	63
Tableau 13: Variation des paramètres de croissance et des rendements du cotonnier sous l'effet des amendements sur les sols du site de Koumbia en 2018.....	70
Tableau 14: Variation des paramètres de croissance et des rendements du cotonnier sous l'effet des amendements sur les sols du site de Massala en 2018	71
Tableau 15: Variation des paramètres de croissance et des rendements du maïs sous l'effet des amendements sur les sols du site de Koumbia en 2019.....	72
Tableau 16: Variation des paramètres de croissance et des rendements du maïs sous l'effet des amendements sur les sols du site de Massala en 2019.....	73
Tableau 17: Variation des paramètres de croissance et des rendements du cotonnier sous l'effet des amendements sur les sols du site de Koumbia en 2020.....	75
Tableau 18: Variation des paramètres de croissance et des rendements du cotonnier sous l'effet des amendements sur les sols du site de Massala en 2020	77
Tableau 19: caractéristiques initiales du sol.....	93
Tableau 20: acidité et paramètres de la matière organique des amendements	98
Tableau 21: Caractéristiques chimiques des amendements (P, Ca, Mg, K et Na totaux).....	98
Tableau 22: Croissance du diamètre des cultures en fonction des traitements	100
Tableau 23: Croissance en hauteur des cultures en fonction des traitements.....	100
Tableau 24: Composantes du rendement du cotonnier et du maïs selon les traitements	101
Tableau 25: Teneur en minéraux des feuilles et des grains de maïs de la matière sèche (%)	101

Liste des sigles et abréviations

ANOVA	: Analyse of Variance (Analyse de variance)
ARES	: Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur
	Amélioration durable de la fertilité des sols du Burkina
BIOPROTECHSOL	: Faso par amendement raisonné en matières organiques et biochar
BUNASOLS	: Bureau National des Sols
Ca	: Calcium
CEC	: Capacité d'Echange Cationique
CILSS	: Comité Permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CPCS	: Commission de Pédologique et de Cartographie des Sols.
ELD	: Economics of Land Degradation (Économie de la dégradation des terres)
FAO	: Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GIZ	: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Agence de coopération internationale allemande pour le développement)
GRAL	: Lixisol développé sur granidiorite
GRAPli	: Plinthosol développé sur granidiorite
GREL	: Lixisol développé sur Grés
GREPli	: Plinthosol développé sur Grés
H ₂ O	: Eau
Ha	: Hectare
IDR	: Institut du Développement Rural
INERA	: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
INSD	: Institut National de la Statistique et de la Démographie
IPBES	: Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques
IUSS	: International Union of Soil Sciences (Union internationale de la science du sol)

JAS	: Jour après semis
MAAH	: Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydro-agricoles
MEFD	: Ministère de l'Economie et du Développement
Mg	Magnésium
MS	: Matière Sèche
NPK	: Azote – Phosphore – Potassium
SP/CONEEDD	: Secrétariat Permanent du Conseil National pour l'Environnement et du Développement Durable
UNB	: Université Nazi BONI
UNCCD	: United Nations Convention to Combat Desertification (Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification)
WRB	: World Reference Base for soils resources (Base de référence mondiale pour les ressources en sols)

Chapitre 1

Introduction générale

Chapitre 1: Introduction Général

1. Introduction générale

1.1. Contexte et justification

Le Burkina Faso, pays sahélien enclavé au cœur de l'Afrique de l'ouest, s'étend sur une superficie de 274.000 km² et a une population estimée à 20 487 979 d'habitants en 2019 dont 73,7% vivent en milieu rural (MEFD, 2020). Le secteur primaire est le plus grand pourvoyeur d'emploi. Il occupe plus de 86% de la population active. Sa contribution à la formation du produit intérieur brut (PIB) était de 27,8 % en 2017 dont 14,3% pour l'agriculture et 10,3 % pour l'élevage (BAD, 2018). Pourtant ce secteur contribuait à plus de 41% en 2011 (MASA, 2013). Cette contre-performance est liée aux conditions pédologiques naturellement défavorables avec des sols fortement altérés, des conditions climatiques extrêmes et aléatoires (forte température et pluviosité mal répartie dans le temps et dans l'espace) et des pratiques agricoles peu adaptées conduisant à une dégradation continue de la capacité productive des terres (Sawadogo, 2008). Le besoin du maintien et du relèvement de la fertilité des sols se pose avec acuité dans le pays. En effet, un développement agricole stable génère une croissance dans les secteurs agricoles et non agricoles et cela contribuera à réduire la pauvreté ainsi que le chômage aussi bien dans les zones rurales qu'urbaines.

Compte tenu de la préoccupation générale que suscitent les aspects biologiques, écologiques, économiques et sociaux de la durabilité des systèmes actuels de production agricole, il est indispensable de proposer des options innovantes et adéquates pour restaurer et maintenir durablement la productivité des terres agricoles. Ces mesures doivent être fondées sur cinq stratégies (FAO, 2015) :

- ✓ éviter les pertes de production dues à la dégradation des sols ;
- ✓ restaurer la productivité des sols qui ont déjà subi des pertes de productivité ;
- ✓ réduire l'écart entre le rendement des cultures observé à un endroit donné et le potentiel de rendement de la culture au même endroit;
- ✓ assurer le maintien et l'accroissement des stocks de carbone et la dynamique des autres nutriments dans le sol et le capital de biodiversité ;
- ✓ améliorer la stabilité structurale des sols cultivés.

En outre, ces mesures doivent être orientées vers le recyclage des ressources de la ferme et être assez faciles à mettre en œuvre pour augmenter la production agricole tout en préservant le capital productif

1.1.1. La dégradation des terres et ses conséquences

Le point culminant de l'utilisation des terres à des fins agricoles par les hommes n'a pas encore été atteint alors que tout indique un épuisement rapide de la capacité de production de ces sols et un ralentissement de la croissance de la production agricole (FAO, 2021). La dégradation des sols s'est accélérée ces dernières décennies

dans le monde en général et au Burkina Faso particulier (MAAH, 2018). Cette rapide dégradation est beaucoup plus liée aux activités anthropiques qui ont précipité et accentué les effets du climat (Sanou *et al.*, 2018 ; Bouzelha, 2020). La perte de la biodiversité, l'épuisement de la matière organique et des nutriments sont les principales manifestations de la dégradation des sols dans le monde (FAO et ITPS, 2015).

A l'échelle mondiale, 52 % des sols sont affectés modérément ou sévèrement par la dégradation (ELD initiative, 2015). De tous ces facteurs, l'érosion est la première forme de dégradation de sols cultivés (Valentin, 2021). Elle serait à la base de la perte de plus de 3 tonnes de sols par personne et par an dans le monde à une vitesse de destruction de 10 à 100 fois plus rapide que celle de leur formation (Bailey *et al.*, 2019). Le coût global annuel de la dégradation des terres en raison de leur utilisation est estimé à environ 300 milliards de dollars US et affecte plus de 3,2 milliards de personnes (Nkonya *et al.*, 2016 ; IPBES, 2018). Les pertes annuelles de production céréalière dues à l'érosion ont été estimées à 7,6 millions de tonnes dans le monde (FAO, 2017).

En Afrique sub-saharienne, 75 % des terres arables sont dégradées voire très dégradées et sont si épuisées en nutriments que des investissements majeurs sont nécessaires pour restaurer leur productivité (Soumana *et al.*, 2020). Les conséquences agronomiques les plus alarmantes sont la baisse de la fertilité des sols et des rendements des cultures (Guébré *et al.*, 2020) au moment où l'agriculture doit répondre aux besoins alimentaires d'une population en constante augmentation (Valentin, 2021). Près de 70% de la population vivant en milieu rural dans cette partie du monde dépendent de l'agriculture (Guedegbe *et al.*, 2018). La réduction de l'aptitude productive des sols contribue à l'accroissement de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire (Traoré et Requier-Desjardins, 2019). Les travaux de Traoré *et al.* (2015), Houkpatin *et al.* (2018) et Bashagaluke *et al.* (2018) ont montré un épuisement de 49% de carbone dans les 30 premiers cm du sol au bout de 29 ans et une perte annuelle par érosion de N, P et K de l'ordre de 12 à 17 kg.ha⁻¹, 7 à 7,5 kg ha⁻¹ et 6 à 7 kg.ha⁻¹ respectivement en Afrique sub-saharienne. Cette dégradation de l'aptitude productive des terres entraînerait une chute de près de 3% par an de la production agricole compromettant sérieusement la sécurité alimentaire eu égard à la forte croissance démographique dans les pays sahéliens d'Afrique (UNCCD, 2016). Le coût de la dégradation des terres en Afrique de l'Ouest est estimé à 18,9 milliards de dollars US (Nkonya *et al.*, 2016).

Au Burkina Faso, le bilan de la dégradation s'établit à 6 498 610 d'hectares fortement dégradées devant faire l'objet de récupération (MAAH, 2019). Le coût de la restauration et conservation des sols est estimé à 345 354 965 000 FCFA soit 594 414 741,8 dollars US pour la période 2020-2022 (MAAH, 2019). Le challenge est d'améliorer les stocks de carbone sur 798 000 ha pour parvenir à un minimum de 1% de matière organique et récupérer 295 000 ha de terrains non viabilisés sur un total de 590 000 ha (Traoré et Requier-Desjardins, 2019). La dégradation des terres a contribué à l'augmentation de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle (Labiyi *et al.*, 2019) et provoqué un afflux massif de populations du nord du pays vers l'ouest créant de nouveaux fronts pionniers agricoles marqués par l'intensification des systèmes de

production agricole très peu soucieux de la préservation de la qualité des terres (Ouedraogo *et al.*, 2019). La caractéristique principale de tels systèmes est une agriculture traditionnelle extensive avec une très faible restitution des résidus de récolte (Koulibaly *et al.*, 2010). Cette exploitation minière des terres a induit un appauvrissement rapide des sols (Tingueré *et al.*, 2019 ; Traoré *et al.*, 2020), compromettant ainsi la durabilité des terres agricoles (Ilboudo *et al.*, 2020 ; Pouya *et al.*, 2020). En effet, dans ces systèmes de production traditionnels, la mise en culture des terres entraîne une baisse rapide de leur productivité du fait de la dégradation des principales propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, liée principalement à la non compensation des nutriments exportés par les récoltes (Noufé *et al.*, 2018). Or il est reconnu que le plus grand obstacle à l'amélioration des fonctions du sol et d'autres fonctions écosystémiques, est le manque de nutriments et d'intrants organiques (FAO et ITPS, 2015).

1.1.2. Caractéristiques et contraintes de mise en valeur des sols ferrugineux tropicaux lessivés au Burkina Faso

Du point de vue géologique, le Burkina Faso est situé sur la partie Sud-est du craton ouest africain partagé entre les terrains cristallins (socle) de la dorsale de Man-Léo qui occupent environ 80% de la superficie du pays et l'extrême Sud-Ouest du bassin sédimentaire ancien de Taoudéni (De Gramont *et al.*, 2017). La zone ouest du pays est repartie entre les ceintures volcano-sédimentaires et plutonique birimienne sur le socle paléoprotérozoïde et la couverture sédimentaire néoprotérozoïque du bassin de Taouden (Castaing *et al.*, 2003; Taupin *et al.*, 2017 ; Ilboudo *et al.*, 2018).

Les unités pédologiques développées sur ces socles géologiques appartiennent à 85% au groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés (Pallo et Thiombiano, 1989) répartis entre les lixivols et les plinthosols selon la classification WRB (2015). La latérisation est le principal type d'altération des roches qui a donné naissance à ces sols (Nahon, 1986). Elle se traduit par un lessivage systématique des éléments solubles (alcalin, alcalino-terreux et minéraux primaires) des formations géologiques (Freyssinet, 1991). Les oxydes de fer et leur concentration, par évolution minéralogique, provoque un phénomène de cuirassement. Cette cuirasse latéritique est elle-même dégradée en éléments meubles friables, déferruginisés. Le profil type généré par cette altération se caractérise par, de haut en bas, un horizon de surface déferruginisé, un ensemble cuirasse-carapace, un horizon à argile tachetée de néoformation de type kaolinite et par la roche mère très altérée (Dutartre, 1993). Ils sont caractérisés par une décomposition rapide et intense de la matière organique (Duchaufour, 2014 ;. Leur richesse en oxyhydroxyde de Fe et de Mn leur conférant une teinte se situant dans les gammes 7,5 YR et 10 YR (Solner, 2007). Sur le plan chimique, le taux de MO de ces sols est compris entre 1 et 2% est faible; un C/N de 14-18, N_total de 0,1 à 1,4 g.kg⁻¹ et P_total de 100 à 800 mg.kg⁻¹ (Boyadgiev, 1980). La somme des bases échangeable est de 3 à 10 cmol+.kg⁻¹. La CEC est comprise entre 3,5 et 6,0 cmol+.kg⁻¹ et est corrélée avec la MO en surface et avec l'argile de type Kaolinite (90%) en profondeur (Dabin et Maignien., 1979). Le taux de saturation (V) est élevé généralement >60% (Zombré, 1984). Le pH-H₂O est généralement acide (5,4 à 6,5) (Pallo et Thiombiano, 1989 ; Bacyé *et al.*, 2019). Si les lixivols sont assez

profond (>100 cm) avec des horizons sous-jacents riches en argile de type kaolinite, les plinthosols sont superficiels avec une profondeur effective se situant entre 20 et 40 cm.

Sur le plan agronomique les sols ferrugineux tropicaux lessivés sont de valeur agricole faible à moyenne. Ils sont peu, moyennement et assez profonds. Au Burkina Faso ils sont régulièrement cultivés en céréales (Maïs, mil, sorgho), coton, niébé, arachide (Pallo et Thiombiano, 1989).

Les contraintes de mise en valeur des ferrugineux lessivés de type lixivisol sont leur faible capacité de rétention en eau, le niveau faible à moyenne de leur fertilité, la faible teneur en MO, la déficience notoire en NPK, un pH faiblement acide. Pour les ferrugineux lessivés de type plinthosol il s'agit plutôt de la profondeur limitée par la cuirasse, la faible capacité de rétention en eau, la faible teneur en MO et le niveau de fertilité faible à moyenne (Koulibaly *et al.*, 2014). Mais les éléments minéraux peu retenu par le complexe absorbant sont facilement mobilisés. Il y a des carences minérales en phosphore qui peuvent être facilement corrigées par des fumures de redressement (Gnoumou *et al.*, 2017).

1.1.3. Les pratiques de gestion de la fertilité du sol au Burkina Faso

Les sols du Burkina Faso sont sujets à une dégradation graduelle de leur fertilité. Cette dégradation de la fertilité est liée d'une part à la nature intrinsèque du matériau parental qui est pauvre en éléments minéraux, et d'autre part aux pratiques agricoles inappropriées qui accélèrent le processus de dégradation des sols (Somé *et al.*, 2016). Au Burkina Faso, cette baisse de la fertilité des sols s'accompagne d'une baisse de la teneur en matière organique qui est inférieur à 1% (Ouandaogo *et al.*, 2016), ce qui réduit l'efficacité d'utilisation des fertilisants minéraux, entraînant par conséquent la baisse de la capacité productive des sols (Meshesha *et al.*, 2012). Ceci entraîne une baisse des rendements agricoles qui conduit au défrichement de nouvelles portions de terre au détriment de la forêt (Akansa *et al.*, 2016).

Les pratiques de gestion de la fertilité des sols chez les producteurs du Burkina Faso sont diverses et comprennent surtout les modes de fertilisation et les mesures conservatoires des sols (Pouya *et al.*, 2013).

Les modes de fertilisation reposent essentiellement sur la fertilisation minérale exclusive, et la fertilisation organo-minérale. Cette dernière allie l'applications des fumures minérales (NPK et urée) combinée à la fumure organique (fumier, compost, résidus des cultures). Les deux modes sont caractérisées par des doses d'engrais et de matières organiques inférieures à celles recommandées par la recherche. La quantité totale moyenne utilisée du complexe NPK, ramenée aux surfaces cultivées, se situe entre 15 kg.ha⁻¹ et 97 kg.ha⁻¹, pour une dose recommandée de 150 kg.ha⁻¹ sur le cotonnier et 150 à 200 kg.ha⁻¹ sur le maïs (Pouya *et al.*, 2013 ; Traoré *et al.*, 2020). Quant à la fumure organique, bien que sa production soit désormais une pratique courante chez les producteurs, les quantités produites restent insuffisantes pour compenser la minéralisation annuelle de la matière organique des sols chez la majorité des agriculteurs (Blanchard *et al.*, 2017). La production moyenne de fumures

organiques ne permet d'apporter que 0,4 à 1,1 t de MS.ha⁻¹.an⁻¹ selon les exploitations (Vall *et al.*, 2012), alors que la dose recommandée est de 2.5t.ha⁻¹.an⁻¹ ou 5 t.ha⁻¹ tous les deux ans sur les sols tropicaux (Pouya *et al.*, 2020). L'application de ces faibles quantités de fumures minérale et organique dans les exploitations entraîne une surexplotation des stocks d'éléments nutritifs du sol par les plantes, et par conséquence, conduit à un épuisement progressif des éléments nutritifs dans le sol et à leur dégradation (Gomgnimbou *et al.*, 2019). Pour plus d'efficacité, il est souhaitable de respecter les doses recommandées afin que la fumure organique fournit les nutriments tout en améliorant la capacité de rétention en eau du sol et l'utilisation efficiente des nutriments apportés par les engrains minéraux (Akanza *et al.*, 2016 ; Souley *et al.*, 2020). Toutefois, la combinaison non contrôlée de la fumure organique aux engrains minéraux peut être néfaste à la production agricole. En effet, cette pratique peut induire une accumulation de nutriments dans le sol et des pertes considérables par lessivage et volatilisation (Predotova *et al.*, 2010 ; Abdulkadir 2012 ; Ouédraogo, 2019). Même si la fertilisation organo-minérale est vivement recommandée pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, un apport massif et incontrôlé est donc à éviter.

Par ailleurs, en vue de faire face aux effets du changement climatique et à la dégradation des terres, les producteurs adoptent de plus en plus les techniques de conservation des eaux et des sols. Les pratiques les plus usitées sont les cordons pierreux, l'agroforesterie, les bandes enherbées, les demi-lunes, le paillage ou mulching, le zaï et la rotation culturelle (Pouya *et al.*, 2013 ; Labiyi *et al.*, 2019).

Les Cordons pierreux sont des ouvrages mécaniques composés de moellons (grosses pierres) alignés suivant les courbes de niveau de la superficie de terre concernée. Ils favorisent la sédimentation des particules de matière organique issues des eaux de ruissellement et de la fumure organique, et permettent de réduire l'érosion hydrique tout en augmentant l'infiltration de l'eau dans le sol (Gnissien *et al.*, 2021).



Figure 1: Dépôt de sédiments induit par un cordon pierreux (photo : Cissé, 2017)

L’agroforesterie est un système traditionnel d’utilisation des terres agricoles par les populations en Afrique de l’Ouest (Santoro *et al.*, 2020). Elle consiste à intégrer délibérément les plantes ligneuses vivaces aux cultures agricoles et/ou à l’élevage (Liniger *et al.*, 2011) contribuant ainsi à l’amélioration de la productivité des terres par l’augmentation de la matière organique et le recyclage des éléments nutritifs dans le système, à travers la litière et la décomposition des racines fines (Phillips *et al.*, 2012 ; Koala *et al.*, 2021). Une diversité de variétés d’arbres tolérée dans les champs, contribue à fertiliser les sols. Les principaux arbres fréquemment rencontrés dans les parcs agroforestiers sont : *Acacia senegal* (L.) Willd, *Adansonia digitata* L., *Azadirachta indica* (A. Juss), *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Bombax costatum* Pellegr. et Vuillet, *Borassus aethiopum* Mart., *Borassus akeassii* B.O.G., *Diospyros mespiliformis* Hochst. Ex A. Rich., *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh.), *Faidherbia albida* (Del.) Chev., *Lannea microcarpa* Engl. & Krause, *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don., *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst, *Tamarindus indica* L., 1753, *Vitellaria paradoxa* (Gaerthn. F.) et *Ziziphus mauritiana* Lam., 1789 (Diarra *et al.*, 2019).



Figure 2: parc agroforestier à *Vettellaria paradoxa* (Gaerthn. F.). (photo: Cissé, 2020)

Les bandes enherbées sont des barrières biologiques constituées d'herbacées installées dans les champs selon les courbes de niveau et qui favorisent l'infiltration de l'eau et réduit l'érosion du sol (MAAH et GIZ, 2020).

La technique du paillage ou mulching consiste à recouvrir le sol d'une couche de 2 cm d'herbes ou de branchages ou encore de résidus culturaux de façon à assurer la couverture du sol contre l'érosion éolienne et à stimuler l'activité des macrofaunes du sol notamment les termites (Pouya *et al.*, 2013)

Les demi-lunes, technique de conservation des eaux et des sols, sont des cuvettes en forme de demi-cercle qui recueille le ruissellement des eaux provenant des parties sus-jacentes non cultivées. Elles sont construites en rangées décalées, chacune est constituée de diguettes de sol surélevées en forme d'arc, qui concentrent le ruissellement. La densité de demi-lunes à l'hectare est comprise entre 325 à 425.ha⁻¹ avec des espacements entre les centres de 6 à 8 m et 4 m entre les rangées (Pasiecznik et Reij, 2021).



Figure 3: Plants de sorgho dans des cuvettes de demi-lunes (Source: SOS-SAHEL, 2013)

Le "Zai" est un système traditionnel de réhabilitation de la productivité des sols pauvres et encroûtés. Il consiste à creuser des trous de 30 cm de diamètre et de 15 à 20 cm de profondeur dans le sol pour y concentrer les eaux de ruissellement et les

matières organiques (Barro *et al.*, 2005 ; Kimaru-Muchaia *et al.*, 2020). Avec un écartement de 40 cm entre les trous, la densité de cuvette de zaï est d’environ 10000.ha⁻¹ (Hien, 2017). En localisant l’eau et le compost et en attirant la macrofaune du sol, cette technique permet de modifier la structure du sol, d’augmenter l’infiltration et le stock d’eau du sol, de réduire l’érosion du sol en dissipant l’énergie cinétique des gouttes de pluies tout en offrant de bonnes conditions de développement des plantes.



Figure 4: cuvettes de Zaï (source: Lombo *et al.*, 2021)

A l’exception de l’agroforesterie, ces différentes pratiques sont plus adoptées par les producteurs des zones centre, nord et Est que ceux de la zone ouest du pays. A titre d’exemple, 85 % des producteurs du centre appliquent les mesures de conservation des sols, contre 15% dans la zone ouest où les conditions de pluviosité sont plus favorables (Pouya *et al.*, 2013).

La rotation culturale est une technique de restauration de la fertilité des sols généralisée au Burkina Faso, qui consiste en une succession de cultures sur un même champ (Ouédraogo *et al.*, 2019). La rotation coton-maïs avec le coton en tête, est le type de rotation le plus pratiqué dans la zone cotonnière à l’ouest du pays. Le maïs venant après le coton, bénéficie de l’arrière effet de fertilisation du coton. Par contre dans le sahel, c’est la rotation mil-niébé et la rotation mil-arachide qui sont les plus rencontrées (CILSS, 2012).

1.1.3. Importance de la matière organique dans la gestion durable des terres

La matière organique joue un rôle de premier plan dans le fonctionnement global du sol au travers de ses composantes physiques, biologiques et chimiques, qui ont des conséquences majeures pour la fertilité des sols (Hubert et Schaub, 2011).

Les résidus de cultures constituent une source importante de matière organique. En effet, le recyclage des résidus de récolte est considéré comme un moyen pour maintenir la fertilité des sols et améliorer la productivité des cultures (Guto *et al.*, 2012, Abdou *et al.*, 2016; Bacyé *et al.*, 2021). Le retour au sol des résidus de récolte, à court terme sous forme de compost, peut se manifester à travers différents effets dont l'amélioration de la stabilité structurale, la réduction des risques de battance, l'amélioration des teneurs en carbone, azote, phosphore et potassium et de la CEC du sol (Belmekki *et al.*, 2014 ; Tchuenteu *et al.*, 2021 ; Bacyé *et al.*, 2021). Toutefois, une décomposition incomplète de la matière organique avec un C/N supérieur à 20 peut entraîner une « faim d'azote » pour les plantes puisque les microorganismes utiliseront l'azote disponible du sol pour la minéralisation de cette matière organique (Touré *et al.*, 2018). Utilisés comme paillage, les résidus de récolte permettent d'améliorer la capacité d'infiltration de l'eau et la rétention en eau du sol, de diminuer l'érosion éolienne et hydrique, d'augmenter la CEC du sol (Schlecht et Buerkert, 2004). Toutefois, l'efficacité de ce mode de recyclage dépend de la quantité des résidus et de leur aptitude à la décomposition (Roose, 2017). De plus, la minéralisation des résidus à la surface du sol s'accompagne de processus de pertes pouvant limiter la contribution du paillage à la nutrition minérale de la culture, surtout en ce qui concerne l'azote (Bacyé *et al.*, 2021).



Figure 5: Fumier dans un champ en attente d'épandage à Massala (source : Ouédraogo, 2018)

1.1.4. Le biochar

Technique de recyclage des résidus agricole, le biochar est un produit organique poreux riche en carbone obtenu par pyrolyse de déchets agricoles et animaux sous apport limité d'oxygène (Cornelissen *et al.*, 2016). Son utilisation comme amendement des sols est perçue comme une stratégie durable pour augmenter les productions agricoles dans le monde (Biederman et Harpole, 2012; Criscuoli, 2016). Plusieurs études ont montré que le biochar modifie les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols et améliore le rendement des cultures (Kalyani *et al.*, 2016; Pandit *et al.*, 2018 ; Kizito *et al.*, 2019 ; Lompo *et al.*, 2021). Les propriétés physiques sur lesquels le biochar agit sont la porosité, la densité apparente, la capacité de rétention en eau du sol. En effet, le biochar grâce à sa structure stable et extrêmement poreuse est susceptible d'améliorer ces propriétés physiques du sol (Blanco-canqui, 2017). La structure poreuse du biochar favorise aussi l'augmentation de la porosité du sol, facilitant ainsi son approvisionnement en oxygène (Yanai *et al.*, 2007) et permettant l'augmentation de sa capacité de rétention en eau (Blanco-Canqui, 2017). L'interaction entre le biochar, l'argile et la matière organique améliore la structure du sol par la formation de micro agrégats stables au cours du temps (Brodowski *et al.* 2006).

Par ailleurs, le biochar riche en carbone a une capacité d'adsorption active de nutriments et plus particulièrement l'ammonium (NH_4^+) et les nitrates (NO_3^-) par immobilisation de l'azote dans ces porosités (Guo, 2020). Ce qui réduit les émissions de protoxyde d'azote (N_2O) (Borchard *et al.*, 2019). Il constitue de ce fait un réservoir de nutriments susceptible d'améliorer les caractéristiques chimiques du sol. Il possède de nombreuses charges négatives qui lui confèrent une propriété d'adsorption massive de cations libres (Glaser *et al.*, 1998). Cette propriété lui permet d'améliorer la capacité d'échange cationique des sols (Lélé, 2016) et de réduire les pertes d'éléments minéraux par lessivage (Lehmann et Joseph, 2009).

La présence du biochar dans le sol permet de réguler la disponibilité de l'azote (Angst *et al.*, 2013) en réduisant de manière significative ses pertes par lessivage. Toutefois le biochar ne peut jouer efficacement ce rôle que lorsqu'il a subi une période de maturation à la fin de la pyrolyse, au cours de laquelle il absorbe l'azote de l'environnement jusqu'à saturation. Sinon son incorporation juste après la production peut conduire au « choc d'azote » car il est susceptible d'absorber rapidement tout l'azote disponible dans les sols, limitant ainsi sa disponibilité pour les plantes (Hugill, 2013). Il peut également contenir des cendres alcalines de concentrations variables qui rendent son pH basique (El-Naggar *et al.*, 2019). Son incorporation au sol entraîne une élévation du pH du sol et permet ainsi de lutter contre le phénomène d'acidification des sols (Lélé, 2016). Par ailleurs, sa structure poreuse et saine (sans agents pathogènes) constitue un habitat adéquat pour les microorganismes qui le colonisent massivement, s'y développent et s'y reproduisent (Schmidt *et al.*, 2017).

A la différence des amendements organiques traditionnels comme le compost, le biochar est destiné à perdurer dans les sols le plus longtemps possible afin de conserver un effet durable sur les propriétés du sol (Guo *et al.*, 2020). Toutefois, une dose d'apport élevée ($>10 \text{ t.ha}^{-1}$) réduit la croissance de certaines plantes en raison de

la forte alcalinité du biochar (Prapagdee et Tawinteung, 2017). Cela se traduit par un gain supplémentaire de rendement faible qui ne dépasse guère 20% (Hagemann *et al.*, 2017). Ce qui n'est ni techniquement ni économiquement viable pour les petits producteurs. Une alternative permettant d'obtenir de bien meilleurs rendements avec le biochar tout en réduisant la dose serait son activation par le co-compostage car l'incorporation du biochar pristine ou biochar non activé dans le sol pourrait ralentir la croissance des plantes pendant quelques mois à cause de sa forte capacité d'adsorption et sa CEC élevée qui feraient que les éléments nutritifs et l'eau du sol seraient absorbés et fixés par le biochar (Kammann *et al.*, 2015). L'activation du biochar consiste à l'oxyder de façon précoce tout en l'enrichissant en nutriments et en microorganismes (Schmidt *et al.*, 2015).



Figure 6: Biochar de tige de cotonnier (photo: Cissé, 2019)

Le co-compostage consiste à mélanger du biochar avec du fumier ou d'autres matières premières de compost à haute teneur en nutriments et en carbone organique labile, avant de commencer un processus de compostage aérobie (Vandecasteele *et al.*, 2016). Des auteurs comme Schulz *et al.* (2013) et Glaser et Birk (2012) suggèrent le co-compostage du biochar pour augmenter la fertilité du sol. Ce procédé améliore mieux la performance agronomique du biochar comme amendement du sol (Kammann *et al.*, 2015). Plusieurs études ont, en effet, montré que le co-compostage présente de nombreux avantages. Les travaux de Wei *et al.* (2014) ont montré que le

biochar incorporé au début du processus de compostage biochar permet au tas d'entrer en phase thermophile très rapidement avec une élévation de la température d'environ 56°C. Ce qui engendre une forte activité biologique (Du *et al.*, 2020). Cette activité biologique importante accélère la décomposition du tas (Steiner *et al.*, 2010). Par ailleurs, le biochar contenant de nombreux pores, son ajout à 15% (m/m) au tas à composter permet d'adsorber les nutriments dont l'azote et réduit du même coup les pertes de N de 27% (Wang *et al.*, 2017) et les émissions de gaz à effet de serre tel que le protoxyde d'azote (N_2O) (Gul *et al.*, 2016) et le CO₂ (Du *et al.*, 2019). Cette capacité du biochar à adsorber des nutriments au cours du processus de compostage augmente la teneur en nutriments du co-compost final (Prost *et al.*, 2012). En outre, le biochar neutralise l'acidité du compost par son alcalinité, absorbe les métaux lourds et réduit la phytotoxicité du co-compost (Wang *et al.*, 2017).



Figure 7: mise en place d'un tas de co-compost

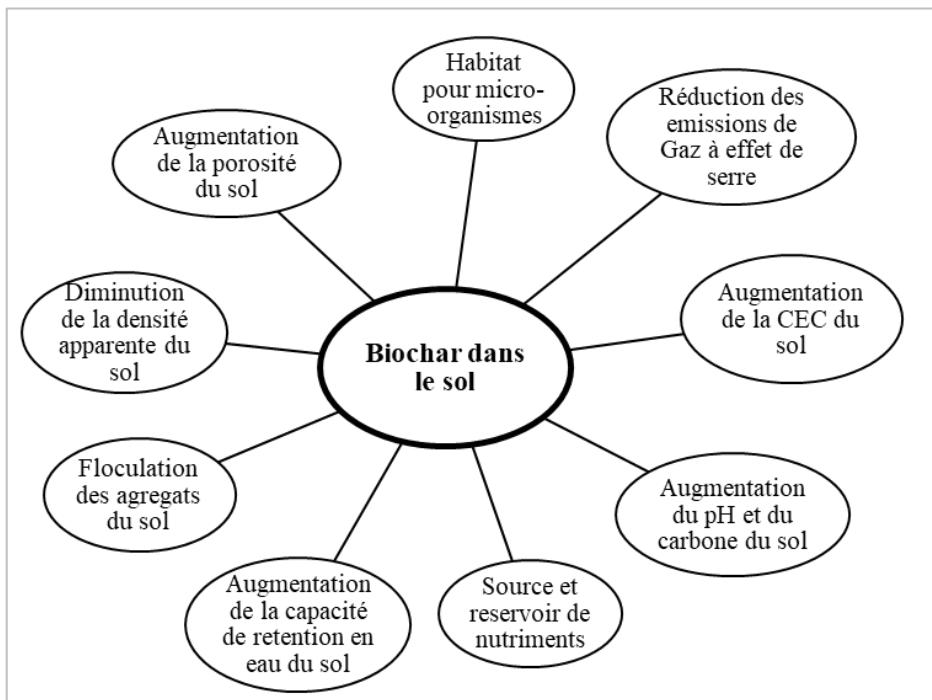


Figure 8: Effets du biochar dans le sol

1.2. Cadre conceptuel de la thèse

L'un des facteurs qui limitent fortement la durabilité des systèmes de production agricole au Burkina Faso est le faible niveau de fertilité des sols. L'amélioration, le maintien et la gestion de la fertilité de ces sols, pour être durable, doivent se fonder sur des approches par lesquelles les résidus de récoltes sont recyclés afin de ramener une bonne partie des nutriments exportés dans le système pour être mis à la disposition des plantes. C'est dans cette dynamique qu'est mis en œuvre le projet BIOPROTECHSOL qui vise une amélioration durable de la fertilité des sols par l'utilisation des amendements organiques comme le biochar issu du recyclage des résidus de cultures très peu valorisés. Son exécution sur le terrain se fait à travers trois axes interdépendants qui intègrent l'évaluation des bénéfices agronomiques et socio-économiques de la production et l'utilisation des amendements à base de biochar (axe 1), la formation des bénéficiaires à la production et l'utilisation de ces amendements (axe 2) et, enfin, l'évaluation agronomique de l'apport en micro-dose du biochar combiné à l'engrais minéral (axe 3). Les activités menées dans le cadre de notre thèse s'inscrivaient dans l'exécution du premier axe et devaient contribuer à répondre à la question de recherche suivante : les amendements à base de biochar peuvent-ils améliorer durablement la productivité des sols cultivés ? Deux sous-axes de travail ont été dégagés à cet effet. Les activités du premier sous-axe ont été consacrées à la production d'une situation de référence en faisant l'état des lieux de

la situation agro-pédologique de la zone Ouest. Le chapitre 2 de notre thèse a contribué à produire cette situation de référence en déterminant le niveau de fertilité et les aptitudes agronomiques des sols issus de matériaux parentaux différents. A la suite du premier sous-axe, les activités du second ont été consacrées à l'évaluation des effets des amendements à base de biochar sur les paramètres de fertilité des sols et les rendements des cultures. Les chapitres 3 et 4 de notre thèse s'insèrent dans cette dynamique. En se référant aux conclusions du chapitre 2, les activités du chapitre 3 ont permis d'évaluer les effets des amendements à base de biochar sur l'amélioration de la productivité des sols cultivés issus de matériaux parentaux différents. Les activités du chapitre 4 ont permis d'évaluer la capacité des amendements à base de biochar tel que le co-compost à optimiser l'utilisation des nutriments par les plantes dans un contexte de réduction de dose de NPK. Ce qui est une plus-value importante pour l'implémentation des amendements à base de biochar dans le cadre d'une amélioration durable de la fertilité des sols cultivés de l'Ouest du Burkina Faso lorsque l'on sait que les capacités financières des producteurs ne les permettent pas de faire face aux prix élevés des engrains minéraux.

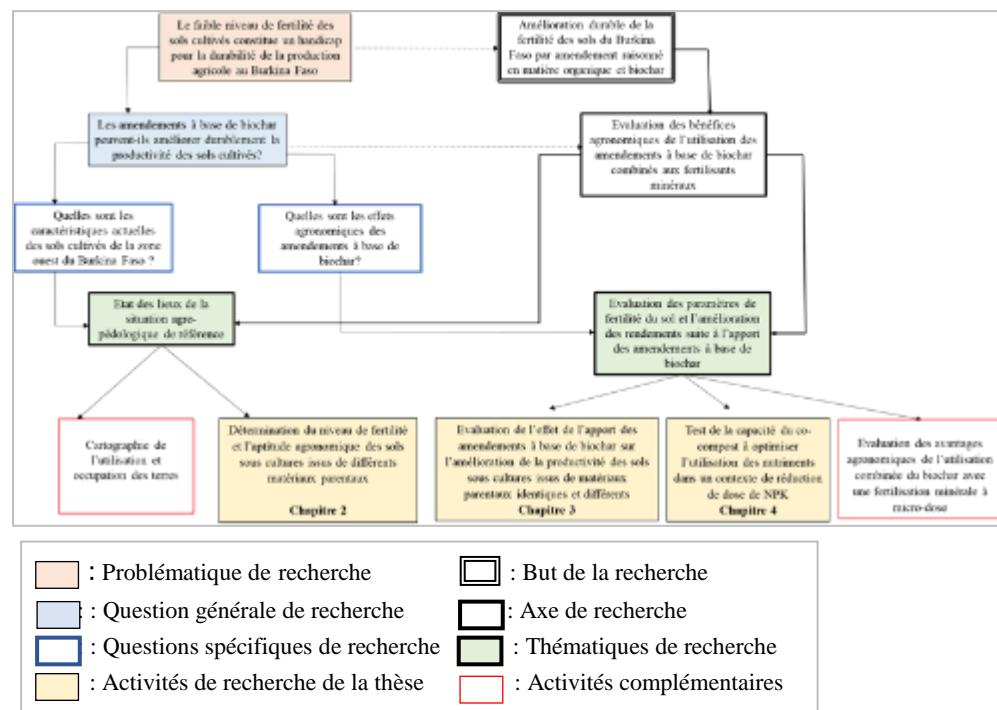


Figure 9: Schéma conceptuel de la thèse

1.3. Objectifs de la thèse et Hypothèses de recherche

Le défi actuel de l'agriculture est de produire encore plus sur des surfaces qui devraient peu augmenter, voire se réduire à cause des nombreux autres usages faits des sols pour satisfaire les besoins alimentaires croissants de cette population de plus en plus nombreuse (Valentin, 2021). Dès lors, toutes les options permettant une gestion durable de la fertilité des sols sont à explorer d'où la conduite de la présente thèse de doctorat, financée par l'ARES dans le cadre du projet BIOPROTECHSOL sur le thème « Effets des amendements à base de biochar sur les paramètres agro-pédologiques dans une rotation coton-maïs à l'ouest du Burkina Faso ».

Il est reconnu que les propriétés des sols dépendent de la nature des constituants et de leur proportion relative hérités du matériau parental. Des différences de matériaux parentaux peuvent être source de variations des caractéristiques physico-chimiques des sols et impacter leurs aptitudes agronomiques. La notion de matériau parental a été appréhendé dans le cadre de cette étude comme la formation géologique sur laquelle se sont développés les grands types de sols en milieu paysan. La première phase de l'étude a consisté en une caractérisation des principaux sols agricoles des sites d'étude en milieu paysan afin de tenter d'établir un lien entre le matériau parental et la classe de fertilité et aptitude agronomique des sols. Ensuite, étant donné que différents types de sols sont exploités par les producteurs, il est nécessaire de tester les amendements à base de biochar sur différents types de sols agricoles afin de déterminer le sol qui a la meilleure réponse à la technologie du biochar. Enfin la propension des amendements à base de biochar à réduire les quantités de fertilisants minéraux nécessaires aux cultures est une opportunité pour les producteurs du Burkina Faso qui, à cause des coûts élevés de ces fertilisants minéraux, peinent à respecter les doses d'apport sur les cultures. Le test agronomique sur l'effet du co-compost sur l'efficience d'utilisation des engrains minéraux en réduisant de 25% la dose de NPK a été conduit dans ce sens. Par ailleurs, l'utilisation de la dose de $2,5\text{t}.\text{ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ d'amendement organique est beaucoup plus à la portée des petits producteurs de la zone qui disposent de peu de ressources financières et de main d'œuvre pour faire face aux charges de production de quantités élevées de ces fumures organiques.

Ainsi, une meilleure connaissance des conditions d'utilisation du biochar sur les sols tropicaux renforcera les paquets technologiques pour assurer la durabilité des systèmes de production à l'Ouest du Burkina Faso.

1.3.1. Objectifs de la thèse

L'objectif global de la thèse est de renforcer les capacités de résilience des petits producteurs par la gestion durable de la fertilité des sols à travers l'utilisation d'amendements à base de biochar.

Les objectifs spécifiques permettant d'atteindre l'objectif global sont :

- Evaluer les classes de fertilité et les aptitudes agronomiques des sols développés sur différents matériaux parentaux dans la zone ouest du Burkina Faso;

- Déterminer les effets de l’adjonction du biochar de tige de cotonnier au cours du processus de compostage sur les propriétés chimiques de l’amendement co-compost;
- Evaluer la réponse de différents types de sols aux amendements à base de biochar ;
- Evaluer l’effet du co-compost sur la productivité du sol;

1.3.2. Hypothèses de recherche

Les sols cultivés dans la zone cotonnière de l’Ouest du Burkina Faso sont caractérisés par une faible teneur en C_{org}, en N_{tot}, en éléments disponibles et une faible CEC. Le besoin de relèvement du niveau de fertilité de ces sols est un impératif. La technologie du biochar pourrait assurer la durabilité de ce relèvement du niveau de fertilité en raison de sa richesse en carbone et de forte capacité d’adsorption, de conservation des nutriments et de relargage desdits nutriments proportionnellement aux besoins des plantes d’où notre hypothèse principale selon laquelle l’utilisation d’amendements à base de biochar améliore la durabilité des systèmes de production et renforce la résilience des petits producteurs (HP).

La variation du niveau de la fertilité des sols sous culture dans la zone cotonnière à l’ouest du Burkina Faso ne peut s’expliquer par le seul fait des pratiques agricoles car il est reconnu que la qualité d’un sol est aussi sous l’influence des facteurs de sa formation. Parmi les facteurs de formation des sols dans cette partie du pays, seul le matériau parental pourrait fondamentalement différer d’un point à l’autre. Cela nous amène à émettre l’hypothèse suivante : le matériau parental contrôle les aptitudes agronomiques des sols tropicaux sous culture (H1).

Le biochar étant un amendement qui améliore la fertilité des sols tropicaux à faible niveau de fertilité, la diversité de ces sols tropicaux pourrait être un facteur influençant l’efficacité des amendements à base de biochar d’où notre hypothèse 2 selon laquelle la performance agronomique des amendements à base de biochar est fonction du type de sol (H2).

Par ailleurs, le co-compost se comporte comme un engrais à libération lente dans le sol. Ce qui nous amène à formuler les hypothèses suivantes :

- L’adjonction du biochar au cours du processus de co-compostage améliore les propriétés chimiques de l’amendement produit (H3) ;
- L’application du co-compost permet d’améliorer l’efficience d’utilisation des nutriments par les plantes (H4).

1.4. Structuration de la thèse¹

Cette thèse est structurée en six (6) chapitres. Le premier chapitre est consacré aux aspects généraux. Les chapitres 2, 3 et 4 suivants sont consacrés à des sujets spécifiques sur les questions liées aux résultats des travaux de terrain et de laboratoire. Ils présentent les principaux résultats de recherche et discutent des objectifs spécifiques ci-dessus mentionnés. Ils comprennent une introduction, une méthodologie (détails spécifiques à chaque chapitre), des résultats, une discussion et une conclusion. Le cinquième chapitre est consacré à la discussion générale. Enfin, le dernier chapitre présente la conclusion générale ainsi que les perspectives de recherche pour approfondir les connaissances sur les amendements à base de biochar.

Les références bibliographiques sont présentées à la fin des chapitres à l'exception du chapitre 6.

Le Chapitre 1 présente le contexte et la justification de l'étude. Ensuite, il fournit une analyse de la littérature sur l'état de la dégradation des terres, les pratiques de gestion de la fertilité des sols, l'importance de la matière organique et sur le biochar utilisé comme amendement du sol. Enfin, il présente les hypothèses et les objectifs de l'étude.

Le Chapitre 2 traite des caractéristiques agro-pédologique des sols des deux zones d'études.

Le Chapitre 3 traite de l'efficacité agronomique des amendements à base de biochar dans un contexte de diversité pédologique

Le Chapitre 4 évalue l'efficacité agronomique de l'amendement co-compost associé à une dose réduite de NPK.

Le Chapitre 5 est une discussion générale de l'ensemble des résultats obtenus.

Le Chapitre 6 présente les conclusions générales des travaux et les perspectives d'approfondissement de l'étude pour une meilleure utilisation des amendements à base de biochar comme pratique de gestion durable de la fertilité des sols dans le contexte de l'agriculture familiale en milieu tropical d'Afrique subsaharienne.

La liste des publications d'articles scientifiques et celle des communications réalisées au cours de la recherche doctorale, sont présentées dans les annexes à la suite de ces chapitres et des références bibliographiques.

1.5. Références bibliographiques

Abdou, G., Ewusi-Mensah, N., Nouri, M., Tetteh, F.M., Safo, E.Y. et Abaidoo, R.C., 2016. Nutrient release patterns of compost and its implication on crop yield under Sahelian conditions of Niger. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 105(2): 117-128.

Abdulkadir, A., 2012. Nutrient flows in urban and peri-urban agroecosystems in three West African cities. Doctoral thesis. Wageningen University, Germany. 217p

¹ La structuration adoptée est celle recommandée par l'Université de Liège

- Akanza, K.P., Sanogo, S. et N'Da, H.A., 2016. Influence combinée des fumées organiques et minérales sur la nutrition et le rendement du maïs : impact sur le diagnostic des carences du sol. *Tropicultura.*, 34(2):208-220.
- Angst, T. E., Patterson, C. J., Reay, D. S., Anderson, P., Peshkur, T. A. et Sohi, S. P. 2013. Biochar diminishes nitrous oxide and nitrate leaching from diverse nutrient sources. *Journal of Environmental Quality.* 42 : 672-682.
- Bacyé, B., Kambiré, H.S., Sawadogo, M.O. et Zonga, A.M., 2021. Effets des modes de gestion des résidus du bananier et d’options de fumure minérale sur le rendement du maïs et les caractéristiques chimiques du sol dans un système de rotation bananier /maïs à l’Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 15(3): 1208-1221
- BAD, 2018. Perspectives Économiques en Afrique 2018, BAD, 216 p
- Bailey, I., Buckingham, N., Binning, R. et Gready, P., 2019. Global Farmland Index. Savills International Rural Team, United Kingdom, 8 p. <https://pdf.euro.savills.co.uk/uk/rural---other/global-farmland-index---summer-2019.pdf>
- Barro, A., Zougmoré, R. et Taonda, J-B. S., 2005. Mécanisation de la technique du zaï manuel en zone semi-aride. *Cah. Agric.*, 14(6): 549-559
- Bashagalu, J.B., Logah, V., Opoku, A., Sarkodie-Addo, J. et Quansah, C., 2018. Soil nutrient loss through erosion: Impact of different cropping systems and soil amendments in Ghana. *PLoS One* 13, e0208250
- Belmekki, M., Mrabet, R., El Gharous, M., Moussadek, R., Halima, O.I., Boughlala, M. et Bencharki, B., 2014. Effets du non labour et de la gestion des résidus sur la conservation de l'eau et la qualité d'un sol calcimagnésique dans les zones semi-arides Marocaines. *Int. J. Innov. Appl. Stu.*, 6(4): 792-800
- Biederman, L.A. et Harpole, W.S., 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 5, 202-214.
- Blanchard, M., Vall, E., Tingueri, L.B. et Meynard, J-M., 2017 Identification, caractérisation et évaluation des pratiques atypiques de gestion des fumures organiques au Burkina Faso : sources d’innovation ? *Autrepart*, 81:115-133
- Blanco-Canqui, H., 2017. Biochar and Soil Physical Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 81:687-711
- Bonzi, M., Lombo, F., Kiba, D.I. et Sédogo, M. P., 2008. Influence du mode de gestion de la fertilité des sols sur l’évolution de la matière organique et de l’azote dans les zones agro écologiques du Burkina Faso. In : *Synthesis of soil, water and nutrient management research in the Volta Basin*; Bationo, A., Tabo, R, Waswa, B., Okeyo, J., Kihara, J., Fosu, M. et Kaboré, S. (Eds.), pp 83-98
- Bouzelha, S., 2020. « L’agriculture intelligente face au climat » : Etude d’opportunité face aux effets du changement climatique sur les performances du secteur agricole. *Journal of the New Economy*, 11(02) :1-22

- Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M. L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizábal, T., Sigua, G., Spokas, K., Ippolito, J. A., Novak, J., 2019. Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and NO emissions: A meta-analysis. *Science of the Total Environment* 651: 2354-2364
- Boyadgiev, T., 1980. Crédit d'un service des sols en Haute Volta: état des connaissances. Edited by FAO. Rome: FAO
- Brodowski, S., John, B., Flessa, H. et Amelung, W. 2006. Aggregate-occluded black carbon in soil. *European journal of soil science*, 57: 539-546.
- Castaing, C., Bila, M., Milési, J. P., Thiéblemont, D., Le Metour, J., Egal, E., Donzeau, M., Guerrot, C., Cocherie, A., Chevremont, P., Teygely, I., Itard, Y., Zida, B., Ouédraogo, I., Koté, S., Kabore, B. E., Ouédraogo, C., Ki, J. C., Zunino, C., 2003. Notice Explicative de la carte géologique et minière du Burkina Faso à 1/1000 000, 3ème Edition, 148 p.
- CILSS, 2012. Bonnes pratiques agro-sylvo-pastorales d'amélioration durable de la fertilité des sols au Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso, 194p
- CILSS, 2015. Assessment study of the CILSS achievements in the field of control against desertification. Expert consultant's report. 169p
- Cornelissen, G., Pandit, N. R., Taylor, P., Pandit, B. H., Sparrevik, M. et Schmidt, H. P., 2016. Emissions and char quality of flame-curtain "Kon Tiki" kilns for farmer-scale charcoal/biochar production. *PLoS ONE*, 11(5), 1-16.
- Criscuoli, I., 2016. Stabilité du charbon végétal (biochar) dans le sol et impact sur la productivité et les cycles des nutriments des prairies alpines. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie. 98 p.
- Dabin, B. et Maignien, R., 1969. Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles. *Cah. ORSTOM*, seri. Pedol., 12(4): 235-257
- De Gramont, H.M., Savadogo, A.N., Dakouré, D., 2017. Amélioration de la connaissance et de la gestion des eaux au Burkina Faso : Diagnostic sur les eaux souterraines. Banque Mondiale ,Washington DC, Etats Unis d'Amérique. 68 p.
- Diarra, B., Gian, N. et Konaté, O.F., 2019 Analyse de la gestion de la fertilité organo-minérale des sols dans les cercles de Koulikoro et de Sikasso (Mali). *Géo. Tropic. Environ.*, 1: 35-44-
- Du, J., Zhang, Y., Qu, M., Yin, Y., Fan, K., Hu, B., Zhang, H., Wei, M., Ma, C., 2019. Effects of biochar on the microbial activity and community structure during sewage sludge composting. *Bioresource Technology*, 272:171-179
- ELD Initiative, 2015. Report for policy and decision makers: Reaping economic and environmental benefits from sustainable land management. Available from www.eld-initiative.org.
- El-Naggar, A., Lee, S.S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A.K., Zimmerman, A.R., Ahmad, M., Shaheen, S.M. et Ok, Y.S., 2019. Biochar

- application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma* 337: 536-554
- FAO. 2021. L'État des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde - Des systèmes au bord de la rupture. Rapport de synthèse 2021. Rome, Italie, 73p. <https://doi.org/10.4060/cb7654fr>
- FAO 2017. Directives volontaires pour une gestion durable des sols. Rome, Italie, 16 p.
- FAO et ITPS. 2015. État des ressources en sols dans le monde - Résumé technique. FAO & ITPS, Rome, Italie, 79 p
- Glaser B. et Birk J. J., 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of anthropogenic dark earths in Central Amazonia (terra preta de Indio). *Geochim. Cosmochim. Acta*. 82, 39-51
- Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. 1998. Black Carbon in Soil: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers. *Organic Geochemistry*, 29: 811-819.
- Gnissien, M., Kalifa Coulibaly, K., Traore, M., Hien, M., Mathieu, B. et Nacro, H.B., 2021. Effets des pratiques agro-écologiques sur les caractéristiques chimiques majeures et le stock de carbone du sol à l'Est du Burkina Faso. *Tropicultura* 2295-8010, 39, 1862
- Gnoumou, X.N., Yaméogo, Y.T., Traoré, M., Bazongo, G. et Bazongo, P., 2017. Adaptation aux changements climatiques en Afrique sub-saharienne: impact du zaï et des semences améliorées sur le rendement du sorgho dans les villages de Loaga et Sika (province du Bam), Burkina Faso. *Int. J. Innov. App. S.*, 19(1) : 166-174
- Gomgnimbou, A.P.K., Bandaogo, A.A., Coulibaly, K., Sanon, A., Ouattara, S. et Nacro, H.B, 2019. Effets à court terme de l'application des fientes de volaille sur le rendement du maïs (*Zea mays L.*) et les caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique dans la zone sud-soudanienne du Burkina Faso. *Tropicultura*, 33(2) :125-134
- Guébré, D., Traoré, S., Traoré, M., Maré, B.T. et Hien E., 2020. Conservation des sols en zone soudano-sahélienne : quelle est l'efficience des amendements ligneux ? *Sc. Nat. App.*, 39, 2(1): 199-220
- Guedegbe, T., Sinsin, T. et Doukkali, M.R., 2018. La neutralité en termes de dégradation des terres en Afrique est-elle envisageable ? OCP Policy Center, Rabat, Maroc, 9 p.
- Gul, S. et Whalen, J.K., 2016. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar amended soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 103:1-15
- Guo, M., 2020. The 3R Principles for Applying Biochar to Improve Soil Health. *Soil Syst.*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4010009>
- Guto, S.N., Pypers, P., Vanlauwe, B., de Ridder; N. et Giller, K.E., 2012. Socio-écological niches for minimum tillage and crop-residue retention in

- continuous maize cropping systems in smallholder farms of Central Kenya. *Agronomy Journal*, 104(1): 188-198. DOI: 10.2134/agronj2010.0359
- Hagemann, N., Kammann, C. I., Schmidt, H. P., Kappler, A. et Behrens, S., 2017. Nitrate capture and slow release in biochar amended compost and soil. *PloS one*, 12(2), e0171214. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171214>
- Hien, F., 2017. Evaluation des Besoins Technologiques pour l'Adaptation dans les secteurs de l'Agriculture et de la Foresterie au Burkina Faso. Rapport final. SP/CONEEDD, Ouagadougou, Burkina Faso, 145 p
- Hounkpatina, K.O.L., Welpa, G., Akponikpè, I.P.B., Rosendahla, I. et Amelung, W., 2015. Carbon losses from prolonged arable cropping of Plinthosols in Southwest Burkina Faso. *Soil & Tillage Research*, 175: 51-61
- Hugill, B. 2013. Le Biochar-Une maison biologique pour les microbes du sol. 17391 Durrance Road, North Fort Myers, Florida 33917, USA | 239.543.3246
- Ilboudo, H., Traoré, A.S., Sawadogo, S., Nonguierma, B., Toumania, S., 2018. Geology and gold occurrences of the Gombélédougou paleoproterozoic terrane, Houndé belt in Burkina Faso (West-Africa). *J. Sci.*, 18(1): 01-12
- Ilboudo, A., Soulama, S., Edmond Hien, E. et Zombré, P., 2020. Perceptions paysannes de la dégradation des ressources naturelles des bas-fonds en zone soudano-sahélienne: cas du sous bassin versant du Nakanbé-Dem au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14(3): 883-895
- IPBES, 2018. Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental SciencePolicy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. R. Scholes, L. Montanarella, A. Brainich, N. Barger, B. ten Brink, M. Cantele, B. Erasmus, J. Fisher, T. Gardner, T. G. Holland, F. Kohler, J. S. Kotiaho, G. Von Maltitz, G. Nangendo, R. Pandit, J. Parrotta, M. D. Potts, S. Prince, M. Sankaran and L. Willemen (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 44 pages
- Kalyani, G., Joga Rao, H., Prasanna Kumar, Y. et King, P., 2016. "Potential of biochar and compost in soil amendment for enhancing Crop Yield." *International Journal of Chemical Sciences* 14 (1): 173–85.
- Kammann, C.I., Schmidt, H-P., Messerschmidt, N., Linsel, S., Steffens, D., Müller, C. et Koyro, H-W., Conte, P., Joseph, S., 2015. Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Sci. Rep.* 5, 11080. <https://doi.org/10.1038/srep11080>
- Kimaru-Muchaia, S.W., Ngetich, F.K., Mary Baaru, M. et Mucheru-Muna, M. W., 2020. Adoption and utilisation of Zaï pits for improved farm productivity in drier upper Eastern Kenya. *J. Agr. Rural Develop. Trop. Subtrop.* 121(1): 13–22
- Kizito S., Luo H., Lu J., Bah H., Dong R. et Wu S., 2019. Role of nutrient-enriched biochar as a soil amendment during maize growth: Exploring practical alternatives to recycle agricultural residuals and to reduce chemical fertilizer demand. *Sustainability*, 11, 3211; doi:10.3390/su11113211

- Koala, J., Kagambèga O.R. et Sanou L., 2021. Distribution des stocks de carbone du sol et de la biomasse racinaire dans un parc agroforestier à *Prosopis africana* (Guill., et Rich.) Taub au Burkina Faso, Afrique de l'Ouest. *J. Appl. Biosci.*, 160: 16482-16494
- Koulibaly, B., Dakuo, D., Ouattara, A., Traoré, O., Lompo, F., Zombré, P.N. et Kouamé, A. Y., 2015. Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso
- Koulibaly, B., Traoré, O., Dakuo, D. et Zombré, N.P., 2009. Effets des amendements locaux sur les rendements, les indices de nutrition et les bilans culturaux dans un système de rotation coton-maïs dans l'ouest du Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13(1), 103-111
- Koulibaly, B., Traoré, O., Dakuo, D., Zombré, N.P. et Bondé, D., 2010. Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso. *Tropicultura*, 28(3): 184-189
- Koulibaly, B., Traore, O., Dakuo, D., Lalsaga, R., Lompo, F. et Zombré, N.P., 2014. Acidification des sols ferrugineux et ferrallitiques dans les systèmes de production cotonnière au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(6): 2879-2890
- Labiyi, I.A., Sigué, H., Ouattara, D.C., Traoré, O.M. et Koura, D., 2019. Effet des pratiques innovantes endogènes de gestion durable des terres sur la performance technico-économique du réseau de producteurs dans la commune de Mani au Burkina Faso. *Afrique SCIENCE*, 15(1): 432-447
- Lélé, N.B. 2016. Potentiel d'amélioration de la fertilité des sols sableux et acides de Kinshasa (RDC) par l'usage du charbon des bois (biochar), de la biomasse végétale et des engrains minéraux. Thèse de doctorat. Université de Liège, Belgique, 196
- Liniger, H.P., Mekdaschi Studer, R., Hauert, C. et Gurtner, M., 2011: La pratique de la gestion durable des terres. Directives et bonnes pratiques en Afrique subsaharienne. *TerrAfrica, Panorama mondial des approches et technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)*, 249 p.
- Lokossou, R.S., Akouehou, G.S., Avononmadegbé, M.L. et Mattilo, O.A., 2018. Modes de gestion des terres dans la zone tampon de la réserve de biosphère de la Pendjari. *J. Appl. Biosci.*, 124: 12433-12445
- Lompo, D.J.P., Yé, L., Balboné, B. et Sori, S.I., 2021. Effets combinés du biocharbon et du fumier sur les propriétés physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical sous culture de mil en zone semi-aride du Burkina Faso. *J. Appl. Biosci.*, 157: 16161-16181
- MAAH, 2018. Situation de référence des terres dégradées et de la CES au Burkina Faso : rapport final. Ouagadougou, Burkina FAO, 142 p.

- MAAH, 2019. Stratégie nationale de Restauration, Conservation et Récupération des sols au Burkina Faso 2020-2024. Ouagadougou, Burkina Faso, 59 p
- MAAH et GIZ, 2020. Catalogue de fiches techniques des mesures d'amélioration de la fertilité des sols, Ouagadougou, Burkina Faso, 66 p.
- MASA, 2013. Formulation du plan national d'adaptation aux changements climatiques du Burkina Faso : Volet sectoriel agriculture. Ouagadougou, Burkina Faso, 123 p
- MEFD, 2020. Cinquième Recensement Général de la Population et de l'Habitat : Résultats préliminaires. Ouagadougou, Burkina Faso, 55 p.
- Nkonya, E., Anderson, W., Kato, E., Koo, J., Mirzabaev, A., von Braun, J. et Meyer, S., 2016. Global cost of land degradation. In: Nkonya, E., Mirzabaev, A., von Braun, J. (Eds.), *Economics of Land Degradation and Improvement -A Global Assessment for Sustainable Development*. Springer International Publishing, Cham, pp. 117-165.
- Noufé, F., Coulibaly, K., Kambou, A., Traoré, S. et Tankoano, H., 2018. Analyse agro-économique des technologies de maintien et d'amélioration de la fertilité des sols dans la zone cotonnière de Dano (Burkina Faso). *Tropicultura*, 36(4) : 748-761
- Ouédraogo, A.R., Kambiré, F.C., Kestemont, M-P. et Bielders, L. C., 2019. Caractériser la diversité des exploitations maraîchères de la région de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso pour faciliter leur transition agroécologique. *Cah. Agric.*, 28-20
- Ouédraogo, B., Kaboré, O. et Kaboré, M., 2019. Cartographie quantitative de l'érosion des sols par approche SIG/RUSLE dans la Commune de Karangasso vigué (Burkina Faso). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13(3): 1638-1653
- Ouédraogo I., 1994. Géologie et hydrogéologie des formations Sédimentaires de la boucle du Mouhoun (Burkina Faso). Thèse de Doctorat de 3ème cycle en géologie, Université Cheick Anta Diop, Dakar, Sénégal, 159p
- Ouédraogo, R.A., 2019. Impact des pratiques de gestion de la fertilité sur la qualité des sols sous cultures maraîchères à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Thèse de Doctorat, Université Catholique de Louvain, Belgique, 129p.
- Pandit, N.R., Mulder, J. et Cornelissen, G., 2018. Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil. *Science of the Total Environment* 625, 1380-1389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.022>
- Pasiecznik, N. et Reij, C.(eds.). 2021. Restoring African Drylands. Tropenbos International, Ede, Pays-Bas. viii + 292 p
- Phillips, C.J., Marden, M., Lambie, S.M., Watson, A., Ross, C.W. et Fraser, S., 2013. Observations of below-ground characteristics of young redwood trees (*Sequoia sempervirens*) from two sites in New Zealand - implications for erosion control. *Plant Soil*, 363:33-48

- Pouya, M.B., Savadogo, M.O., Ouédraogo, J., Sermé, I., Vognan, G., Dakuo D. et Sédogo M. P., Lompo, F., 2020. Déterminants socio-économiques de la dégradation des sols et de l'adoption des technologies de gestion de la fertilité des sols selon les perceptions paysannes dans les zones cotonnières du Burkina Faso. Asian Journal of Science and Technology, 11(06):11003-11011
- Prapagdee, S et Tawinteung, N., 2017. Effects of biochar on enhanced nutrient use efficiency of green bean, *Vigna radiata* L. Environ. Sci. Pollut. Res. Int.; 24(10):9460-9467. doi: 10.1007/s11356-017-8633-1
- Predotova, M., Gebauer, J., Diogo, R. V. C., Schlecht, E. et Buerkert, A., 2010. Gaseous nitrogen and carbon emissions from urban gardens in Niamey, Niger. Field Crops Res. 115: 1 - 8.
- Prost, K., Borchard, N., Siemens, J., Kautz, T., Séquaris, J.M, Möller, A. et Amelung, W., 2013. Biochar Affected by Composting with Farmyard Manure. J. Environ. Qual., 42: 164-172
- Roose E. 2017. Potentiel du paillage pour réduire l'érosion et restaurer la productivité des sols tropicaux : une revue en Afrique francophone. In Restauration de la Productivité des Sols Tropicaux et Méditerranéens. Contribution à l'Agroécologie. IRD Edition ; 191-199. DOI: 10.1684/agr.2010.0412
- Sadi, S.M., Saidou, A.K., Boubé, M. et Aune, J.B., 2020. Effets de la Fertilisation à Base de la Biomasse du *Sida cordifolia* L. sur les Performances Agronomiques et la Rentabilité Économique de la Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en Culture Irriguée. European Scientific Journal 16(3): 1857-7881
- Sanou, K.; Amadou, S., Adjegan, K. et Tsatsu, K.D., 2018. Perceptions et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles aux changements climatiques au nord-ouest de la région des savanes du Togo. Agronomie Africaine, 30 (1) : 87-97
- Santoro, A., Venturi, M., Bertani, R. et Agnoletti, M., 2020. A Review of the Role of Forests and Agroforestry Systems in the FAO Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) Programme. Forests, 11, 860.
- Sartori, M., Philippidis, G., Ferrari, E., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L. et Panagos, P. 2019. “A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion”. Land Use Policy, 86: 299–312.
- Savadogo, M., Somda, J., Seynou, O., Zabré, S. et Nianogo, A. J. (eds) (2011). Catalogue des bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso : UICN Burkina Faso. 52 p.
- Schlecht, E. et Buerkert, A., 2004. Organic inputs and farmer's management strategies in millet fields of western Niger. Geoderma, 121, 271-289
- Schmidt, H. P., Pandit, B. H., Cornelissen, G. et Kammann, C. I. 2017. Biochar-Based Fertilization with Liquid Nutrient Enrichment : 21 Field Trials Covering 13 Crop Species in Nepal. L. Degrad. Dev. 28, p : 2324-2342

- Schmidt, H-P., Pandit, B.H., Martinsen, V., Cornelissen, G., Conte, P. et Kammann, C.I., 2015. Fourfold increase in pumpkin yield in response to low-dosage root zone application of urine-enhanced biochar to a fertile tropical soil. *Agriculture*, 5: 723-741
- Schulz, H., Dunst, G. et Glaser, B., 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 817-827
- Soltner, D., 2007. Les bases de la production végétale. Tome II. Le climat : climatologie-pédologie-conservation des sols, phytotechnie générale. Collection Sciences et techniques agricoles. 9e édition, 328p
- Soumana, A.M., Abdou, M.M. et Mayaki, Z.A., 2020. Contraintes d'adoption des innovations technologiques de récupération des sols dans la production agricole : cas de Ouallam dans l'Ouest du Niger. *Afrique SCIENCE* 16(3) :186-199
- Steiner, C., Das, K.C., Melear, N. et Lakly, D., 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *Journal of Environmental Quality*, 39(4): 1236-1242
- Taupin, J. D., M. A.S., Smati A.M., Kaboré Komi, R.A., Galbané, M. A., Koné, M.S., Thiam, M. A., Hmeyade, L.B.M. et Bacar, S. H., 2017. Bassin de Taoudeni, rapport sur le projet régional de coopération technique raf/7/011. 136 p
- Tchuenteu, T.L., Derogoh, N.A.N. et Megueni C., 2021. Influence de différentes doses de compost sur la production du ricin (*RicinuscommunisL.*) sous climat Soudano-Guinéen de l'Adamaoua-Cameroun. *J. Exp. App. Tropic. Bio.*, 1(1) : 9-20
- Tingueri, L. B., Bougouma-Yameogo, V.M.C. et Blanchard, M., 2019. Évaluation de la durabilité des pratiques hors normes de gestion de la fumure organique dans l'Ouest du Burkina Faso. In : Les zones cotonnières africaines : Dynamiques et durabilité. Acte du colloque de Bamako. Soumaré Mamy (ed.), Havard Michel (ed.). CIRAD, IER, USSGB. Bamako : Edis, Résumé, 365-379. ISBN 978-99952-56-98-2 Colloque international sur les dynamiques et durabilité des zones cotonnières africaines, Bamako, Mali, 21 Novembre 2017/24 Novembre 2017
- Touré, M.A., Ngom, S., Faye, E., Sanogo, D. et Diatta, M., 2018. Effets du compost de filao (*Casuarina equisetifolia*) enrichi sur les rendements des cultures maraîchères dans la zone des Niayes au Sénégal. *Rev. Sci. Technol.*, 37: 39-48
- Traoré, A., Yaméogo, L. P., DA, I. A. N., Traoré, K., Bazongo, P. et Traoré, O.,2020. Effet de la formule unique d'engrais 23-10-05 +3,6S+2,6Mg+0,3Zn sur le rendement du maïs Barka dans la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso. *Afrique SCIENCE* 16(1) 260-270
- Traoré, S. et Requier-Desjardins, M., 2019. Etude sur l'économie de la dégradation des terres au Burkina Faso. Initiative ELD, Bonn, Allemagne, 89 p
- Traoré, S., Ouattara, K., Ilstedt, U., Schmidt, M., Thiombiano, A., Malmer, A. et Nyberg, G., 2015. Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in

- two soil types of a semi-arid landscape in West Africa Geoderma, 241(242): 330-338.
- UNCCD, 2016. La grande muraille verte. L'espoir pour le Sahara et le Sahel, Bonn, Allemagne, 22 p
- Valentin, C., 2021. Défendre les sols pour nourrir le monde. in : Sébastien Abis éd., Le Déméter IRIS éditions, pp. 115-138.
- Vandecasteele, B., Sinicco, T., D'Hose, T., Vanden Nest, T. et Mondini, C., 2016. Biochar amendment before or after composting affects compost quality and N losses, but not P plant uptake. J. Environ. Manag., 168, 200-209
- Wang, M., Awasthi, M.K., Wang, Q., Chen, H., Ren, X., Zhao, J., Li, R. et Zhang, Z., 2017. Comparison of additives amendment for mitigation of greenhouse gases and ammonia emission during sewage sludge co-composting based on correlation analysis. Bioresource Technology 243: 520-527
- Wei, L., Wang, S., Zhang, J. et Xu, T., 2014. Biochar influences the microbial community structure during tomato stalk composting with chicken manure. Bioresource Technology, 154: 148-154
- Yanai, Y., Toyota, K. et Okazaki, M. 2007. Effects of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. Soil Science and Plant Nutrition, 53, p : 181-188.
- Zombré, P. N. 1984. Les sols développés sur roches à complexe d'altération montmorillonitique et kaolinitique dans le centre sud de la Haute Volta (caractères et fertilité). Thèse de doctorat de troisième cycle, Université de Droit, d'Economie et de Sciences d'Aix-Marseille III), France, 368p

Chapitre 2

**Caractéristiques agro-pédologiques des sols
sous culture à l'ouest du Burkina Faso**

Chapitre 2. Caractéristiques agro-pédologiques des sols sous culture à l'ouest du Burkina Faso

2. Parent material drive soil controls on agronomic performance in a cotton-corn cropping system in Western Burkina Faso

Drissa Cissé^{*1-2-3}, Mamadou Traoré¹, Jean Thomas Cornelis²⁻⁴ Fatimata Saba¹⁻², Hamado Sawadogo⁵, Kalifa Coulibaly¹, Hassan Bismarck Nacro¹

¹Soil fertility study and research laboratory, Rural Development Institute (IDR), University Nazi BONI (UNB), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

² TERRA Teaching and Research Centre, Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liege, Gembloux, Belgium

³Ministry of Agriculture and Hydro-agricultural Developments, Burkina Faso

⁴ Faculty of Land and Food Systems, The University of British Columbia, Vancouver, BC, V6T 1Z4 Canada

⁵ Environmental and Agricultural Research Institute, Ouagadougou, Burkina Faso
(En cours de soumission à *Geoderma Regional*)

Abstract

The alteration intensity and duration of tropical soils implies physico-chemical characteristics that are very restrictive in terms of their agronomic aptitudes. The objective of this study is to assess the impact of parent material on the morphological, physical and chemical characteristics of soils and their implications for the agronomic suitability. We study granodiorite and a sandstone geological zones with very distinct characteristics and where the impacts of the parent material on pedogenesis are not negligible. Six (6) soils profiles by geological zone were described and sampled by horizons leading to physico-chemical analyses on twenty-four (24) soil samples. The results of the profile descriptions indicate that the soils are lixisols and plinthosols. The results of the physico-chemical parameters show 47% and 28% clay content in lixisol and plinthosol formed on sandstone material compared to 26% and 7% in the lixisols and plinthosol on granidioritic material. Organic carbon, available calcium and cation exchange capacity are higher in Lixisol formed on sandstone material compared to lixisols on granidioritic material. However, pH water, available phosphorus and iron_dcb are higher in plinthosols on granidioritic material compared to plinthols on sandstone. The textures are clayey in all lixisols-on-Sandstone (GREL). In lixisols-on-Granodiorite the textures are sandy-clay-loam. In the case of plinthosols, the textures on sandstone material are sandy-clay-loam whereas on granidioritic material they are loamy-sand. In terms of agronomic suitability, the shallow effective depth coupled with low base saturation make Plinthosols unsuitable

for cotton and maize cultivation regardless of the geological context. Moreover, the soil properties studied to assess agronomic suitability clearly show a better aptitude for lixisols developed on sandstone material compared to those developed on granodioritic material. Our study thus shows the importance of integrating the geological context of pedogenesis with a view to optimizing agricultural practices.

Keywords: pedogenesis, environmental factors, geology, soil types, agronomic suitability, Burkina Faso

2.1. Introduction

Les caractéristiques physico-chimiques des sols tropicaux représentent une contrainte agronomique très importante. En effet, ces sols issus de la pédogénèse tropicale présentent, de façon générale, une faible teneur en matière organique, en azote et en phosphore assimilable comparativement à ceux développés dans les zones tempérées (Kaboré *et al.*, 2020). Ils sont aussi caractérisés par la présence de cuirasses ferrugineuses apparaissant à une profondeur variant entre 20 et 100 cm en zone tropicale d'Afrique de l'Ouest. Ces cuirasses limitent les profondeurs d'enracinement (Auroret *et al.*, 2005 ; Metelkaa *et al.*, 2011). En plus des limitations de la profondeur d'enracinement, la ferruginisation induit une très faible réserve en nutriments et une très faible capacité d'échange cationique (CEC) qui se situe entre 3,5 et 6,0 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Berger *et al.*, 1987 ; Pallo *et al.*, 2008 ; Pallo *et al.*, 2009 ; Traoré *et al.*, 2019). En outre, on note une immobilisation fréquente du phosphore dans ces sols due à la présence d'oxydes de Fer (Chadwick *et al.*, 1999 ; Vitousek *et al.*, 2010 ; Augusto *et al.*, 2017). Malgré ces limitations, les agriculteurs exploitent ces sols en vue de produire des denrées alimentaires pour nourrir une population en constante augmentation. Ces contraintes physico-chimiques limitent fortement la productivité des sols et constituent, de ce fait, un défi majeur à relever dans la zone climatique tropicale d'Afrique (Adam *et al.*, 2020 ; Ayeni *et al.*, 2021). Comprendre l'origine de ces contraintes agronomiques en fonction des facteurs et processus pédogénétiques est d'une importance capitale. Elle permettra de mettre en place des approches novatrices à même d'optimiser l'utilisation durable de ces sols aux fins agricoles. Si plusieurs auteurs ont montré l'impact du climat sur ces contraintes agronomiques (Pedro Sanchez *et al.*, 1992 ; Gobat *et al.*, 2013 ; Augusto *et al.*, 2017 ; Onana *et al.*, 2018), peu d'étude ont porté sur le rôle spécifique du matériau parental. La région Ouest du Burkina Faso sous climat de savane tropicale représente donc une zone d'intérêt pour étudier l'impact particulier du matériau parental sur l'aptitude agronomiques des sols sous cultures permanentes.

2.2. Matériel et Méthodes

2.2.1. Description des sites d'étude

L'étude a été conduite à Koumbia ($11^{\circ}14'10.5''\text{N}$ et $3^{\circ}41'46.9''\text{W}$) et Massala ($12^{\circ}31'42.3''\text{N}$ et $3^{\circ}25'15.5''\text{W}$) dans l'Ouest du Burkina Faso (Figure 10). Ces sites ont été choisis en raison de la diversité de matériaux parentaux sur lesquels les sols se

sont développés et de la pratique du même type de rotation coton-maïs. Le climat de ces zones est de type tropical sec marqué par une saison sèche de 6 à 8 mois et une saison des pluies de 4 à 6 mois. Les pluviosités annuelles oscillent entre 800 et 1200 mm/an à Koumbia (Figure 11a) et entre 700 et 1100 mm/an à Massala (Figure 11b) au cours des 12 dernières années (Figure 11). Le régime uni modal des pluies est caractérisé par une intensité centrée sur les mois de juillet et d'août. Ces dernières années on note une variation importante de la pluviosité avec une tendance de recentrage sur les mois d'août et septembre (Coulibaly *et al.*, 2012). La végétation est constituée de savanes arborées et arbustives, de parcs arborés dans les zones agricoles, de forêts claires et de galeries le long des cours d'eau ou des drains (Fontes et Guinko, 1995 ; Ngo Makak *et al.*, 2018). Les espèces ligneuses les plus fréquentes sont *Adansonia digitata* L., *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill & Perr., *Faidherbia albida* (Del.) Chev., *Isoberlinia doka* Craib et Staph., *Lannea microcarpa* Engl. & Krause, *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don, *Piliostigma thonningii* (Schumach.) Milne-Redh., *Terminalia avicennioides* Guill & Perr., *Vitellaria paradoxa* (Gaerthn. F.) (Cissé *et al.*, 2018). Les sols dominants dans les deux villages sont les lixivisols (SP CONEDD, 2012)

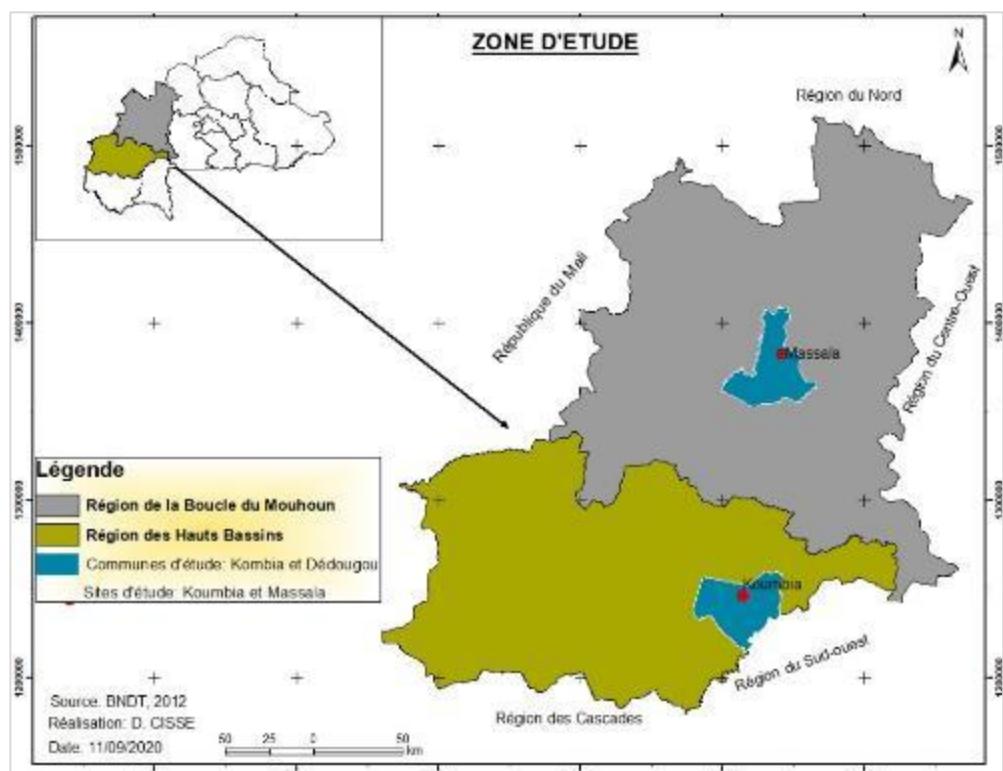


Figure 10: Localisation des sites d'étude

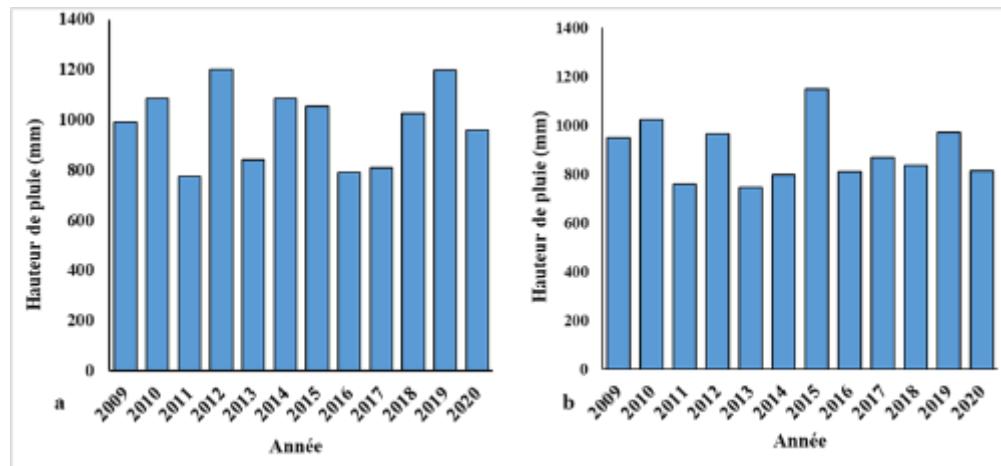


Figure 11: Pluviométrie de Koumbia et Massala de 2009 à 2020

Les données géologiques montrent que la zone de Koumbia est située dans la ceinture de roche verte de Houndé qui est strictement orientée Nord-Nord-Est et Sud-Sud-Ouest, et les formations géologiques sont dominées par des basaltes associant des gabbros (Ilboudo *et al.*, 2018). Ces formations basaltiques forment un complexe volcano-sédimentaire au sein duquel se trouvent de rares intrusions de granodiorite bien circonscrit (Metelka *et al.*, 2011). Ces intrusions de granodiorite sont localisées dans le territoire du village de Koumbia, avec une teneur en quartz comprise entre 20 et 40% (Koffi *et al.*, 2016 ; Ilboudo *et al.*, 2018). La zone de Massala, quant à elle, est située dans le bassin de Taoudéni constitué par un ensemble de formations sédimentaires essentiellement gréseux datant du précambrien supérieur (De Gramont *et al.*, 2017). C'est le plus grand bassin sédimentaire avec une superficie estimée à 45000 km². Le socle est formé essentiellement de grès de Sotuba et de grès à granules de quartz. Les grès de Sotuba ou grès fins glauconieux sont des grès de couleur rose à crème, glauconieux, interlit de siltites et d'argilites brunâtres à verdâtres alors que les grès à granules de quartz sont des grès fins de couleur rose à granules de quartz avec localement des passées plus grossières. Le quartz constitue la fraction dominante (40%) (Ouédraogo, 1994).

Les substrats géologiques des sites de Koumbia et Massala sont constitués respectivement du socle birrimien datant du précambrien D et de la couverture sédimentaire Néoprotérozoïque du précambrien A de l'ouest du Burkina Faso (Castaing *et al.*, 2003) (Figures 12 et 13).

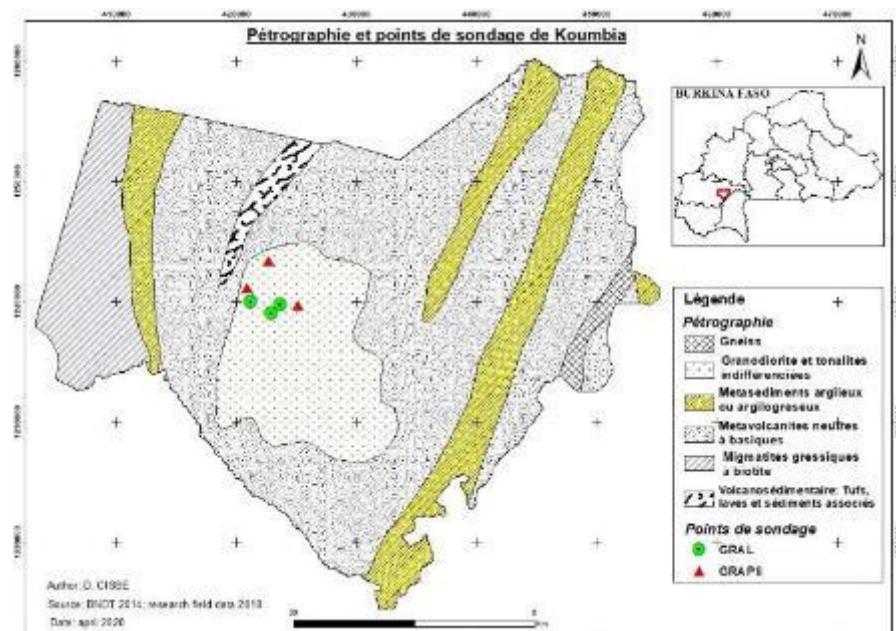


Figure 12: Pétrographie et points de sondage à Koumbia

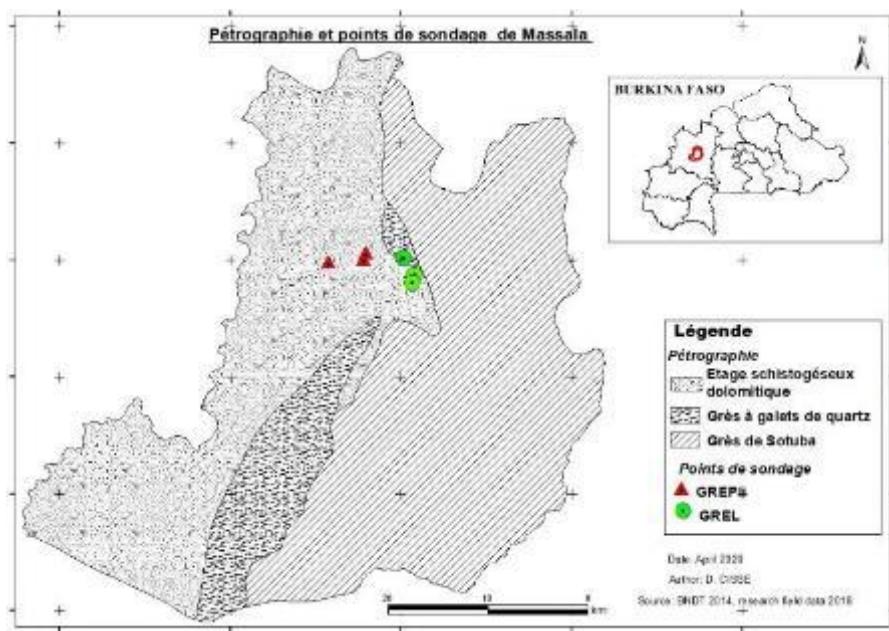


Figure 13: Pétrographie et points de sondage à Massala

Malgré une différence de socle géologique, les sites de Koumbia et de Massala ont une couverture pédologique identique (Figures 14 et 15). Les unités pédologiques appartiennent au groupe des sols ferrugineux tropicaux. L'une de leur caractéristique principale est la richesse en oxyhydroxyde de fer et de manganèse selon la classification CPCS de 1967.

A Koumbia tout comme à Massala, les sous-groupes rencontrés sont principalement les sols ferrugineux tropicaux lessivés, les sols bruns eutrophes, les sols hydromorphes à pseudo Gley de surface ainsi que les lithosols sur cuirasse. Selon la classification WRB (2015), ces sols correspondent respectivement aux lixivisols, cambisols, gleysols et plinthosols.

Sur le plan agronomique, les sols hydromorphes et les plinthosols sont classés dans la catégorie des sols à risque élevé pour la culture des céréales (maïs, sorgho, mil) et du coton. Les limitations objectives pour les plinthosols sont la faible profondeur effective et le faible niveau de fertilité (teneur en matière organique < à 10 g.kg⁻¹). Les limitations des gleysols est liée au risque élevé d'engorgement (CILSS, 2001 ; Da *et al.*, 2008).

Quant aux sols bruns eutrophes ou cambisols et les ferrugineux tropicaux lessivés ou lixivisols, ils sont classés dans la catégorie des sols bons à moyens car ils ont une valeur agricole bonne à moyenne. Ils sont profonds à moyenement profonds. Par contre, leur limitation est liée à leur faible fertilité, leur teneur élevée en oxyhydroxyde de fer et d'aluminium, augmentant ainsi le risque d'acidification. (Pallo et Thiombiano, 1989 ; Traoré *et al.*, 2019).

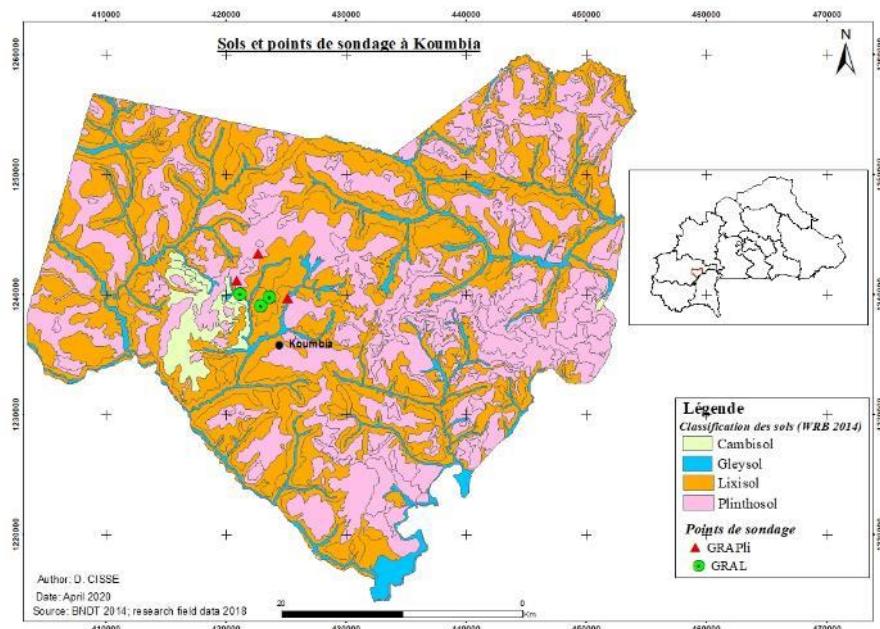


Figure 14: Sols et points de sondage à Koumbia

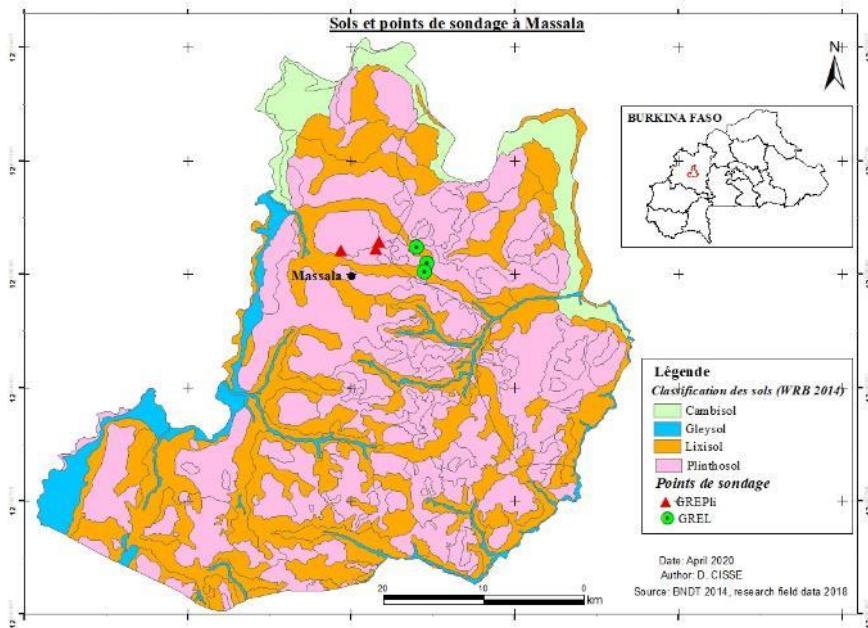


Figure 15: Sols et points de sondage à Massala

2.2.2. Caractérisation des sols

Un ensemble de vingt-quatre (24) parcelles ont été sélectionnées selon les critères suivants : - culture permanente depuis au moins 15 ans ; - pratiques agricoles similaires : système de rotation coton-maïs, fertilisation organo-minérale (Tableau 1), agroforesterie dont les principales essences sont *Faidherbia albida* (Del.) Chev, *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don, *Lannea mirocarpa* Engl. & Krause, *Vitellaria paradoxa* (Gaerthn. F.). Les coordonnées géographiques de ces parcelles ont été relevées et projetées sur les cartes géologiques et pédologiques des deux zones d'étude. Nous avons sélectionné des parcelles représentatives des deux principaux types de sols (lixisol et plinthosol) et développés sur deux matériaux parentaux contrastés: un substrat granodioritique à Koumbia et un substrat gréseux à Massala. Une sélection aléatoire de six (6) parcelles par site réparties sur les deux types de sols étudiés (3 lixisols et 3 plinthosols) a été faite pour une description détaillée des profils pédologiques. Dans la présente étude les lixisols (IUSS Working Group WRB, 2015) développés sur substrat granodioritique ont été codifiés par GRAL et les lixisols sur substrat gréseux par GREL. Les plinthosols issus de matériaux granodioritiques ont été désignés par GRAPli et GREPli pour ceux développés sur substrat gréseux.

Les différents sols ont été décrits en saison sèche à l'aide d'une fiche de description pédologique sur laquelle les caractéristiques morphologiques importantes ont été notées. L'épaisseur des horizons déterminée à l'aide d'un mètre ruban, la couleur à l'aide du code Munsell version 2009. La texture, la structure du sol, le taux et la nature des éléments grossiers, la consistance, la transition entre horizons ont été appréciés à la vue et au toucher.

Les horizons de chaque fosse pédologique sur GRAL et GREL ont été regroupés en trois types : l'horizon de surface ou horizon organo-minéral " AEh ", l'horizon éluvial (E), et l'horizon illuvial (Bt). Les plinthosols (GRAPLi et GREPLi) ont été caractérisés par un seul horizon organo-minéral de surface (AEh).

Des échantillons de sol ont été collectés dans chaque horizon pédologique à raison de cinq cents (500) g par horizon dans une direction ascendante (bottom up) pour éviter la pollution de l'horizon sous-jacent. Vingt-six (26) échantillons ont été prélevés dans les douze (12) profils de sol, emballés et étiquetés, avant d'être séchés et tamisés pour effectuer la caractérisation physico-chimique sur des sols fins < 2mm.

Tableau 1:Pratiques agricoles sur les parcelles échantillonnées

Site	Code	Type de sol	Type de rotation	Quantité moyenne fumure organique apportée tous les deux ans de 2014-2017 (t.ha ⁻¹)	Quantité moyenne fumure minérale apportée sur le coton de 2013-2017 (kg.ha ⁻¹)	
					NPK	Urée
Koumbia	K14	Lixisol	Coton-maïs	2,4	100	50
	K29	Lixisol	Coton-maïs	3,09	100	50
	K34	Lixisol	Coton-maïs	3,5	150	50
	K17	Plinthosol	Coton-maïs	2,7	100	50
	K24	Plinthosol	Coton-maïs	2,1	150	50
	K27	Plinthosol	Coton-maïs	2,3	75	50
Massala	M19	Lixisol	Coton-maïs	3,5	150	50
	M25	Lixisol	Coton-maïs	2,7	100	50
	M30	Lixisol	Coton-maïs	2,3	100	50
	M12	Plinthosol	Coton-maïs	1,8	150	50
	M14	Plinthosol	Coton-maïs	2,1	100	50
	M15	Plinthosol	Coton-maïs	1,8	100	50

Source : enquête terrain 2019

2.2.3. Analyse des sols

La granulométrie du sol a été déterminée par la méthode de sédimentation par gravité (NF X 31-07) (Dumer *et al.*, 2017). L'acidité réelle et potentielle du sol a été quantifiée en mesurant le pH dans H₂O et dans une solution de CaCl₂ 0,01 M respectivement, et au ratio de 1:5 poids du sol par rapport au ratio extrait-volume (ISO 10390) (AFNOR, 2005). Les teneurs en carbone organique (C_{org}) et en azote total (N_{tot}) ont été évaluées par spectrométrie proche infrarouge (ISO 10694) (AFNOR, 1995) après combustion sèche flash (ISO 13878) (AFNOR, 1998). Les teneurs en éléments disponibles (P, Ca, K, Mg) ont été déterminées par extraction à l'acétate d'ammonium-EDTA 1M (pH = 4,65) (Lakanen et Erviö, 1971) et quantification par

spectrophotométrie d'absorption atomique (Ca, K, Mg) et par spectrophotométrie pour P (De Olivera *et al.*, 2000). La capacité d'échange cationique (CEC) et les cations échangeables ont été déterminés à l'aide d'une solution de trichlorure de cobaltihexammine ($\text{Co}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_3$) (ISO 23470) (Aran *et al.*, 2008). L'évaluation de la quantité de Fe sous forme essentiellement d'oxydes de Fe amorphes, a été réalisée par extraction à l'oxalate d'ammonium-acide oxalique, ayant le potentiel de chélater le Fe présent sous forme amorphe et/ou complexé à la matière organique selon la méthode de Tamm (Rennert, 2019). La quantité de Fe sous forme essentiellement cristalline, a été évaluée par extraction au dithionite-citrate-bicarbonate (DCB) selon la méthode de Mehra et Jackson (1960).

2.2.4. Evaluation des classes de fertilité chimique des sols

Pour déterminer les classes de fertilité et les performances agronomiques des sols étudiés, la moyenne pondérée des paramètres chimiques de chaque sol a d'abord été calculée selon la formule suivante (Traoré *et al.*, 2019) :

$$\text{Mp} = (((D1*C1)+(D2*C2)+\dots+(Dn*Cn)))/((D1+D2+\dots+Dn)).$$

Mp = Moyenne pondérée par les paramètres

D (cm) = profondeur de l'horizon

C = Concentration du paramètre chimique considéré

D1+D2+... + Dn= horizon du sol

La moyenne des paramètres chimiques par type de sol a été calculée afin de déterminer les classes de fertilité des sols. La gamme minimum pour apprécier la classe de fertilité a été utilisée (BUNASOLS, 1990). Les paramètres du sol considérés dans cette gamme sont la teneur en matière organique (MO), la somme des bases échangeables (SBE), et l'acidité actuelle (pH-H₂O). Chaque valeur moyenne pondérée des paramètres étudiés se voit attribuer une note allant de 1 à 5 selon le niveau de valeur des attributs du sol (Tableau 2). La somme des notes définit la classe de fertilité. La teneur en carbone organique (CO) des différents sols a été multipliée par le coefficient 1,72 puis exprimée en g/100g pour déterminer le taux de matière organique (MO en %) (Pansu et Gautheyrou, 2003).

Tableau 2: Classe de fertilité des sols au Burkina Faso (BUNASOLS, 1990)

Paramètres	Classe (interprétation) pour chaque paramètre				
	Très bas	Bas	Moyen	Elevé	Très élevé
MO	%	<0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0
	Cotation	1	2	3	4
SBEs	cmol+/kg	<1	1-6	6-11	11-16
	Cotation	1	2	3	4
pH-H ₂ O	Valeur	<4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0
	Cotation	1	2	3	4
Somme des Cotations		<4,4	4,5-7,5	7,6-10,5	10,6-13,5
Classes de fertilité des sols	Très bas	bas	Moyen	Elevé	Très élevé

Pour la détermination de la performance agronomique, la méthode de la gamme réduite a été utilisée (BUNASOLS, 1990). Les caractéristiques du sol sont comparées

aux besoins des cultures, et la classe d'aptitude à la performance globale du sol est attribuée en fonction des caractéristiques physico-chimiques les moins favorables et des pratiques de gestion durable des terres, pour supprimer la contrainte (BUNASOLS, 1990). Les paramètres considérés sont la profondeur effective, la somme des bases échangeables, et l'acidité actuelle du sol ($\text{pH-H}_2\text{O}$) (Tableau 3). Les paramètres climatiques (extension de la saison des pluies, pluviosité annuelle et température moyenne pendant la période de culture), qui ne constituent pas un facteur limitant pour la culture du coton et du maïs dans notre zone d'étude, n'ont pas été considérés.

Tableau 3: Classes d'aptitudes agronomiques des sols du Burkina Faso (BUNASOLS, 1990)

Paramètres	Cultures	Classes d'aptitude			
		Très apte: S1	modérément apte: S2	marginalement apte: S3	Inapte : N
Profondeur effective (cm)	Coton	>100	75-100	50-75	<50
	Maïs	>100	75-100	50-75	<50
SBE ($\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$)	Coton	>15	10-15	5-10	<5
	Maïs	>15	10-15	5-10	<5
$\text{pH-H}_2\text{O}$	Coton	6,5-7,5	6,0-6,5	5,5-6,0	<5,5
	Maïs	6,0-7,0	5,5-6,0	5,0-5,5	<5,0

2.2.5. Analyses statistiques

Le logiciel Arcgis 10.7.1 fourni par l'Université de Liège, a été utilisé pour générer les cartes. Les moyennes ont été comparées aux seuils de référence (Tableau 2) afin de déterminer les classes de teneur de ces éléments dans les types de sols. Le logiciel R version 3.6.2 a ensuite été utilisé pour effectuer les analyses statistiques. La comparaison des moyennes des variables a été faite en utilisant la différence significative honnête (HSD) de Tukey au seuil de 5%, lorsque l'analyse de la variance a révélé des différences significatives entre les traitements. Des tests de corrélation de Pearson au seuil de 1% ont été réalisés afin de terminer la présence ou l'absence d'une relation linéaire entre la CEC et la teneur en MO et entre la CEC et la teneur en argile des sols étudiés. La faible taille de l'échantillon ($n=6$) justifie le choix du seuil de validité de 1% (Grasland, 1998).

2.3. Résultats

2.3.1. Description morphologique des sols

La description morphologique du sol ne montre pas de différence fondamentale pour un même type de sol entre les deux situations géologiques (type granodiorite et type grès). Les lixivisols ont une topographie environnante presque plate et parfois ondulée. Ces sols sont caractérisés par de bonnes conditions de drainage et ont une profondeur moyenne supérieure à 100 cm. La surface du sol est marquée par la présence de fragments grossiers ferrugineux. L'érosion d'origine hydrique se concentre principalement dans les ravines et dans certains cas sous forme d'érosion en nappe.

Les plinthosols ont une topographie environnante presque plate sur les deux sites géologiques. Ce sont des sols bien drainés ; les fragments grossiers de surface sont principalement des graviers et des blocs ferrugineux. L'érosion due à l'eau se concentre sous forme de ravines. La profondeur du sol ne dépasse guère 30 cm en moyenne en raison de l'induration ferrugineuse.

Les horizons organo-minéraux (AEh) (0-30 cm) des lixivisols développés sur du matériel granodioritique sont dans la gamme unique 10YR du code Munsell, alors que ceux sur substrat gréseux sont dans la gamme 7,5YR et 10YR (Tableaux 4 et 5). Les couleurs sont brunes- jaunâtres- claires (10YR6/4) à l'état sec et brun jaunâtre (10YR5/4) à l'état humide pour le GRAL tandis que celles du GREL sont brun (7,5YR5/4) à brun jaunâtre (10YR5/6) à l'état sec et brun jaunâtre foncé (10YR4/6) à l'état humide. Ils ont en commun des structures polyédriques subangulaires bien développées dans les éléments grossiers, moyens et fins. Les consistances sont généralement dures. Les pores sont nombreux et couvrent une large gamme de tailles : de très fins à larges. L'abondance des galeries des macrofaunes indique une activité biologique assez développée. Les limites des horizons sont graduelles et souvent distinctes. Dans l'horizon éluvial (E) (30-70cm) et l'horizon illuvial (Bt) (>70cm), les couleurs sont dans la gamme unique 10YR dans les deux sites. Dans ces horizons E et Bt les couleurs varient du brun jaunâtre clair (10YR6/4) au jaune brunâtre (10YR6/6) à l'état sec et du brun jaunâtre foncé (10YR4/6) au brun jaunâtre (10YR5/4) à l'état humide des GREL, alors que dans les horizons E et Bt du GRAL, les couleurs vont du brun jaunâtre clair (10YR6/4) et brun clair (10YR6/3) à l'état sec au brun (10YR5/3) et brun jaunâtre (10YR5/4) à l'état humide. Les structures sont subangulaires polyédriques et bien développées en éléments grossiers, moyens et fins. Le fer sous forme de concrétions ferrugineuses, est présent à des niveaux plus élevés que les horizons sus-jacents (20 à 50%). Les consistances sont généralement dures. Elles présentent de nombreux pores avec une large gamme de tailles de pores. Les racines sont peu nombreuses. Les activités biologiques sont bien développées.

Les couleurs des horizons AEh des plinthosols des deux sites sont dans la gamme 10YR (Tableaux 6 et 7). Leur couleur à sec varie du brun clair (10YR6/3) au brun grisâtre (10YR5/2). Lorsqu'elles sont humides, les couleurs varient de brun foncé (10YR3/3) à brun grisâtre (10YR5/2) ou brun jaunâtre (10YR5/4). Les structures sont subangulaires polyédriques et bien développées en éléments grossiers, moyens et fins. Le fer est également présent sous forme de concrétions ferrugineuses à des taux

variant de 15 à 60 %. Les consistances sont généralement dures. Elles présentent également de nombreux pores très fins, fins, moyens et larges et de nombreuses racines très fines, fines, moyennes et grossières. La présence abondante des galeries de la macrofaune témoigne de l'importance des activités biologiques. Les transitions sont très souvent brutales.

Tableau 4: Description morphopédologique d'un lixisol sur granodiorite (GRAL)

Profil	Horizon (cm)	Description
GRAL		
0cm 10YR6/4	AE 0-30	Couleur brun jaunâtre claire (10YR6/4 à l'état sec et brun jaunâtre (10YR5/4) à l'état humide; textures sablo-limono-argileuses; 10 à 50% de concréctions ferrugineuses; structures polyédriques sub-angulaires bien développées en éléments grossiers, moyens et fins; consistances dure; nombreux pores très fins, fins, moyens et larges; nombreuses racines très fines et fines activités biologiques bien développées; limite distincte.
30 cm 10YR6/4	E 30-70	Couleur brun jaunâtre claire (10YR6/4) à l'état sec et brun (10YR5/3) à l'état humide ; textures limono-argilo-sableuses; 25 à 50% de concréctions ferrugineuses; structures polyédriques sub-angulaires bien développées en éléments grossiers, moyens et fins; consistante dure; nombreux pores très fins, fins, moyens et souvent larges; nombreuses racines très fines et fines mais quelques fois rares; activités biologiques bien développées; limites graduelles parfois distinctes.
70 cm 10YR6/3	Bt 70-116	Couleur brun pâle (10YR6/3) à l'état sec et jaune jaunâtre (10YR5/4) à l'état humide; textures argileuses; 20 à 30% de concréctions ferrugineuses; structures polyédriques sub-angulaires bien développées en éléments grossiers, moyens et fins; consistante dure; nombreux pores très fins, fins, moyens; racines peu nombreuses très fines et fines souvent rares; activités biologiques bien développées.

Tableau 5: Description morphopédologique d'un lixisol sur grès (GREL)

Profil	Horizon (cm)	Description	
GREL			
0cm		AEh 0-30	Couleurs brun (7,5YR5/4) à brun jaunâtre (10YR5/6) à l'état sec et brun foncé jaunâtre (10YR4/6) à l'état humide; textures limono-argilo sableuses; 5% à 10% de graviers ferrugineux; structures polyédriques sub-angulaires bien développées en éléments grossiers, moyens et fins; consistances dure; nombreux pores très fins, fins, moyens et larges; nombreuses racines très fines et fines; activités biologiques bien développées; limite graduelle.
7,5YR5/4 et 10YR5/6		E	Couleur brun jaunâtre claire (10YR6/4) à l'état sec et brun foncé jaunâtre (10YR4/6) à l'état humide; textures argileuse; 30 à 50% de concréctions ferrugineuses; structures polyédriques sub-angulaires bien développées en éléments grossiers, moyens et fins; consistances dure; nombreux pores très fins, fins, moyens et souvent larges; nombreuses racines très fines et fines mais quelques fois rares; activités biologiques bien développées; limites graduelles.
30 cm		E 30-70	Couleur jaune brunâtre (10YR6/6) à l'état sec et brun jaunâtre (10YR5/4) à l'état humide; textures argileuse; 20 à 40% de concréctions ferrugineuses; structures polyédriques sub-angulaires bien développées en éléments grossiers, moyens et fins; consistances dure; nombreux pores très fins, fins, moyens et souvent larges; nombreuses racines très fines et fines mais quelques fois rares; activités biologiques bien développées.
10YR6/4		Bt	
70 cm			
10YR6/6			
109 cm		Bt 70-109	

Tableau 6: Description morphopédologique des plinthosols sur granodiorite (GRAPLi)

Profil	Horizon (cm)	Description
GRAPLi  0cm 10YR5/2 AEh 22cm Carapace ferrugineuse	AEh 0-22	Brun grisâtre (10YR5/2) à l'état sec et brun jaunâtre (10YR5/4) à l'état sec; textures sablo-limoneuses; 15 à 60% de graviers ferrugineux; structures polyédriques sub-angulaires bien développées en éléments grossiers, moyens et fins; consistance dure; nombreux pores très fins, fins, moyens et larges; nombreuses racines très fines, fines, moyennes et grosses; activités biologiques bien développées, limite abrupte.

Tableau 7: Description morphopédologique des plinthosols sur grès (GREPli)

Profil	Horizon (cm)	Description
GREPli  0cm 10YR6/3 AEh 30cm Carapace ferrugineuse	AEh 0-22	Couleur brun pâle (10YR6/3) à l'état sec et brun foncé (10YR3/3) à l'état humide; textures limono-sableuses; 40 à 60% de concrétions ferrugineuses; structures polyédriques sub-angulaires bien développées en éléments grossiers, moyens et fins; consistance dure; nombreux pores très fins, fins, moyens et larges; nombreuses racines très fines et fines; activités biologiques bien développées, limite abrupte.

2.3.2. Variation des composantes de la texture des sols en fonction du contexte géologique

La teneur moyenne en argile des profils pédologiques varie en fonction du contexte géologique (Tableau 8). Les lixivols sur grès (GREL), avec une teneur moyenne de 47%, ont des minéraux de taille argileuse plus élevée que les lixivols sur granodiorite (GRAL) qui ont une teneur moyenne de 26%. La même tendance est observée dans les plinthosols où les plinthosols sur grès (GREPli) ont une teneur moyenne en argile de 28% contre 7% pour les plinthosols sur granodiorite (GRAPli). Les teneurs en limon suivent les mêmes tendances que les argiles dans les Plinthosols, alors que la tendance inverse est observée pour la teneur en sable. Avec une teneur moyenne en sable de 47%, les GRAL une teneur élevée en sable que les GREL qui ont une teneur moyenne de 26%. Au niveau des plinthosols, les GRAPli ont une teneur moyenne en sable de 79% beaucoup plus élevé que celle des GREPli qui est de 46%.

Tableau 8: Composition granulométrique des sols selon l'origine géologique

Paramètres	Sols			
	GRAL	GRAPli	GREL	GREPli
Argile (%)	26 ($\pm 4,7$)	7 ($\pm 2,8$)	47 (± 1)	28 ($\pm 5,6$)
Limon (%)	26 (± 7)	14 $\pm 2,1$)	28($\pm 1,5$)	26 ($\pm 4,1$)
Sable(%)	48 ($\pm 5,2$)	79 ($\pm 2,9$)	25 ($\pm 2,0$)	46 ($\pm 4,8$)
Texture	Limono-argilo-sableux	Sablo-limoneux	argileux	Limono-argilo-sableux

2.3.3. Variation des propriétés chimiques des sols en fonction du contexte géologique

Le tableau 9 présente les résultats des propriétés chimiques des sols pour les deux contextes géologiques. Les teneurs moyennes en carbone organique (C_{org}) sont beaucoup plus élevées dans les sols développés sur grès que dans ceux développés sur granodiorite. Les GREL ont une teneur moyenne en C_{org} de 2,4 ($\pm 1,1$) g.kg⁻¹ de sol, alors que les GRAL ont une teneur moyenne de 1,3 ($\pm 0,7$) g.kg⁻¹ de sol. La teneur moyenne en C_{org} des GREPli est de 6 ($\pm 2,6$) g.kg⁻¹ de sol tandis que celle des GRAPli est de 3 ($\pm 0,8$) g.kg⁻¹ de sol.

Pour l'azote total (N_{tot}), les résultats montrent que la teneur moyenne des GREL en cet élément est de 0,1 g.kg⁻¹ de sol. Cette teneur est supérieure à celle des GRAL qui est de 0,03 g.kg⁻¹ de sol. L'anova a révélé une différence significative entre ces sols ($p=0,01$). Les GREPli ont une teneur moyenne en N_{tot} légèrement supérieure à celle des GRAPli. Cependant il n'y a pas de différence significative entre les sols. Concernant l'acidité potentielle du sol, les GREL ont une valeur moyenne de pH-KCL de 4,6 ($\pm 0,2$) qui est légèrement inférieure au 4,8 ($\pm 0,2$) des GRAL. Les GREPli ont une valeur moyenne de pH-KCl de 4,6 ($\pm 0,4$) contre 5,6 ($\pm 0,1$) pour les GRAPli.

L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les plinthosols des deux contextes géologiques ($p=0,01$).

La teneur moyenne en phosphore assimilable (P_{ass}) est similaire dans les lixivis des deux contextes géologiques : $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ de sol dans les GRAL et les GREL (Tableau 9). Pour les plinthosols, les GRAPLi ont une teneur moyenne en P_{ass} de 1 mg.kg^{-1} de sol contre $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ de sol pour les GREPli. L'analyse de variance a montré une différence significative entre ces sols ($p=0,008$).

Tableau 9: Caractéristiques chimiques des sols des deux contextes géologiques

Paramètres	Sols						P-value	Sig.
	GRAL	GREL						
OM	C_org (g.kg ⁻¹)	1,3 (±0,7)a	2,4 (±1,1)b	0,04	S	2,5 (±0,8)a	6,0 (±2,60)a	0,09 NS
	N_to _t (g.kg ⁻¹)	0,03 (±0,0)a	0,1 (±0,0)b	0,01	S	0,1 (±0,0)a	0,4 (±0,0)a	0,12 NS
Acidité du sol	pH-KCl	4,8 (±0,2)a	4,6 (±0,2)a	0,25	NS	5,6 (±0,1)b	4,6 (±0,4) a	0,01 S
	pH-H ₂ O	5,8 (±0,5)a	6,1 (±0,3)a	0,5	NS	6,5 (±0,1)a	6,0 (±0,4)a	0,13 NS
Eléments dispon- ables	P_ass (mg.kg ⁻¹)	0,2 (±0,1)a	0,2 (±0,1)a	0,64	NS	0,1 (±0,0)a	0,2 (±0,1)b	0,008 S
	Ca_disp (mg.kg ⁻¹)	300 (±161)a	660 (±74)b	0,02	S	251 (±100)a	405 (±240)a	0,3 NS
	K_disp (mg.kg ⁻¹)	40 (±31)a	81 (±23)a	0,14	NS	45 (±15)a	40 (±22)a	0,7 NS
	Mg_disp (mg.kg ⁻¹)	130 (±77)a	220 (±47)a	0,17	NS	36 (±6)a	86 (±42)a	0,11 NS
	Ca_éch (cmol+.kg ⁻¹)	1,5 (±1,0)a	3,0 (±0,2)a	0,07	NS	0,8 (±0,2)a	1,6 (±1,0)a	0,24 NS
complexe d'échan- ge	K_éch. (cmol+.kg ⁻¹)	0,1 (±0,09)a	0,2 (±0,1)a	0,36	NS	0,1 (±0,0)a	0,07 (±0,0)a	0,25 NS
	Mg_éch (cmol+.kg ⁻¹)	0,8 (±0,4)a	1,7 (±0,3)a	0,06	NS	0,4 (±0,1)a	0,7 (±0,3)a	0,16 NS
	CEC (cmol+.kg ⁻¹)	3,3 (±0,7)a	5,5 (±0,4)b	0,01	S	2,04 (±0,6)a	3,0 (±0,9)a	0,23 NS
	SBE (cmol+.kg ⁻¹)	3 (±1,5)a	5 (±0,4)a	0,06	NS	1,4 (±0,2)a	2,4 (±1,3)a	0,26 NS
	TSB (%)	63,3 (±20,4)a	88 (±5,2)a	0,09	NS	68,5 (±11) a	75,5 (±27)a	0,7 NS
	Fe_DCB (g.kg ⁻¹)	16 (±11,5)a	17 (±2,4)a	0,9	NS	5 (±2,5)a	17 (±5,7)b	0,02 S
Fer	Fe_ox (g.kg ⁻¹)	0,5 (±0,2)a	0,5 (±0,1)a	0,9	NS	0,4 (±0,3)a	0,5 (±0,1)a	0,6 NS

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha < 0,05$ selon le test HSD de Tukey. Sig.= signification.

La teneur moyenne en calcium disponible (Ca_disp) des GREL (660 mg.kg^{-1} de sol) est nettement plus élevée que celle des GRAL (300 mg.kg^{-1} de sol). L'analyse de la

variance a montré une différence significative entre ces sols ($p=0,02$). Dans les GREPLi la teneur moyenne est de $405 (\pm 240)$ mg.kg $^{-1}$ de sol, et elle est de $251 (\pm 100)$ mg.kg $^{-1}$ de sol dans les GRAPli. Mais l'analyse de la variance n'a pas montré une différence significative entre les plinthosols.

L'analyse du potassium disponible (K_{disp}) et du magnésium biodisponible (Mg_{disp}) n'a pas montré de différence significative entre les sols étudiés en fonction du matériau parental.

La capacité d'échange cationique (CEC) des sols développés sur grès est supérieure à celle des sols sur matériau granodioritique (Tableau 9). Au niveau des lixisols, les GREL ont une CEC moyenne de $5,5 (\pm 0,4)$ cmol+.kg $^{-1}$ alors que celle des GRAL est de $3,3 (\pm 0,7)$ cmol+.kg $^{-1}$. L'analyse de la variance montre une différence significative ($p=0,01$). La CEC moyenne du GREPLi est de $3 (\pm 0,9)$ cmol+.kg $^{-1}$ contre $2,04 (\pm 0,6)$ cmol+.kg $^{-1}$ pour le GRAPli. Deux tests de corrélation entre la CEC et la teneur en MO, d'une part et entre la CEC et la teneur en argile des lixisols étudiés d'autre part ont été réalisés. Les résultats montrent une très forte corrélation positive ($r^2=0,86$) entre la CEC et la fraction argileuse au seuil de 1% contrairement à la matière organique pour laquelle une faible corrélation positive existe ($r^2=0,016$) (Figure 16). La moyenne de la somme des bases échangeables (SBE) est de $5 (\pm 0,4)$ cmol+.kg $^{-1}$ et $2,4 (\pm 1,3)$ cmol+.kg $^{-1}$ pour GREL et GREPLi respectivement. Les sommes des bases essentielles (SBE) des GRAL et GRAPli sont respectivement de $3 (\pm 1,5)$ cmol+.kg $^{-1}$ et de $1,4 (\pm 0,2)$ cmol+.kg $^{-1}$. Le taux de saturation en base (TSB) des GREL et GREPLi sont de 88% et 76% respectivement. Chez les GRAL et GRAPli, ils sont respectivement de 63% et 69%.

La composition du complexe d'échange (Ca_{éch}, Mg_{éch}, K_{éch}) n'a pas été significativement affectée par le matériau parental (Tableau 9). Aucune tendance claire, dépendant du matériau parental, n'apparaît pour les teneurs en fer extrait avec du dithionitecitrate (Fe_{DCB}) dans les lixisols. Les teneurs moyennes en Fe_{DCB} sont de $16 (\pm 11,5)$ g.kg $^{-1}$ de sol et $17 (\pm 2,4)$ g.kg $^{-1}$ de sol pour les GREL et les GRAL respectivement. Dans les plinthosols, les teneurs moyennes en Fe_{DCB} des GREPLi et GRAPli sont de $17 (\pm 5,7)$ g.kg $^{-1}$ de sol et $5 (\pm 2,5)$ g.kg $^{-1}$ de sol. L'analyse de la variance a montré une différence significative entre les plinthosols des deux contextes géologiques en terme de teneur en Fe_{DCB} ($p=0,02$). Les teneurs moyennes en Fe_{ox} sont similaires dans les lixisols avec des valeurs identiques de $0,5$ g.kg $^{-1}$ de sol. Dans les plinthosols, les GRAPli ont une teneur moyenne en Fe_{ox} de $0,4 (\pm 0,3)$ g.kg $^{-1}$ et celle des GREPLi est de $0,5 (\pm 0,1)$ g.kg $^{-1}$.

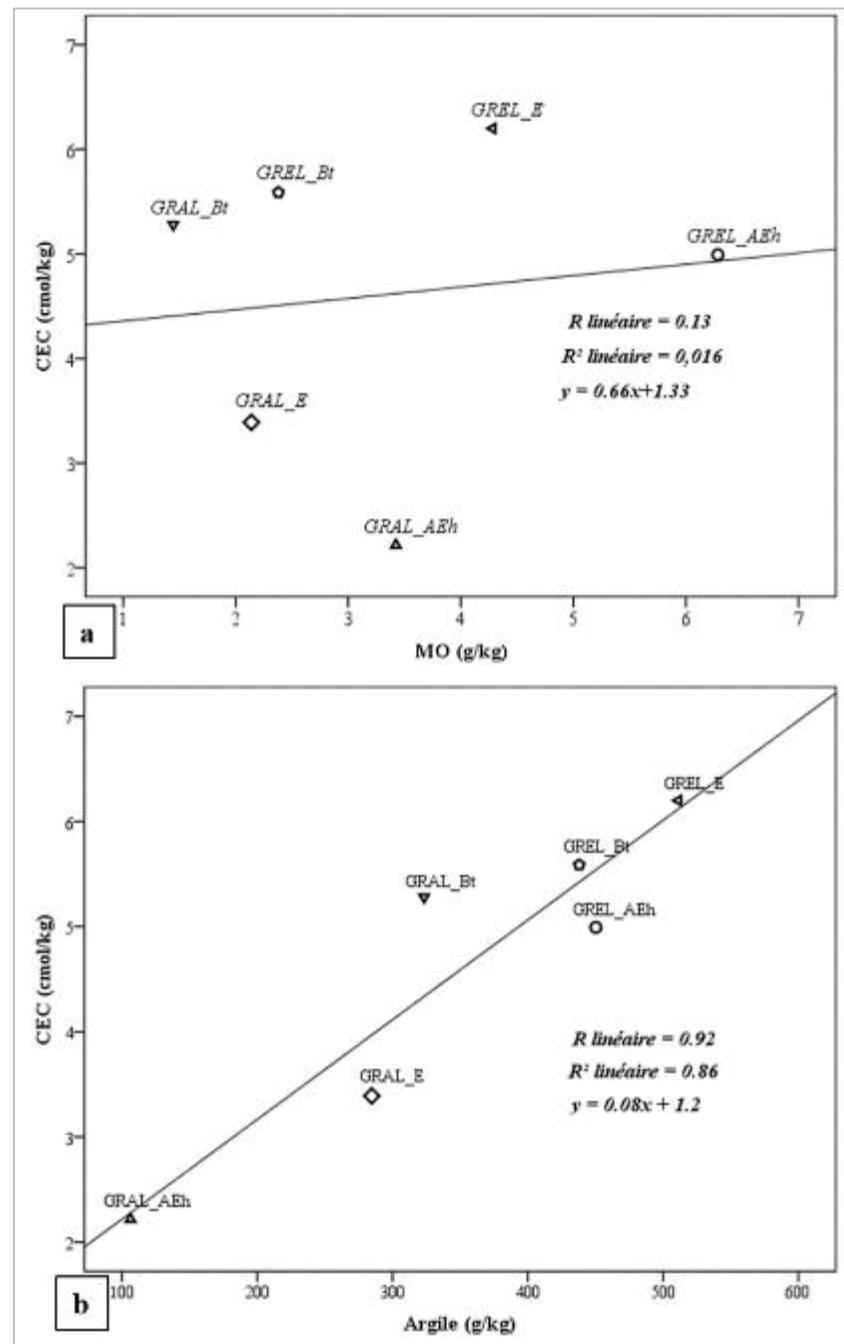


Figure 16: Corrélation entre la CEC ($\text{cmol}+\cdot\text{kg}^{-1}$), teneur en argile (%) et la Matière organique ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) des GRAL et GREL

2.3.4. Classes de fertilité et aptitudes agronomiques des types de sol pour les deux contextes géologiques

Le tableau 10 présente les classes de fertilité des différents sols. Les GRAL sont dans la classe de fertilité bas (cotation finale= 7) et les GREL dans la classe de fertilité moyenne (cotation finale= 8). Pour les plinthosols, les GRAPli et GREPli sont tous dans la classe de fertilité moyenne. Leurs cotations finales sont respectivement de 8 et 10.

La profondeur effective de GRAL et GREL est de 116 cm et 109 cm respectivement (Tableau 11). Ce paramètre est très adapté (S1) pour la culture du coton et du maïs. Leurs pH-H₂O respectifs de 5,8 et 6,1 sont moyennement adaptés (S2) à la culture du coton. Pour le maïs, le pH-H₂O de GREL est très favorable (S1) et celui de GRAL est moyennement favorable (S2). Les sommes des bases échangeables (SBE) du GRAL et du GREL sont de 2,6 cmol+.kg⁻¹ et de 5 cmol+.kg⁻¹. Ces SBE sont respectivement inaptes (N) et marginalement aptes à la culture du coton et du maïs.

La profondeur effective de GRAPli et GREPli est de 22,33 cm et 30 cm respectivement. Ces profondeurs effectives se situent dans la classe des paramètres inadaptés (N) à la culture du coton et du maïs. L'acidité actuelle de GRAPli (pH-H₂O = 6,5) est très appropriée (S1) pour le coton et le maïs, tandis que celle de GREPli (pH-H₂O = 6,01) est modérément appropriée (S2) pour le coton mais très appropriée (S1) pour le maïs. Dans les plinthosols, les SBE sont improches (N) à la culture du coton et du maïs.

L'évaluation finale des lixisols montre que les GRAL sont marginalement aptes (S3), et les GREL modérément aptes (S2) à la culture du coton et du maïs. Pour les plinthosols, les GREPli et GRAPli sont actuellement inaptes à la production de coton, tandis que pour le maïs, les GREPli sont marginalement aptes ; les GRAPli sont actuellement inaptes.

Tableau 10: Classes de fertilité des sols dans les deux contextes géologiques

Paramètre	GRAL		GREL		GRAPli		GREPli	
	Moyenne	Cotation	Moyenne	Cotation	Moyenne	Cotation	Moyenne	Cotation
OM (%)	0,2 ($\pm 0,1$)	1	0,4 ($\pm 0,1$)	1	0,4 ($\pm 0,1$)	1	1,02 ($\pm 0,4$)	3
pH_H ₂ O	5,8 ($\pm 0,5$)	4	6,1 ($\pm 0,3$)	5	6,5 ($\pm 0,1$)	5	6,01 ($\pm 0,4$)	5
SBE (cmol ⁺ .kg ⁻¹)	2,6 ($\pm 1,5$)	2	5 ($\pm 0,4$)	2	1,4 ($\pm 0,2$)	2	2,4 ($\pm 1,3$)	2
Cotation finale		7		8		8		10
Classes de fertilité	Bas		Moyen		Moyen		Moyen	

Cotation finale: 4,5-7,5 = classe de fertilité bas ; cotation finale: 7,6-10,5= classe de fertilité moyen

Tableau 11: Aptitude agronomique des sols des deux contextes géologiques pour la culture du coton et du maïs

Cultu-res	Paramètres	GRAL		GREL		GRAPli		GREPli	
		Moyenne	Aptitude	Moyenne	Aptitude	Moyenne	Aptitude	Moyenne	Aptitude
Coton	Profondeur effective (cm)	116,3 ($\pm 7,1$)	S1	109,3 ($\pm 6,4$)	S1	22,3 ($\pm 2,1$)	N	30 ($\pm 0,6$)	N
	pH-H ₂ O	5,8 ($\pm 0,5$)	S2	6,1 ($\pm 0,3$)	S2	6,5 ($\pm 0,1$)	S1	6,01 ($\pm 0,45$)	S2
	SBE (cmol ⁺ /kg)	2,6 ($\pm 1,5$)	N	5 ($\pm 0,4$)	S3	1,4 ($\pm 0,2$)	N	2,4 ($\pm 1,3$)	N
	Aptitude finale		S ₃		S ₂		N _{1s}		N _{1s}
Maïs	classes d'aptitude	Aptitude marginale		Aptitude modérée		Inaptitude actuelle		Inaptitude actuelle	
	Profondeur effective (cm)	116,3 ($\pm 7,1$)	S1	109,3 ($\pm 6,4$)	S1	22,3 ($\pm 2,1$)	N	30 ($\pm 0,6$)	N
	pH_H ₂ O	5,8 ($\pm 0,5$)	S2	6,1 ($\pm 0,3$)	S1	6,5 ($\pm 0,1$)	S1	6,01 ($\pm 0,4$)	S1
	SBE (cmol ⁺ /kg)	2,6 ($\pm 1,5$)	N	5 ($\pm 0,4$)	S3	1,4 ($\pm 0,2$)	N	2,4 ($\pm 1,3$)	N
	Aptitude finale		S ₃		S ₂		N _{1s}		S ₃
	classes d'aptitude	Aptitude marginale		Aptitude modérée:		Inaptitude actuelle		Aptitude marginale	

S1= très apte ; S2= Modérément apte; S3= Marginalement apte; N_{1s} = inaptitude actuelle

2.4. Discussion

2.4.1. Impacts de la géologie sur le processus de formation des lixisols

Le climat et le matériau parental sont deux facteurs clés qui déterminent les destins pédogénétiques et les propriétés du sol qui en résultent, et qui évoluent en raison des interactions du sol avec la topographie, les activités humaines et le biote. Le sol se forme aux dépens du matériau parental, et hérite de son empreinte physico-chimique (Araujo *et al.*, 2017 ; Augusto *et al.*, 2017 ; Wilson, 2019). La kaolinite est le minéral argileux identifié dans les sols étudiés (Kissou *et al.*, 2014 ; Traoré *et al.*, 2020) mais sa teneur peut différer selon l'origine géologique. La principale différence entre les lixisols développés sur des matériaux gréseux (GREL) et les lixisols développés sur des matériaux granodioritiques (GRAL) est la texture du sol avec des différences significatives dans la teneur en argile. GREL a une texture argileuse tandis que GRAL a une texture de loam sablo-argileux (LAS). Cela voudrait dire que le substrat de grès conduit à un contenu plus élevé de minéraux de taille argileuse dans les sols par rapport aux sols développés à partir de granodiorite. Par ailleurs la CEC de l'ensemble des lixisols étudiés semble être principalement contrôlée par la fraction argileuse. Le coefficient de détermination obtenu montre que 85% de la variation de la CEC est expliquée par la fraction argileuse alors que la MO n'explique que 0,01% de cette variation. La faible teneur en matière organique de ces sols (0,13% pour les GRAL et 0,24 pour les GREL) pourrait expliquer cette dépendance de la CEC de la fraction argileuse. La CEC étant pilotée par les minéraux de taille argileuse dans le contexte pédologique étudié, les sols GREL ont donc une plus grande capacité à retenir les cations sur le complexe échangeable développé lors de la formation des minéraux argileux par rapport aux GRAL. Ce qui constitue un avantage agronomique important. En effet, on constate que la CEC moyenne des sols développés sur le matériau grès est significativement plus élevée que celle des sols issus du matériau granodioritique. Cette amélioration de la CEC se traduit par une teneur en éléments échangeables plus élevée dans les horizons des GREL que dans ceux des GRAL. Cet attribut du sol pourrait également contrôler en partie la biodisponibilité des nutriments à l'exception du phosphore assimilable (P_{ass}) plus faible dans les GREL. Ceci peut s'expliquer par la plus grande proportion d'argile de type kaolinite dans les GREL (>21%) qui, en association avec les oxydes de fer, est un facteur de forte fixation de l'ion P (Frossard *et al.*, 1992).

Le calcium (Ca^{2+}) est le cation le plus adsorbé sur la capacité d'échange cationique (CEC). Les GREL avec une teneur en argile plus élevée, ont une CEC plus élevée. Ce qui se traduit par une teneur en calcium biodisponible (Ca_{disp}) plus élevée que les GRAL. Par conséquent, les lixisols sur grès peuvent avoir une meilleure stabilité structurale car le calcium (Ca^{2+}) agit comme un pont cationique avec les acides organiques chargés négativement qui permettent aux minéraux argileux de maintenir un état floqué. Cela contribue également à la formation d'associations organo-minérales résultant en un contenu plus élevé de microagrégats stables (Six *et al.*, 2002 ; Ouattara *et al.*, 2017 ; Traoré *et al.*, 2020).

Le pH-H₂O plus élevé de GREL par rapport à GRAL pourrait s'expliquer par une saturation plus importante du complexe échangeable avec les cations alcalino-terreux (Ca²⁺ et Mg²⁺) des lixivols développés à partir d'un grès. De plus, la teneur plus élevée en cations échangeables dans les GREL par rapport aux GRAL tient du fait que les grès sont naturellement plus riches en Mg²⁺ et K⁺ que les matériaux granodioritiques (La Roche et Von Eller, 1969 ; Dabard, 1983). Les travaux de La Roche et Von Eller (1969) sur les granodiorites du massif du Champ-du-Feu, ont montré que les teneurs moyennes de ces roches en éléments Mg²⁺ et K⁺ totaux étaient respectivement de 3% et 3,6%. Les travaux de Dabard (1983) sur les roches sédimentaires paléozoïques du Massif armoricain ont montré que les teneurs moyennes en Mg²⁺ et K⁺ totaux des grès étaient respectivement de 5% et 6,5%.

2.4.2. Effet du contexte géologique sur les propriétés des sols et leurs aptitudes agronomiques

La nature acide des roches riches en quartz (grès et granodiorite) couplée à une altération poussée donnent lieu à des sols très pauvres en nutriments notamment en Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ et P (Augusto *et al.*, 2017). Néanmoins, dans cette étude nous constatons que les sols développés sur matériau gréseux (GREL et GREPl) ont des teneurs en cations échangeables et disponibles relativement plus élevées par rapport aux sols développés sur matériau granodioritique. La source des cations est initialement contrôlée par la minéralogie du sol et leur rétention dans les sols est principalement pilotée par la CEC (Cardelli *et al.*, 2017). Dans les deux sites d'études, nous constatons que la capacité du sol à fournir des nutriments Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ est fortement corrélée à l'argile donc déterminée par le contexte géologique de la formation du sol.

Comme le pH du sol est un attribut critique déterminant la mobilité des nutriments dans les systèmes sol-plante (Génot *et al.*, 2009 ; Ballot *et al.*, 2016), les valeurs du pH-H₂O (variant entre 5,8 et 6,5) montre que les sols étudiés (GRAL , GREL, GRAPli, GREPl) sont faiblement acides. Ces valeurs d'acidité actuelle ne semblent pas être une contrainte pour l'exploitation de ces sols. Par ailleurs nous constatons que la teneur en C_{org} dans les sols développés sur matériau gréseux est plus élevée par rapport aux sols formés sur granodiorite. Ceci est certainement lié à la forte teneur en minéraux de taille argileuse et limoneuse dans les GREL et les GREPl. Ces minéraux argileuse et limoneuse sont impliqués dans la formation d'associations organo-minérales qui, à leur tour, contribuent fortement à la stabilisation de la matière organique dans les sols (Feller et Chenu, 2012) en favorisant les micro-agrégats protégeant la matière de l'activité enzymatique (Lehmann et Klebber, 2015). Ceci confirme les résultats des travaux d'Atchada *et al.* (2018) qui ont rapporté une relation positive entre la teneur en particules du sol <50µm et la teneur en carbone des sols dans un contexte similaire.

Au-delà des influences géologiques, nous savons que les pratiques agricoles sont un fort moteur de la dégradation des sols. Dans les zones tropicales sèches, la mise en culture des terres entraîne une baisse du taux de matière organique, une acidification des sols et des carences en nutriments (Sédogo, 1993 ; Wolkoff *et al.*, 1999 ; Koulibaly *et al.*, 2014). La surexploitation du modèle agricole actuel peut donc contribuer aux

très faibles teneurs en nutriments des sols étudiés, quel que soit le type de matériau parental. En effet, la mise en culture permanente des sols tropicaux entraîne une perte annuelle de 2 à 4% de matière organique, atteignant le seuil de non réponse aux engrains minéraux après 12 à 15 ans de culture continue (Hien *et al.*, 1994). Cette faible teneur en C_{org} (< 11,5 g.kg⁻¹) pourrait rendre les agrégats plus instables (Van-Camp *et al.*, 2004), augmenter la lixiviation des éléments minéraux au détriment des plantes (Ballo *et al.*, 2016) et exposer les sols à une dégradation rapide (Amonmidé *et al.*, 2019). Cela a un impact négatif sur la fertilité des sols, la productivité agronomique et la santé des sols (Gonçalves *et al.*, 2017). Les effets des pratiques agricoles inadaptées telles que l'exportation et le brûlage des résidus de culture et le faible apport externe de matière organique amplifient les problèmes de fertilité des sols dans cette région ouest du Burkina Faso (Koulibaly *et al.*, 2014).

L'ensemble de ces facteurs est responsable de la classe de fertilité "moyen" des GREL, GRAPli et GREPli et de la classe de fertilité "bas" des GRAL. Les plinthosols étudiés dans les deux contextes géologiques contrastés sont actuellement impropres à la culture du coton et du maïs. En effet, ces sols sont marqués une forte limitation de la profondeur d'enracinement (<40 cm) et la faible rétention des cations sur le complexe échangeable. Si les limitations liées à la somme des bases échangeables (SBE) peuvent être levées assez facilement par des pratiques adéquates de fertilisation minérale et d'amendement organique, celles liées à la profondeur effective ne peuvent être corrigées en l'état actuel des connaissances à un prix acceptable et supportable par les petits producteurs (Ben Hassine, 2006). Néanmoins, la profondeur d'enracinement de 30 cm du GREPli pourrait être marginalement favorable aux plantes à système racinaire fasciculé comme le maïs. Alors que le GREL est le type de sol le plus adapté à la culture du coton et du maïs ; les GRAL, en raison de leur faible SBE, sont marginalement aptes à la production de ces cultures.

2.5. Conclusions

Cette étude a porté sur la description de deux types de sols les plus représentatifs dans deux zones agricoles de l'ouest du Burkina Faso. Les résultats ont révélé que les sols des deux sites d'étude se sont développés sur deux matériaux parentaux différents (granodiorite et grès). Cette différence de matériaux parentaux a contribué à la différence effective dans les propriétés physico-chimiques des sols. En effet, les lixisols issus du grès sont modérément aptes à la culture du coton et du maïs en raison de leur teneur en argile relativement plus élevée. Contrairement au lixisols sur granodiorite qui ont une aptitude marginale, la teneur élevée en argile des lixisols sur grès leur a conféré une CEC plus élevée qui accroît la capacité du sol à fournir et à retenir les nutriments ainsi qu'à stocker la matière organique. Par contre la performance agronomique des plinthosols des deux sites semble être beaucoup plus contrôlée par le climat à travers lequel l'intensité de la ferruginisation a conduit à la formation d'une cuirasse à moins de 40 cm de profondeur réduisant fortement la profondeur d'enracinement des cultures.

Toute intervention visant à améliorer davantage l'aptitude des lixivisols doit d'abord augmenter les valeurs de la capacité d'échange cationique en apportant des amendements organiques appropriés, afin de rendre les effets des engrains minéraux plus bénéfiques. L'augmentation de la CEC doit être accompagnée de pratiques de conservation et de restauration de l'eau et du sol, afin de réduire l'impact négatif de la profondeur effective. Pour les plinthosols, en plus des apports d'amendements organique et les ouvrage de conservation des eaux et des sols, un sous-solage est nécessaire pour augmenter la profondeur effective en fragmentant la carapace ferrugineuse.

2.6. Références bibliographiques

- Amonmidé, I., Dagbenonbakini, G., Agbangba, C.E. et Akponikpè, P.. 2019. Contribution à l'évaluation du niveau de fertilité des sols dans les systèmes de culture à base du coton au Bénin. Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(3): 1846-1860
- Aran, D., Maul, A. et Masfaraud, J-F., 2008. A spectrophotometric measurement of soil cation exchange capacity based on cobaltihexamine chloride absorbance. C. R. Geoscience 340: 865-871
- Atchada, C.C., Zoffoun, A.G., Akplo, T.M., Azontondé, A.H., Tenté, A.B. et Djego, J.G., 2018. Modes d'utilisation des terres et stock de carbone organique du sol dans le bassin supérieur de Magou au Bénin. Int. J. Biol. Chem. Sci. 12(6): 2818-2829
- Augusto, L., Achat DL., Jonard, M., Vidal, D. et Ringeval, B., 2017. Soil parent material-A major driver of plant nutrient limitations in terrestrial ecosystems. Glob Chang Biol.;23(9):3808-3824. doi:10.1111/gcb.13691
- Araujo, M. A., Zinn, Y.L. et Lal, R., 2017. Soil parent material, texture and oxide contents have little effect on soil organic carbon retention in tropical highlands. Geoderma, Vol. 300 : 1-10
- Aurouet, A., Devineau, J-L. et Vidal, M., 2005. Les facteurs principaux de l'évolution des milieux riverains du Mouhoun près de Boromo (Burkina Faso) : changement climatique ou dégradation anthropique ? Science Planétaire - Sécheresse, 16, 3 : 199-207
- Ballot, C. S. A., Mawussi, G., Atakpama, W., Moita-Nassy, M., Yangakola, T. M., Zinga, I., Silla, S.1, Kpérkouma, W., Dercon, G., Komlan, B. et Koffi, A., 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. Agronomie Africaine 28 (1): 9-23
- Baize, D. et Jabiol, B., 2011. Guide pour la description des sols. Ed. Quæ, Versailles, France, 421p.
- Ben Hassine, H., 2006. Nature minéralogique et rôle nutritionnel des argiles de sols céréaliers en région subhumide à semi-aride (Tunisie). C. R. Geoscience 338 : 329–340
- BUNASOL, 1990. Manuel pour l'évaluation des terres. Doc. Techn. N° 6.

- Ouagadougou, Burkina Faso, 181 p.
- Cardelli, V., Cocco , S., Agnelli, A., Nardi, S., Pizzeghello, D., Fernández-Sanjurjo, M.J. et Corti, G., 2017. Chemical and Biochemical Properties of Soils Developed from Different Lithologies in Northwestern Spain (Galicia). Forest, 8, 135. doi: 10.3390/f8040135
- Castaing, C., Billa, M., Milesi, J.P., Thieblemont, D., Le Metour, J., Egal E., Donzeau, M., Guerrot, C., Cocherie, A., Chevremont, P., Tegyey, M., Itard, Y., Zida, B., Ouédraogo, I., Koté, S., Kaboré, B.E., Ouédraogo, C., Ki, J.C. et Zunino, C., 2003. Notice explicative de la carte géologique et minière du Burkina Faso à 1/1000000. BRGM, BUMIGEB, ANTEA. 147p.
- Chadwick, O. A., Derry, L. A., Vitousek, P. M., Huebert, B. J., et Hedin, L. O., 1999. Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. Nature, 397, 491-497.
- Chevalier, T., Razafimbelo, T.M., Chapuis-Lardy, L. et Brossard, M., 2020. Carbone des sols en Afrique : impacts des usages des sols et des pratiques agricoles. Rome/marseille, FAO/IRD, 268p.
- Cissé, M., Bationo, B. A., Traoré, S. et Boussim, I. J., 2018. Perception d'espèces agroforestières et de leurs services écosystémiques par trois groupes ethniques du bassin versant de Boura, zone soudanienne du Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, n° 338 : 29-42. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2018.338.a31680>
- Feller, C. et Chenu, C., 2012. Les interactions bio-organo-argileuse et la stabilisation du carbone dans le sol : Aperçu historique. Etude et Gestion des sol, 19(3-4) : 235-248
- Coulibaly, K., Vall, E., Autfray, P., Nacro, H.B. et Sédogo, M.P., 2012. Effets de la culture permanente coton-maïs sur l'évolution d'indicateurs de fertilité des sols de l'Ouest du Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci. 6(3): 1069-1080
- Dabard, M-P., 1983. Etude pétrographique et géochimique des roches sédimentaires paléozoïques du massif Armorican: Presqu'île de Crozon, Flanc Nord du Bassin de Laval. Thèse de doctorat, Université de Rennes, Rennes, 191 p
- Dabin, B et Maignien, R., 1979. Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles. Cah. ORSTOM, Sér. Pedol., vol. XVII, n°4 : 235-257
- Dabin, B., 1985. Les sols tropicaux acides. Cah. ORSTOM, Ser. Pédol., XXI (1) : 7-19
- Fontes, J. et Guinko, S., 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Ministère de la Coopération Française: projet campus (88313 101), 67p.
- Frossard, E., Brossard, M., Feller, C., et Rouiller, J., 1991. Pouvoir fixateur vis-à-vis des ions phosphate de sols tropicaux à argile 1:1. Can. J. Soil Sci. 72: 135-143
- Genot, V.. Colinet, G.. Brahy, V. et Bock, L.. 2009. L'état de fertilité des terres agricoles et forestières en région wallonne (adapté du chapitre 4 - sol 1 de « L'État de l'Environnement wallon 2006-2007»). Biotechnol. Agron. Soc.

- Environ. 2009 13(1). 121-138.
- Gobat J M; Aragno M; Matthey W., 2013. Le sol vivant Bases de pédologie - Biologie des sols', 3ème édition (Presse polytechnique et universitaires romandes), 817p
- Gonçalves, D.R.P., Carlos de Moraes, S. J., Misra, U., Cerri, P.E.C., Ferreira, L.A. et Furlan, F.J.F. 2017. Soil type and texture impacts on soil organic carbon storage in a sub-tropical agro-ecosystem. Geoderma. Vol 286: 88-97.
- Grasland, C., 1998. Cours d'initiation aux méthodes statistiques en sciences sociales ; Université Paris VII / UFR GHSS. https://grasland.script.univ-paris-diderot.fr/STAT98/stat98_6/stat98_6.htm
- Hien, V., Sélogo, P.M. et Lombo, F., 1994. Gestion de la fertilité des sols au Burkina Faso. Bilan et perspectives pour la promotion de systèmes agricoles durables dans la zone soudano-sahélienne. Rome : FAO. 47-59.
- IUSS Working Group WRB. 2015. Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014. Mise à jour 2015. Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques. Rapport sur les ressources en sols du monde N° 106. FAO. Rome. 203pp.
- Kaboré, F., Hien, E., Maré, T.B., Ouattara, K. et Zombré, N.P., 2020. Caractéristiques morpho-pédologiques et potentialités agricoles de sols développés sur roches dolomitiques dans le bassin de Taoudéni au Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci. 14(6): 2333-2351
- Kissou, R., Traoré, E., Gnankambaré, Z., Nacro, H. B. et Sélogo, M. P., 2014. Connaissance endogène de la classification et de la fertilité des sols en zone Sud-Soudanienne du Burkina Faso. VertigO, 14 (1), 17p.
- Koulibaly, B., Traoré O., Dakuo, D., Lalsaga, R., Lombo, F. et Zombré, P.N., 2014. Acidification des sols ferrugineux et ferrallitiques dans les systèmes de production cotonnière au Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci. 8(6): 2879-2890
- Lakanen, E. et Ervio, R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. Acta Agr. Fennica 123 223-232
- La Roche, H. et Von Eller, J-P., 1969. Caractère et tendances géologiques des bandes granodioritiques et granitiques formant le massif de Champ-du-Feu (Vosges cristalline du Nord). In : Bulletin du Service de la carte géologique d'Alsace et de Loraine, tome 22, n°3 : 199-234. doi : <https://doi.org/10.3406/sgeol.1969.1356>
- Lehmann, J. et d Kleber, M., 2015. The contentious nature of soil organic matter. Nature, 528, 60-68. <https://doi.org/10.1038/nature16069>
- Mehra, O.P. et Jackson, M.L., 1960. Iron Oxide Removal from Soils and Clay by a Dithionite-Citrate System Buffered with Sodium Bicarbonate. Clays and Clay Minerals, 7, 317-327.
- Metson, A.J., 1956. Methods of chemical analysis for soil survey samples. New Zealand Soil Bureau Bulletin No. 12.
- Metelkaa, V., Baratouxa, L., Naba, S., Mark, W. et Jessell, M.W., 2011. A

geophysically constrained litho-structural analysis of the Eburnean greenstone belts and associated granitoid domains, Burkina Faso, West Africa. Precambrian Research 190: 48-69

- Ngo Makak, R., Sanou, P.. Toure I.. Tchindjang M. et Makak, J. S.. 2018. Analyse diachronique de l'occupation des terres pour la conception d'une base de données géo-référencées de suivi des dynamiques territoriales dans la commune rurale de Koumbia au Burkina Faso ; Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo. Volume 10, 23-35.
- Onana, V.L., Effoudou, E.N., Noa Tang, S.D., Kabeyene, V.K. et Ekodeck, G.E., 2018. Chemical weathering intensity and rare earth elements release from a chlorite schist profile in a humid tropical area, Bengbis, Southern Cameroon. J. Cameroon Academy of sciences, 16 (2):123-145
- Ouattara, B., Ouattara, K., Coulibaly, P.J.A., Lombo, F., Yao-Kouamé, A. et Sédogo, M.P., 2017. Déterminisme de la stabilité structurale des sols cultives de la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. African Crop Science Journal, Vol. 25, N°. 3 :277 - 290
- Ouédraogo, I., 1994. Géologie et hydrogéologie des formations sédimentaires de la Boucle du Mouhoun (Burkina Faso). Thèse 3ème cycle, Univ. Cheick Anta Diop, Dakar, Sénégal, 107p.
- Pallo, F. J. et Thiombiano, L.,1989. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions du Burkina Faso : caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole. SOLTOP 89 : 307-327
- Pallo, FJP., Sawadogo N., Sawadogo, L., Sedogo, PM. et Assa, A., 2008. Statut de la matière organique des sols dans la zone sud-soudanienne au Burkina Faso. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 12(3). 291-301.
- Pallo, FJP., Sawadogo, N., Zombré, NP., Sedogo, PM. et Assa, A.. 2009. Statut de la matière organique des sols dans la zone nord-soudanienne au Burkina Faso. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 13(1). 139-142.
- Pansu, M. et Gautheyrou, J., 2003: Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer-Verlag , Berlin Heidelberg New York, 993 p.
- Raimondi, S., Perrone, E. et Barbera, V., 2010. Pedogenesis and variability in soil properties in a floodplain of a semiarid environment in southwestern Sicily (Italy). Soil sci., 175: 1-10
- Rennert, T., 2019. Wet-chemical extractions to characterise pedogenic Al and Fe species – a critical review. Soil Research, 57: 1-16. doi.org/10.1071/SR18299
- Sanchez, P. A. et Logan, T. J., 1992. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics in : R. Lal P. A. Sanchez (éd) 1992: Myths and science of soils of the tropics, SSSA Special Publication N°29, Soil Science Society of American Society of Agronomy, Madison, pp.35-46. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub29.c3>
- Sedogo M.P., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doctorat d'Etat, FAST/Université nationale de Côte d'Ivoire, 345 p

- Traoré, S., Thiombiano, L., Bationo, A.B., Kögel-Knabner, I et Wiesmeier, M., 2020. Organic carbon fractional distribution and saturation in tropical soils of West African savannas with contrasting mineral composition. *Catena*, 190, 104550
- Traoré, M., Koulibaly B., Pousga, S., Kambou A., Ouédraogo S., Coulibaly K. et Nacro H. B. 2019. Variation of carbon and major nutrients contents in two types of soil under stone bunds management in cotton-based cropping systems in the Sudanese zone of Burkina Faso. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, Vol-4, Issue-6: 1896-1904
- Van-Camp, L., Gentile, B. B. A. R., , Montanarella, R.J.A.J.L., Selvaradjou et C.O.S K.,, 2004. Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection. volume III (EUR 21319 EN/3). Office for Official Publications of the European Communities : Luxembourg. Grand-Duché de Luxembourg. 195p
- Vitousek, P.M., Porder, S., Houlton, B. Z. et Chadwick, O. A. 2010. Terrestrial phosphorus limitation: Mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions. *Ecological Applications*, 20, 5-15.
- Wilson, M.J., 2019. The importance of parent material in soil classification: A review in a historical context. *Catena* 182 ; 104131
- Wolkoff, B., Faure, P., Dubroeucq, D. et Vinnot, M.. 1999. Estimation des stocks de carbone du Bénin. *Etudes et Gestion des Sols*, 6(2); 115-130.

Chapitre 3

**Efficacité agronomique des amendements à
base de biochar dans un contexte
pédologique contrasté en zone soudanienne
du Burkina Faso**

Chapitre 3: Efficacité agronomique des amendements à base de biochar dans un contexte pédologique contrasté en zone soudanienne du Burkina Faso

3. Agronomic performance of biochar-based amendments in farmers' environment in western Burkina Faso.

Cissé Drissa*^{1,2}, Cornelis Jean Thomas^{1,3}, Traoré Mamadou², Coulibaly Kalifa², Saba Fatimata^{1,2}, Nacro Hassan Bismarck²

¹ TERRA Teaching and Research Centre, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Gembloux, Belgique

²Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol (LERF), Institut du Développement Rural (IDR), Université Nazi BONI (UNB), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

³Faculty of Land and Food Systems, The University of British Columbia, Vancouver, BC, V6T 1Z4 Canada

(Accepté pour publication dans la revue *Agronomie Africaine*)

Abstract

In Burkina Faso, declining soil fertility is a major constraint to agricultural productivity and sustainability. In the present study, compost, biochar and co-composted biochar were applied to endoplinthic lixisol and the effects on soil physicochemical properties, cotton and maize yield over three cropping seasons were investigated. The trial was a completely randomized block design included three treatments and four repetitions: T1= compost + NPK + Urea; T2= pristine biochar + NPK + Urea; and T3= co-composted biochar + NPK + Urea. The amendments rate were 2.5 t.ha⁻¹ each year (2018 and 2019) combined with the recommended rate of mineral fertilizer (cotton: 150 kg.ha⁻¹ NPK , 50 kg.ha⁻¹ Urea; maize: 200 kg.ha⁻¹ NPK, 100 kg.ha⁻¹ Urea). The addition of biochar during the composting process increased the total nitrogen, total magnesium and total phosphorus contents of co-composted biochar by 48%, 64% and 68% respectively compared to compost. Although the biochar-based amendments did not improve the physico-chemical parameters of the soil two years after their application, a significant increase in cotton yield by 14% (biochar) and 19% (co-composted biochar) compared to compost in the third year was observed. Biochar-based amendments can be suggested to producers for medium-term crop yield improvement.

Keywords: biochar; soil fertility; endoplinthic lixisol; crops yield; Burkina Faso.

3.1. Introduction

La saturation de l'espace dédié à la production agricole conduit de plus en plus les agriculteurs de la zone ouest du Burkina Faso à exploiter tous les types de sol. Le biochar considéré comme un amendement aux propriétés multiples, suscite un engouement de la communauté scientifique. Il a été signalé que l'application du biochar améliore la qualité du sol en augmentant le pH, le taux de carbone du sol et la capacité de rétention en eau du sol, en stimulant l'activité des champignons et des microbes plus bénéfiques, en améliorant la capacité d'échange cationique, et en retenant les nutriments (Onana-Onana, 2015 ; Kalyani *et al.*, 2016; Kawsar *et al.*, 2018). En raison de sa capacité accrue de rétention et de sorption des éléments nutritifs, il pourrait accroître la disponibilité de ceux-ci pour les cultures (Pandit *et al.*, 2018 ; Hailegnaw *et al.*, 2019 ; Lombo *et al.*, 2021). Par ailleurs, Trupiano *et al.* (2017), Wang *et al.* (2019) ont montré que l'adjonction du biochar au matériau de départ au cours du compostage permet d'obtenir un produit (co-compost) dont l'application avait un effet synergique positif sur le cycle des nutriments et leur teneur dans le sol dans des conditions de terrain. Ces bénéfices entraînent une utilisation plus efficace des nutriments, une structure stabilisée du sol et une meilleure capacité de rétention en eau du sol, donc une amélioration des rendements des cultures (Glaser *et al.*, 2014 ; Bass *et al.*, 2016 ; Quayyum *et al.*, 2017 ; Bashir *et al.*, 2020) à condition que la proportion de biochar ajoutée dans le compost soit minime (10-20%) (Schultz *et al.*, 2014). Ce chapitre de la thèse est dédié à la détermination des effets de ces amendements à base de biochar sur les rendements des cultures sur différents types de sols tropicaux dans les conditions de terrain. Cette investigation est importante pour déterminer le type de sol qui répond au mieux à l'application du biochar et du co-compost en tant qu'amendements de sols agricoles.

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Sites d'étude

Les villages de Koumbia ($11^{\circ}14'10.5''N$ et $3^{\circ}41'46.9''W$) et de Massala ($12^{\circ}31'42.3''N$ et $3^{\circ}25'15.5''W$) dans l'Ouest du Burkina Faso ont abrité les essais. Le climat des deux villages est de type tropical sec marqué par une saison sèche de 6 à 8 mois et une saison des pluies de 4 à 6 mois. Les pluviosités annuelles au cours des trois campagne d'essai étaient de 1027 mm en 2018, 1198 mm en 2019 et 960 mm en 2020 à Koumbia. A Massala elles étaient de 834 mm en 2018, 969 mm en 2019 et 813 mm en 2020. Les principaux sols rencontrés dans les deux zones sont les cambisols, les gleysols, les lixivisols, les plinthosols. Les caractéristiques physico-chimiques des sols en début d'essai sont présentées dans le tableau 12.

Tableau 12: Caractéristiques physico-chimiques initiales des sols

Site	Types de Sol	A (g.kg ⁻¹)	L (g.kg ⁻¹)	S (g.kg ⁻¹)	pH-H ₂ O	C _{org} (g.kg ⁻¹)	N _{tot} (g.kg ⁻¹)	P-ass (mg.kg ⁻¹)	K-disp (mg.kg ⁻¹)
Koumbia	Gleysol	218	262	520	6,1	3,85	0,3	0,6	120
	Lixisol endoplinthique	88	165	747	6,3	3,15	0,2	1,1	62
	Régosol	367	431	202	6,8	14,7	0,9	0,4	122,5
Massala	Lixisol chromique	210	371	419	5,6	8,1	0,6	0,4	58,5
	Lixisol endoplinthique	174	280	546	6,3	6,1	0,8	1,8	126
	Plinthosol	120	269	611	6,0	11,3	0,5	1,2	103,5

3.2.2. Dispositif expérimental

Les essais ont été conduits durant trois campagnes de 2018 à 2020 dans un système de rotation coton-maïs-coton. Le dispositif expérimental est un Bloc Complétement Randomisé (BCR) comprenant trois (3) traitements organisés en quatre (4) répétitions. Chaque parcelle élémentaire avait une superficie de 120 m² (10 m de large et 12 m de long). Les trois traitements sont : T1 : compost +Doses recommandées de NPK et d'urée ; T2 : biochar + Doses recommandées de NPK et d'urée ; T3 : co-compost + Doses recommandées de NPK et d'urée. La dose d'apport des amendements était de 2,5t.ha⁻¹.an⁻¹ pendant deux ans associée à la dose recommandée d'engrais minéraux au Burkina Faso. Les doses recommandées sont 150 kg de NPK 14 23 14 et 50 Kg d'urée 46% pour le coton, et 200 kg de NPK 14 23 14 et 100 Kg d'urée 46% pour le maïs. Ce sont des doses qui répondent aux besoins en fertilisants minéraux des principales cultures de la zone Ouest du Burkina Faso (Traoré *et al.*, 2020). L'utilisation de la dose de 2,5t.ha⁻¹.an⁻¹ de fumure organique est beaucoup plus à la portée des petits producteurs de la zone qui disposent de peu de ressources financières et de main d'œuvre . Les essais ont été installés sur trois types de sol à Koumbia et trois autres types à Massala. Les types de sols utilisés à Koumbia sont un gleyso, un lixisol endoplinthique et un régosol. A Massala, les essais ont été installés sur un lixisol chromique, un lixisol endoplinthique et un plinthosol (IUSS Working Group WRB., 2015).

3.2.3. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pendant les trois campagnes ont été le coton en 2018 et 2020 (variété FK-64) et le maïs en 2019 (variété Barka). Les cycles et rendements potentiels des cultures sont donné dans le chapitre 5. Le du coton FK-64 a un cycle de 150 jours et un rendement potentiel de 3-4 t.ha⁻¹. Le maïs Barka a un cycle de 84 jours et un rendement potentiel de 5,5 t.ha⁻¹ (Traoré *et al.*, 2020).

3.2.4. Opérations culturales

Au cours des trois campagnes d'expérimentation (2018, 2019 et 2020), la préparation du sol a consisté en un labour effectué à la traction animale à une profondeur moyenne de 20 cm. Le biochar, le compost et le co-compost ont été apportés en fumure de fond au labour en 2018 et en 2019 à la dose de 2,5 t.ha⁻¹.campagne⁻¹. Aucun apport n'a été effectué en 2020. Le coton en 2018 et 2020 ainsi que le maïs en 2019 ont été semés dans des poquets à un écartement de 40 cm sur la ligne et 80 cm entre les lignes, puis un démariage du coton a été réalisé 15 jours après semi pour ajuster le nombre de plant à deux par poquet, pour obtenir une densité de 62500 plants par hectare. Les semis ont été effectués en fonction des dates d'installation de la saison des pluies. Ils ont été effectués en 2018 à Koumbia les 8, 9 et 10 juillet et à Massala les 12, 13 et 14 juillet. En 2019 les semis ont été réalisés les 13, 14 et 15 juin à Koumbia et les 17, 18 et 19 juin à Massala. Le NPK et l'urée ont été apporté à la dose 150 kg.ha⁻¹ et 50 kg.ha⁻¹ sur tous les traitements pour le coton en 2018 et 2020. Le NPK a été apporté 15 jours après semis (JAS) et l'urée a été apportée 45 JAS. La fertilisation minérale du maïs a consisté en un apport de 200 kg.ha⁻¹ de NPK et 100 kg.ha⁻¹ d'urée (46%) respectivement à 15 et 40 JAS. Deux sarclages ont été effectués respectivement à 15 et 35 JAS suivis d'un buttage à 45 JAS sur le coton en 2018 et 2020, et à 15 et 30 JAS suivi d'un buttage à 40 JAS sur le maïs en 2019. Le contrôle des bio-agresseurs du cotonnier a été réalisé par l'application de l'oxadiazine (150 g.ha⁻¹), d'une association cyperméthrine (144 g.ha⁻¹)*imidaclopride (200 g.ha⁻¹), d'une autre association lambda-cyhalothrine (12 g.ha⁻¹)*profénofos (200 g.ha⁻¹) et du Chlorpyrifos-ethyl (480 g.ha⁻¹). Ces insecticides ont été appliqués respectivement les 45ème, 60ème, 80ème et 100ème JAL. L'Emamectine benzoate 50 a été utilisé sur le maïs en 2019 pour contrôler *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) à la dose de 250 g.ha⁻¹. Les récoltes ont été effectuées manuellement sur des parcelles utiles de 20 m² (5 m*4 m) en deux passages pour le coton et en un passage pour le maïs. Le premier passage pour le coton a été réalisé à l'ouverture de 50% des capsules, et le second passage 21 jours après le premier. L'unique passage pour le maïs a été réalisé à la maturité complète des épis.

3.2.5. Échantillonnage et analyses physico-chimiques des sols

Les caractéristiques chimiques de l'horizon 0-20 cm des différents sols ont été déterminées en début d'essai en 2018, et à la fin de la deuxième saison de culture en 2019. En début d'essai, les prélèvements ont été faits en six (6) points suivant la diagonale pour constituer 3 échantillons composites par type de sol. En 2019, les échantillons ont été prélevés par parcelle élémentaire et par type de sol. Au total, quarante-vingt-dix (90) échantillons ont été analysés dont dix-huit (18) avant la mise en place des essais (3 par type de sol) et soixante-douze (72) échantillons à la fin de la deuxième campagne en 2019 (12 par types de sol). Ils ont d'abord été séchés à l'air libre et à l'ombre, puis tamisés à 2 mm pour les analyses au laboratoire. Les paramètres physico-chimiques suivants ont été déterminés : granulométrie, pH-H₂O, C_{org}, N_{tot}, P, Mg et K biodisponibles. La granulométrie du sol a été déterminée par la méthode de sédimentation par gravité (NF X 31-07) (Dumer *et al.*, 2017). Le pH-H₂O a été déterminé à l'aide d'une électrode en verre dans une suspension de sol

dilué à 1:5 (fraction volumique) dans de l'eau (ISO 10390) (AFNOR, 2005). Les teneurs en carbone organique (C_{org}) et en azote total (N_{tot}) ont été évaluées par spectrométrie proche infrarouge (ISO 10694) (AFNOR, 1995) après combustion sèche flash (ISO 13878) (AFNOR, 1998). Les teneurs en éléments biodisponibles (P, Ca, K, Mg) ont été déterminées par extraction à l'acétate d'ammonium-EDTA 1M (pH = 4,65) (Lakanen et Erviö, 1971) et quantification par spectrophotométrie d'absorption atomique (Ca, K, Mg) et par spectrophotométrie pour P (De Olivera *et al.*, 2000).

3.2.6. Paramètres de rendement mesurés

Pour suivre la croissance du cotonnier et du maïs, des mesures de hauteur et de diamètre ont été effectuées sur 20 plants choisis sur les 3 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Les mesures ont été effectuées à 30 et 80 JAS sur le cotonnier, et à 30 et 60 JAS sur le maïs. Les récoltes ont été effectuées manuellement sur des parcelles utiles de 20 m² (5 m*4 m) préalablement délimitées au semis au milieu de chaque parcelle élémentaire. Sur chaque parcelle utile, le coton-graine a été récolté et pesé pour la détermination du rendement. Le rendement grain du maïs a été obtenu après égrainage manuel des épis, et séchage des grains à l'air libre pendant 21 jours afin d'atteindre un taux d'humidité de 15%. Le taux d'humidité des grains a été déterminé à l'aide d'un humidimètre électronique portatif à lecture directe de marque DRAMINSKY (Amadou *et al.*, 2019). Le rendement de la biomasse sèche a été déterminé après séchage à l'étuve à 75°C pendant 72 h, des échantillons des parcelles utiles dont le poids frais a été préalablement déterminé. Il est à noter qu'en 2019, les récoltes des parcelles du gleysol ont été mélangés avant la pesée, si bien que les rendements du maïs n'ont pas pu être évalués en 2019.

3.2.7. Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R version 4.0.3. L'ANOVA à un facteur a été utilisée pour tester les effets des traitements sur les paramètres physico-chimiques des sols, des paramètres de croissance et du rendement des cultures. Les moyennes des traitements ont été séparées par le test Honest Significant Difference (HSD) de Tukey au seuil de 5 %, pour déterminer si elles étaient ou non significativement différentes les unes des autres.

3.3. Résultats

3.3.1. Effets des amendements sur les paramètres chimiques des sols dans la zone de Koumbia

Les valeurs du pH-H₂O sont présentées dans la figure 17a. La plus faible valeur du gleysol a été obtenue avec le compost et le co-compost (6,4), et la valeur la plus élevée a été relevée dans le biochar (6,6). Les valeurs dans le lixivisol endolithique étaient comprises entre 6,4 (compost et co-compost) et 6,5 (biochar). Enfin dans le régosol, les valeurs du pH-H₂O se situaient entre 7 (compost et co-compost) et 7,1 (biochar). L'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les traitements, quel que soit le type de sol.

Les teneurs en carbone organique (C_{org}) (Figure 17b) dans le gleysol se situaient entre $4,2 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ (compost) et $4,6 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ (biochar). Dans le lixisol endoplinthique, la plus faible teneur a été obtenu avec le compost ($3,3 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$) et la plus forte avec le biochar ($4,3 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$). Les teneurs dans le régosol étaient plus importantes que dans les deux précédents sols, et se situaient entre $16,7 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ (compost) et $18,1 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ (biochar et co-compost). Toutefois, les teneurs entre les traitements sont restées statistiquement identiques quel que soit le type de sol.

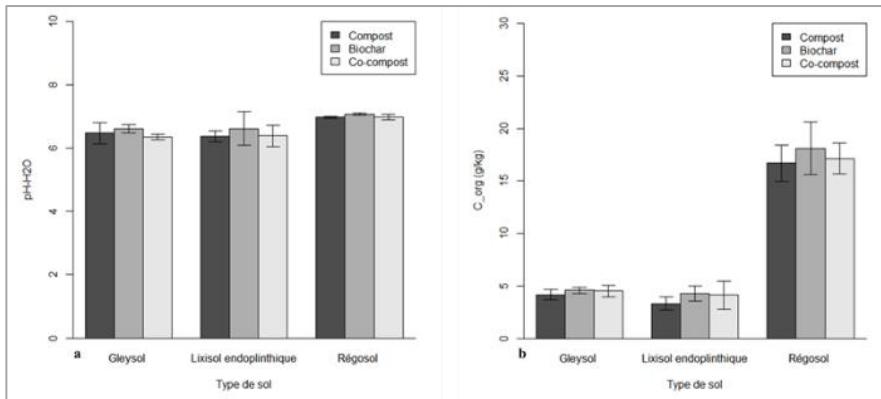


Figure 17: pH-H₂O et teneurs en C_{org} des sols à Koumbia

La figure 18 présente les teneurs en azote total (N_{tot}). Dans le gleysol et le lixisol endoplinthique, les teneurs sont comprises entre $0,3 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ (compost) et $0,4 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ (biochar et co-compost). Dans le régosol, les teneurs se situent entre $0,9 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ (compost) et $1 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ (biochar et co-compost). L'analyse de variance ne montre pas de différence significative entre les traitements sur les trois types de sols.

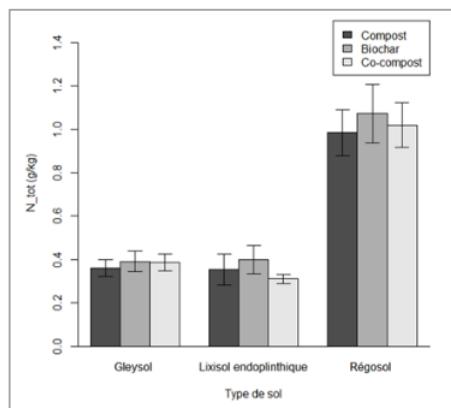


Figure 18: Teneurs en N_{tot} des sols à Koumbia

Les teneurs des sols en éléments biodisponibles sont présentées dans la figure 19. Pour le phosphore assimilable (P_{ass}) (Figure 19a), les teneurs se situent entre 1,6 mg.kg⁻¹ (compost) et 2,4 mg.kg⁻¹ (biochar) sur le gleysol. Dans le lixivol endoplinthique, les teneurs en P_{ass} ont varié de 2,6 mg.kg⁻¹ (co-compost) à 3,2 mg.kg⁻¹ (biochar et compost). Les teneurs dans le régosol sont comprises entre 1,8 mg.kg⁻¹ (compost) et 2,2 mg.kg⁻¹ (biochar). L'analyse de variance n'a pas révélé une différence significative entre les traitements au niveau des sols. Pour le potassium disponible (K_{disp}) (Figure 19b), les teneurs sont comprises entre 92 mg.kg⁻¹ (compost) et 116 mg.kg⁻¹ (biochar) dans le gleysol, et entre 65 mg.kg⁻¹ (compost) et 75 mg.kg⁻¹ (co-compost) dans le lixivol endoplinthique. Le régosol avait des teneurs en K_{disp} comprises entre 141 mg.kg⁻¹ (compost) et 163 mg.kg⁻¹ (biochar). L'analyse de variance n'a pas montré de variations statistiquement significatives entre les traitements au niveau des sols.

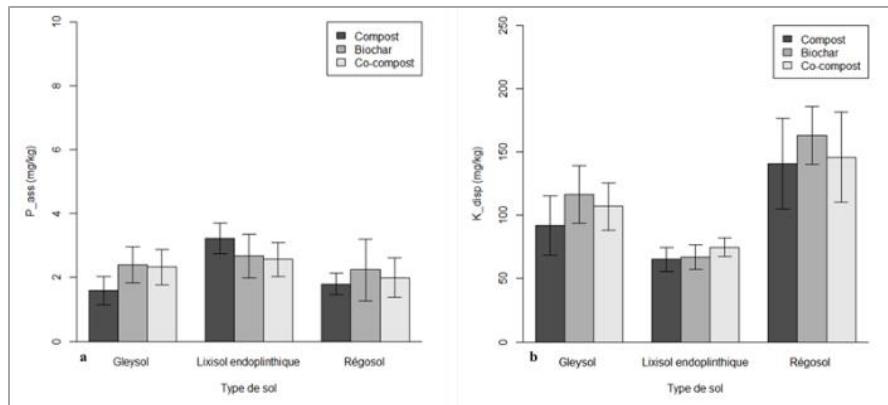


Figure 19: Teneurs en P_{ass} et K_{disp} des sols à Koumbia

3.3.3. Effets des amendements sur les paramètres chimiques des sols dans la zone de Massala

La figure 19 présente les valeurs du pH-H₂O et les teneurs en C_{org} dans les sols à Massala. Pour le pH-H₂O (Figure 20a), les valeurs se situent entre 5,8 (compost) et 6,2 (biochar) dans le lixivol chromique, et entre 6,0 (compost) et 6,4 (biochar et co-compost) dans le lixivol endoplinthique. Les valeurs du pH-H₂O dans le plinthosol se situent entre 6,0 (co-compost) et 6,1 (biochar et compost). L'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les traitements, quel que soit le type de sol.

Les teneurs en carbone organique (C_{org}) sont présentées dans la figure 20b. Dans le lixivol chromique et dans le plinthosol, les teneurs se situent entre 7,4 g.kg⁻¹ (compost) et 8,4 g.kg⁻¹ (biochar), et entre 11,9 g.kg⁻¹ (compost) et 13,5 g.kg⁻¹ (biochar et co-compost) respectivement. Les teneurs dans le lixivol endoplinthique se situaient entre 5,2 g.kg⁻¹ (compost) et 6,6 g.kg⁻¹ (biochar). L'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les traitements sur ces sols.

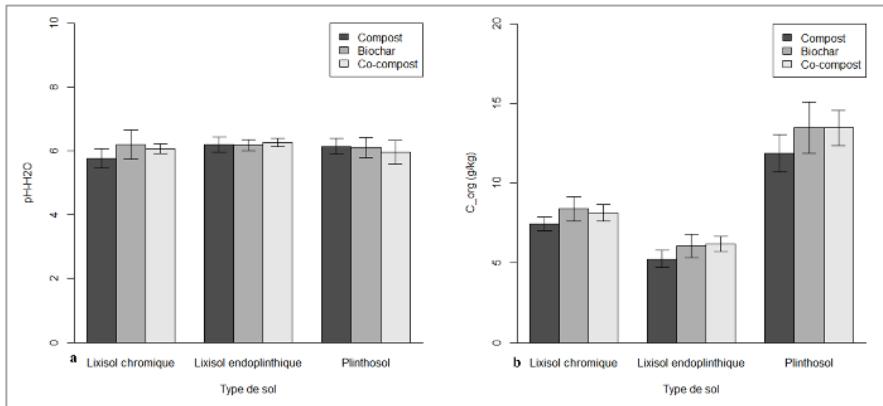


Figure 20: pH-H₂O et teneurs en C_{org} des sols à Massala

Les teneurs en azote total (N_{tot}) sont présentées dans la figure 21. Au niveau du lixisol chromique et dans le lixisol endoplinthique, les teneurs sont comprises entre 0,57 g.kg⁻¹ (compost) et 0,63 g.kg⁻¹ (biochar), et entre 0,41 g.kg⁻¹ (compost) et 0,43 g.kg⁻¹ (biochar et co-compost) respectivement. Dans le plinthosol, les teneurs en N_{tot} se situent entre 0,85 g.kg⁻¹ (compost) et 0,95 g.kg⁻¹ (biochar). L'analyse de variance ne montre pas de variations statistiquement significatives ($p \geq 0,05$) entre les traitements sur les trois types de sols.

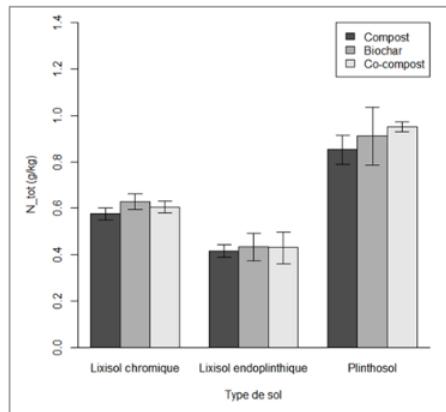


Figure 21: Teneurs en N_{tot} des sols à Massala

Les résultats d'analyse des teneurs en éléments biodisponibles sur les différents sols sont présentés dans la figure 22. Pour le phosphore assimilable (P_{ass}) (Figure 22a), les teneurs se situent entre 1,5 mg.kg⁻¹ (compost) et 2,6 mg.kg⁻¹ (biochar) au niveau du lixisol chromique. Sur le lixisol endoplinthique, les teneurs ont varié de 1,4 mg.kg⁻¹ (compost) à 2,0 mg.kg⁻¹ (biochar). Les teneurs sur le plinthosol ont varié de 1,7 mg.kg⁻¹ (compost) à 2,0 mg.kg⁻¹ (biochar et co-compost). L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les traitements pour le P_{ass} ($p \geq 0,05$) quel que soit le type de sol. Pour le potassium disponible (K_{disp}), les

teneurs sont comprises entre 63 mg.kg^{-1} (compost) et 114 mg.kg^{-1} (biochar) pour ce qui est du lixisol chromique, et entre 100 mg.kg^{-1} (compost) et 111 mg.kg^{-1} (co-compost) au niveau du lixisol endoplinthique (Figure 22a). Au niveau du plinthosol, la plus faible teneur en K_{disp} a été obtenue avec le compost (108 mg.kg^{-1}) et la plus forte avec le biochar (125 mg.kg^{-1}) (Figure 22b). L'analyse de variance n'a pas montré de variations statistiquement significatives entre les traitements au niveau des sols.

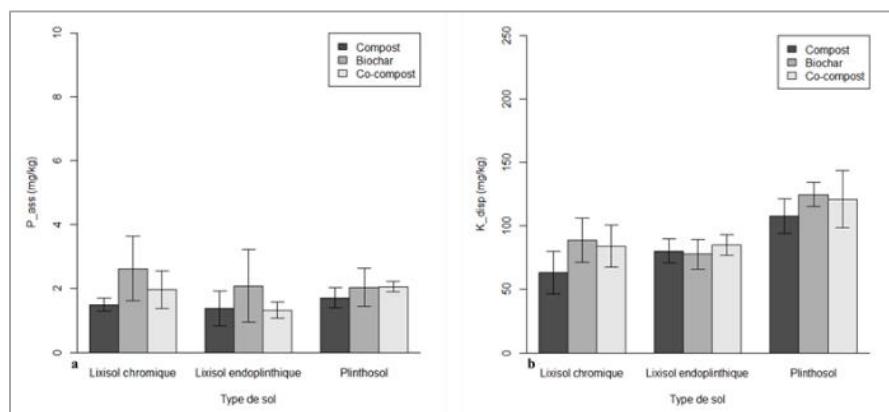


Figure 22: Teneurs en P_{ass} et K_{disp} des sols à Massala

3.3.4. Effets des amendements sur les paramètres de croissance et le rendement du cotonnier en 2018

Les paramètres de croissance et le rendement du cotonnier sur les sols du site de Koumbia sont présentés dans le tableau 13. Sur le gleysol, parmi les paramètre de croissance et de rendement, seul le rendement coton graine a varié significativement entre les traitements. Le meilleur résultat a été obtenu avec le biochar, qui a enregistré un rendement coton graine de 1313 kg.ha^{-1} . Le plus bas rendement coton graine a été enregistré sur le compost (1072 kg.ha^{-1}). Sur le lixisol endoplinthique, les diamètres à 30 JAS et 80 JAS ont montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les traitements. Les meilleurs résultats ($0,41 \text{ cm}$ à 30 JAS et $1,37 \text{ cm}$ à 80 JAS) ont été obtenus avec le co-compost. Les plus faibles ($0,29 \text{ cm}$ à 30 JAS et $1,24 \text{ cm}$ à 80 JAS) ont été obtenus avec le compost. Les hauteurs des plants et les rendements n'ont pas significativement varié entre les traitements. Sur le régosol, seul le diamètre à 80 JAS a connu une variation significative entre les traitements. Le meilleur résultat a été obtenu avec le co-compost ($1,64 \text{ cm}$). Le reste des paramètres de croissance et les rendements (coton graine et biomasse aérienne) n'ont pas connu de variation significative.

Une analyse comparative des différents sols montre que les paramètres de croissance les plus élevés ont été obtenus sur le régosol avec le co-compost. Le meilleur rendement coton graine a été enregistré sur le gleysol avec le biochar (1313 kg.ha^{-1}) et le meilleur rendement en biomasse aérienne a été observé sur le régosol avec le biochar (6003 kg.ha^{-1}).

Tableau 13: Variation des paramètres de croissance et des rendements du cotonnier sous l'effet des amendements sur les sols du site de Koumbia en 2018

Type de sol	Traitement	Diamètre 30JAS (cm)	Diamètre 80JAS (cm)	Hauteur 30JAS (cm)	Hauteur 80JAS (cm)	Rdt coton graine (kg.ha ⁻¹)	Rdt biomasse (kg.ha ⁻¹)
Gleysol	Compost	0,69 (±0,04)a	1,39 (±0,2)a	31 (±1)a	90 (±10)a	1072 (±19)a	2822 (±608)a
	Biochar	0,79 (±0,07)a	1,57 (±0,12)a	35 (±2)a	101 (±2)a	1313 (±14)b	3616 (±923)a
	Co-compost	0,78 (±0,07)a	1,53 (±0,30)a	34 (±4)a	100 (±13)a	1161 (±74)b	2842 (±376)a
	Probabilité	0,09	0,5	0,8	0,8	<0,001	0,2
	Signification	NS	NS	NS	NS	S	NS
Lixisol endoplin-thique	Compost	0,29 (±0,04)a	1,24 (±0,08)a	22 (±1)a	83 (±4)a	764 (±142)a	2158 (±235)a
	Biochar	0,35 (±0,01)a b	1,35 (±0,08)ab	24 (±2)a	89 (±7)a	842 (±189)a	2414 (±579)a
	Co-compost	0,41 (±0,05)b	1,37 (±0,03)b	24 (±2)a	89 (±3)a	872 (±181)a	2722 (±847)a
	Probabilité	0,01	0,04	0,4	0,2	0,5	0,7
	Signification	S	S	NS	NS	NS	NS
Régosol	Compost	0,74 (±0,05)a	1,44 (±0,12)a	35 (±3)a	114 (±8)a	688 (±148)a	5327 (±378)a
	Biochar	0,76 (±0,08)a	1,46 (±0,07)a	38 (±4)a	121 (±7)a	803 (±234)a	6003 (±507)a
	Co-compost	0,83 (±0,03)a	1,64 (±0,10)b	39 (±2)a	128 (±6)a	851 (±154)a	5322 (±1346)a
	Probabilité	0,1	0,04	0,2	0,06	0,5	0,5
	Signification	NS	S	NS	NS	NS	NS

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha < 0,05$ selon le test HSD de Tukey ; JAS : jour après semis ; Rdt : rendement

Les paramètres de croissance et le rendement du cotonnier en 2018 sur les sols du site de Massala sont présentés dans le tableau 14. Sur le lixisol chromique, l'analyse de variance n'a pas montré une différence significative entre les traitements pour les paramètres de croissance et les rendements. Sur le lixisol endoplinthique et le plinthosol, les diamètres ont significativement varié entre les traitements. Les meilleurs résultats sur le lixisol endoplinthique ont été obtenus avec le biochar (0,73 cm à 30 JAS et 1,42 cm à 80 JAS), et les plus faibles résultats ont été enregistrés sur le compost (0,59 cm à 30 JAS et 1,28 cm à 80 JAS). Le traitement biochar a également donné les meilleurs résultats (0,61 cm à 30 JAS et 1,41 cm à 80 JAS) sur le plinthosol. Les plus faibles résultats ont aussi été enregistré sur le compost (0,46 cm à 30 JAS et 1,26 cm à 80 JAS).

Une analyse comparative des sols montre néanmoins que le diamètre le plus élevé à 80 JAS (1,45cm) et les meilleurs rendements tant en coton graine (1877 kg.ha⁻¹) qu'en biomasse aérienne (5310 kg.ha⁻¹) ont été obtenus sur le lixisol chromique avec le biochar. Les meilleurs paramètres de croissance à 30 JAS ont été observés sur le lixisol endoplinthique avec le biochar (0,73 cm pour le diamètre et 34 cm pour la

Efficacité agronomique des amendements à base de biochar dans un contexte de Pédodiversité tropicale hauteur). La hauteur la plus élevée à 80 JAS a été observée sur le plinthosol avec le biochar (108 cm).

Tableau 14: Variation des paramètres de croissance et des rendements du cotonnier sous l'effet des amendements sur les sols du site de Massala en 2018

Type de sol	Traitement	Diamètre 30JAS (cm)	Diamètre 80JAS (cm)	Hauteur 30JAS (cm)	Hauteur 80JAS (cm)	Rdt coton graine (kg.ha ⁻¹)	Rdt biomasse (kg.ha ⁻¹)
Lixisol chromique	Compost	0,51 (±0,03)a	1,33 (±0,08)a	30 (±2)a	94 (±7)a	1575 (±221)a	5097 (±1364)a
	Biochar	0,53 (±0,04)a	1,42 (±0,18)a	31 (±3)a	101 (±13)a	1636 (±221)a	5070 (±1184)a
	Co-compost	0,53 (±0,04)a	1,45 (±0,17)a	33 (±2)a	100 (±8)a	1877 (±312)a	5310 (±1139)a
	Probabilité	0,6	0,6	0,1	0,5	0,2	0,9
	Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Lixisol endoplinthique	Compost	0,59 (±0,13)a	1,28 (±0,04)a	31 (±1)a	89 (±5)a	983 (±135)a	2957 (±865)a
	Biochar	0,73 (±0,04)b	1,42 (±0,06)b	34 (±2)a	95 (±3)a	1081 (±289)a	3492 (±677)a
	Co-compost	0,64 (±0,04)a	1,38 (±0,01)b	33 (±1)a	92 (±5)a	986 (±135)a	3965 (±267)a
	Probabilité	<0,001	0,002	0,09	0,2	0,8	0,1
	Signification	S	S	NS	NS	NS	NS
Plinthosol	Compost	0,46 (±0,05)a	1,26 (±0,02)a	25 (±1)a	101 (±13)a	770 (±61)a	2957 (±865)a
	Biochar	0,61 (±0,07)b	1,41 (±0,09)b	27 (±3)a	108 (±12)a	932 (±124)a	3492 (±677)a
	Co-compost	0,60 (±0,09)b	1,40 (±0,08)b	28 (±3)a	103 (±10)a	865 (±215)a	2887 (±260)a
	Probabilité	0,03	0,03	0,2	0,7	0,3	0,4
	Signification	S	S	NS	NS	NS	NS

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha < 0,05$ selon le test HSD de Tukey.; **JAS** : jour après semis ; **Rdt.** : rendement.

3.3.4. Effets des amendements sur les paramètres de croissance et le rendement du maïs en 2019

Le tableau 15 présente les paramètres de croissance et des rendements du maïs en 2019 sur les sols du site de Koumbia.

Sur le gleysol, la comparaison du diamètre à 60 JAS et des hauteurs à 30 JAS et 60 JAS a montré une différence significative entre les traitements. Pour le diamètre à 60 JAS, le co-compost est le traitement qui a donné le meilleur résultat avec 2,24 cm. La hauteur la plus élevée à 30 JAS (98cm) a été obtenue avec le même traitement. Par contre, c'est le biochar qui a enregistré la hauteur la plus importante à 60 JAS avec 180 cm respectivement. Sur le lixisol endoplinthique, les diamètres à 30 JAS et à 60 JAS ainsi que la hauteur à 30 JAS ont significativement varié entre les traitements. Les meilleurs résultats en termes de diamètre (1,68 cm à 30 JAS et 2,51 cm à 60 JAS) ont été obtenus avec le co-compost. La hauteur la plus élevée à 30 JAS (61 cm) a été obtenue à la fois avec le biochar et le Co-compost. Enfin sur le régosol, le diamètre à 60 JAS ainsi que les rendements maïs grain et biomasse aérienne ont significativement varié entre les traitements. Le biochar est le traitement qui a donné le meilleur

diamètre à 60 JAS (2,03 cm). Le co-compost a enregistré les meilleurs rendements avec 2248 kg.ha⁻¹ de maïs grain et 4618 kg.ha⁻¹ de biomasse aérienne. Les plus faibles paramètres de croissance et rendement ont été observés sur le compost (tableau 17).

Une analyse comparative des sols montre que le diamètre le plus élevé à 30 JAS (1,68 cm) et 60 JAS (2,51 cm), la hauteur la plus élevée à 60 JAS (189 cm) et les meilleurs rendements, ont été obtenus sur le lixivisol endoplinthique avec le co-compost pour la biomasse aérienne (4697 kg.ha⁻¹) et avec le biochar pour le maïs grain (3287 kg.ha⁻¹). La hauteur la plus importante à 30 JAS (68 cm) a été observée à la fois sur le gleyisol et le régosol avec le co-compost.

Tableau 15: Variation des paramètres de croissance et des rendements du maïs sous l'effet des amendements sur les sols du site de Koumbia en 2019

Type de sol	Traitement	Diamètre 30JAS (cm)	Diamètre 60JAS (cm)	Hauteur 30JAS (cm)	Hauteur 60JAS (cm)	Rdt maïs grain (kg.ha ⁻¹)	Rdt biomasse (kg.ha ⁻¹)
Gleyisol	Compost	1,50 (±0,20)a	1,81 (±0,2)a	55 (±4)a	160 (±9)a	nd	nd
	Biochar	1,61 (±0,07)a	2,05 (±0,03)ab	62 (±5)ab	180 (±13)b	nd	nd
	Co-compost	1,63 (±0,13)a	2,17 (±0,09)b	68 (±5)b	176 (±6)ab	nd	nd
	Probabilité	0,3	0,009	0,02	0,04	-	-
	Signification	NS	S	S	S	-	-
Lixisol endoplin-thique	Compost	1,44 (±0,12)a	2,12 (±0,17)a	54 (±3)a	170 (±11)a	2462 (±905)a	3814 (±796)a
	Biochar	1,65 (±0,06)b	2,41 (±0,09)ab	60 (±1)b	180 (±10)a	3287 (±421)a	4407 (±947)a
	Co-compost	1,68 (±0,50)b	2,51 (±0,24)b	61 (±3)b	189 (±12)a	3026 (±722)a	4697 (±892)a
	P-value	0,005	0,03	0,01	0,1	0,3	0,4
	Meaning	S	S	S	NS	NS	NS
Régosol	Compost	1,40 (±0,15)a	1,84 (±0,08)a	58 (±9)a	157 (±13)a	1483 (±232)a	3251 (±583)a
	Biochar	1,57 (±0,10)a	2,03 (±0,06)b	66 (±7)a	174 (±10)a	2160 (±391)ab	4380 (±617)ab
	Co-compost	1,63 (±0,10)a	2,00 (±0,07)ab	68 (±9)a	178 (±16)a	2248 (±436)b	4618 (±518)b
	P-value	0,05	0,01	0,4	0,1	0,04	0,01
	Meaning	NS	S	NS	NS	S	S

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha < 0,05$ selon le test HSD de Tukey. **JAS** : jour après semis ; **Rdt** : rendement

Les paramètres de croissance et des rendements du maïs en 2019 sur les sols du site de Massala sont présenté dans le tableau 16.

Sur le lixivisol chromique, seul le rendement biomasse a varié significativement entre les traitements ($p < 0,001$). Le meilleur rendement a été obtenu avec le co-compost (5016 kg.ha⁻¹) et le plus faible rendement a été enregistré sur le compost (3879 kg.ha⁻¹). Sur le lixivisol endoplinthique, le diamètre à 60 JAS ainsi que le rendement biomasse ont significativement varié entre les traitements ($P < 0,05$). Le meilleur résultat en termes de diamètre à 60 JAS a été obtenu avec le co-compost (2,66 cm). Le plus faible diamètre à la même date de mesure a été obtenu avec le compost

(2,40 cm). Le rendement biomasse aérienne le plus élevé a été obtenu avec le Co-compost (4560 kg.ha^{-1}). Le compost est le traitement ayant enregistré le plus faible rendement biomasse, avec 3414 kg.ha^{-1} . Sur le plinthosol, le diamètre à 60 JAS, la hauteur à 30 JAS ainsi que les rendements maïs grains et biomasse aérienne ont significativement varié entre les traitements ($p<0,05$). Le co-compost est le traitement qui a donné le meilleur diamètre à 60 JAS avec 2,57 cm. Le compost a enregistré le plus faible diamètre avec 2,05 cm à 60 JAS. La meilleure hauteur à 30 JAS a été enregistrée sur le co-compost (63 cm). Le plus faible résultat a été obtenu avec le compost (54 cm). Le biochar est le traitement qui a donné les meilleurs rendements avec 3441 kg.ha^{-1} de maïs grain et 4332 kg.ha^{-1} de biomasse aérienne. Le compost a enregistré les plus faibles rendements avec 2481 kg.ha^{-1} de maïs grain et 3273 kg.ha^{-1} de biomasse aérienne.

L'analyse comparative des différents sols montre que les paramètres de croissance et les rendements les plus élevés ont été obtenus sur le lixivisol chromique.

Tableau 16: Variation des paramètres de croissance et des rendements du maïs en 2019 à Massala

Type de sol	Traitements	Diamètre 30JAS (cm)	Diamètre 60JAS (cm)	Hauteur 30JAS (cm)	Hauteur 60JAS (cm)	Rdt maïs grain (kg.ha^{-1})	Rdt biomasse (kg.ha^{-1})
Lixisol chromique	Compost	2,06 ($\pm 0,08$ a)	2,53 ($\pm 0,08$ a)	80 (± 4 a)	185 (± 14 a)	3431 (± 168 a)	3879 (± 270 a)
		2,02 ($\pm 0,03$ a)	2,74 ($\pm 0,14$ a)	82 (± 7 a)	196 (± 8 a)	4058 (± 595 a)	4821 (± 82 b)
	Biochar	2,11 ($\pm 0,13$ a)	2,77 ($\pm 0,16$ a)	85 (± 1 a)	200 (± 8 a)	4140 (± 529 a)	5016 (± 342 b)
		<i>P-value</i> NS	0,06 NS	0,4 NS	0,1 NS	0,1 NS	<0,001 S
	Co-compost	1,94 ($\pm 0,08$ a)	2,40 ($\pm 0,08$ a)	62 (± 3 a)	178 (± 2 a)	3051 (± 785 a)	3414 (± 796 a)
		2,05 ($\pm 0,10$ a)	2,54 ($\pm 0,07$ ab)	64 (± 4 a)	184 (± 3 a)	3505 (± 372 a)	4388 (± 359 ab)
Lixisol endoplin thique	Biochar	2,08 ($\pm 0,05$ a)	2,66 ($\pm 0,09$ b)	64 (± 4 a)	190 (± 3 a)	3369 (± 211 a)	4560 (± 359 b)
		<i>P-value</i> NS	0,006 S	0,8 NS	0,1 NS	0,5 NS	0,02 S
	Co-compost	1,59 ($\pm 0,11$ a)	2,05 ($\pm 0,08$ a)	54 (± 4 a)	173 (± 11 a)	2481 (± 137 a)	3273 (± 622 a)
		1,65 ($\pm 0,06$ a)	2,46 ($\pm 0,17$ b)	62 (± 3 b)	187 (± 11 a)	3441 (± 392 b)	4332 (± 550 b)
	Compost	1,68 ($\pm 0,05$ a)	2,57 ($\pm 0,27$ b)	63 (± 5 b)	188 (± 10 a)	3010 (± 129 b)	4271 (± 324 ab)
		<i>P-value</i> NS	0,009 S	0,02 S	0,1 NS	0,001 S	0,03 S

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha < 0,05$ selon le test HSD de Tukey. **JAS** : jour après semis ; **Rdt** : rendement

3.3.5. Effets des amendements sur les paramètres de croissance et le rendement du maïs en 2020

Les données sur les paramètres de croissance et les rendements du cotonnier du site de Koumbia sont présentés dans le tableau 17.

Sur le gleysol, les diamètres et les hauteurs à 80 JAS ainsi que les rendements coton graine et biomasse aérienne ont varié significativement entre les traitements ($p<0,05$). Le biochar a donné le meilleur diamètre à 80 JAS (1,67 cm). Le compost a enregistré le plus faible diamètre à 80 JAS avec 1,30 cm. Le meilleur résultat en termes de hauteur à 80 JAS (117 cm) a été enregistré sur le co-compost. La plus faible hauteur à 80 JAS (98 cm) a été enregistrée sur le compost (tableau 8). Le biochar a enregistré les rendements les plus élevés, avec 1772 kg.ha^{-1} de coton graine et 4244 kg.ha^{-1} de biomasse aérienne.

Sur le lixivisol endoplinthique, les hauteurs à 30 JAS et 80 JAS ainsi que les rendements coton graine et biomasse aérienne ont varié significativement entre les traitements ($p<0,05$). Pour la hauteur, les meilleurs résultats à 30 JAS (39 cm) et à 80 JAS (102 cm) ont été obtenus avec le co-compost. Les hauteurs les plus faibles ont été observées sur le compost à 60 JAS et 80 JAS avec 83 cm et 98 cm respectivement. Les meilleurs rendements ont été enregistrés sur le co-compost avec 1772 kg.ha^{-1} de coton graine et 4244 kg.ha^{-1} de biomasse aérienne. Le compost a donné les plus faibles rendements avec 1547 kg.ha^{-1} de coton graine et 3434 kg.ha^{-1} de biomasse aérienne.

Sur le régosol, l'analyse de variance a montré une différence significative entre les traitements pour tous les paramètres de croissances et les rendements ($p<0,05$). Pour le diamètre, les meilleurs résultats à 30 JAS (0,86 cm) et 80 JAS (1,51 cm) ont été obtenus avec le co-compost. Ce traitement a enregistré les meilleurs résultats en termes de hauteurs des plantes avec 51 cm à 30 JAS et 116 cm à 80 JAS. Le rendement coton graine le plus élevé (1792 kg.ha^{-1}) a été obtenu avec le co-compost tandis que le biochar donnait le meilleur rendement biomasse aérienne (4150 kg.ha^{-1}). Les plus faibles paramètres de croissance et rendements ont été obtenus avec le compost (tableau 19).

Une comparaison des sols montre que le diamètre le plus élevé à 30 JAS (0,86 cm), la hauteur la plus élevée à 30 JAS (51 cm) et 80 JAS (116 cm) ainsi que le meilleur rendement en coton graine (1792 kg.ha^{-1}) ont été obtenus sur le régosol avec le co-compost. Le meilleur diamètre à 80 JAS (1,6 cm) a été observé sur le gleysol avec le biochar. Le co-compost du lixivisol endoplinthique a donné le meilleur rendement en biomasse aérienne (4244 kg.ha^{-1}).

Tableau 17: Variation des paramètres de croissance et des rendements du cotonnier sous l'effet des amendements sur les sols du site de Koumbia en 2020

Type de sol	Traitement	Diamètre 30JAS (cm)	Diamètre 80JAS (cm)	Hauteur 30JAS (cm)	Hauteur 80JAS (cm)	Rdt coton graine (kg.ha ⁻¹)	Rdt biomasse (kg.ha ⁻¹)
Gleysol	Compost	0,71 (±0,09)a	1,30 (±0,11)a	34 (±3,3)a	98 (±5,5)a	1073 (±109)a	2225 (±605)a
	Biochar	0,83 (±0,13)a	1,67 (±0,16)b	42 (±5,4)a	112 (±7,0)b	1547 (±137)b	3434 (±308)b
	Co-compost	0,80 (±0,08)a	1,59 (±0,23)ab	43 (±6,6)a	114 (±6,3)b	1448 (±203)b	3180 (±497)ab
Lixisol endoplin-thique	Probabilité Signification	0,3 NS	0,03 S	0,07 NS	0,01 S	0,004 S	0,01 S
	Compost	0,56 (±0,11)a	1,01 (±0,06)a	27 (±5,5)a	88 (±7,2)a	1493 (±17)a	2931 (±361)a
	Biochar	0,64 (±0,05)a	1,30 (±0,20)b	38 (±4,5)b	100 (±2,8)b	1746 (±112)b	3963 (±435)b
Régosol	Co-compost	0,65 (±0,09)a	1,27 (±0,12)b	39 (±6,9)b	102 (±3,5)b	1772 (±74)b	4244 (±341)b
	Probabilité Signification	0,3 NS	0,03 S	0,03 S	0,006 S	0,001 S	0,002 S
	Compost	0,67 (±0,07)a	1,23 (±0,10)a	43 (±1,6)a	103 (±3,4)a	1388 (±103)a	2916 (±518)a
	Biochar	0,81 (±0,04)b	1,46 (±0,08)b	50 (±3,7)b	113 (±4,6)b	1671 (±146)ab	4150 (±307)b
	Co-compost	0,86 (±0,07)b	1,51 (±0,11)b	51 (±4,9)b	116 (±4,3)b	1792 (±198)b	3896 (±515)b
	Probabilité Signification	0,004 S	0,006 S	0,02 S	0,004 S	0,01 S	0,009 S

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha < 0,05$ selon le test HSD de Tukey. JAS : jour après semis ; Rdt : rendement

Les paramètres de croissance et les rendements du cotonnier par type de sols à Massala sont présentés dans le tableau 18.

Sur le lixisol chromique, le diamètre à 30 JAS et 80 JAS ainsi que la hauteur à 80 JAS et les rendements coton graine et biomasse aérienne ont significativement varié ($p < 0,05$). Le diamètre des plants le plus élevé à 30 JAS (0,80 cm) a été obtenu avec les traitements biochar et co-compost. Le diamètre le plus élevé à 80 JAS (1,26 cm) a été obtenu avec le biochar. Le compost a enregistré les plus faibles diamètres à 30 JAS (0,74 cm) et à 80 JAS (1,16 cm). A 80 JAS, le co-compost a enregistré la hauteur la plus importante, avec 108 cm. Le biochar a donné les meilleurs rendements avec 2056 kg.ha⁻¹ en coton graine et 5969 kg.ha⁻¹ en biomasse aérienne. Le compost a

enregistré les plus faibles rendements avec 1681 kg.ha^{-1} en coton graine et 4577 kg.ha^{-1} en biomasse aérienne.

Sur le lixisol endoplinthique, les diamètres à 30 JAS et 80 JAS ainsi que la hauteur à 30 JAS ont significativement varié entre les traitements ($p<0,05$). Les meilleurs résultats en termes de diamètre ont été obtenus à 30 JAS avec le biochar (0,79 cm) et à 80 JAS avec le co-compost (1,16 cm). La hauteur la plus importante à 30 JAS (40 cm) a été obtenue avec le co-compost. La plus faible hauteur à 30 JAS (0,63 cm) a été obtenue avec le compost.

Enfin sur le plinthosol, l'analyse de variance a montré une différence significative entre les traitements pour les diamètres et les hauteurs à 80 JAS ainsi que les rendements ($p<0,05$). Pour le diamètre, le meilleur résultat à 80 JAS a été obtenu avec le co-compost (1,40 cm). Le compost a enregistré le plus faible diamètre à 80 JAS (1,11cm). Le biochar a enregistré la meilleure hauteur à 80 JAS (100 cm). La plus faible hauteur à 80 JAS a été obtenue avec le compost (85 cm). Le co-compost a donné les meilleurs rendements, avec 1915 kg.ha^{-1} en coton graine et 4368 kg.ha^{-1} en biomasse aérienne. Les plus faibles rendements en coton graine et en biomasse aérienne ont été obtenus avec le compost avec 1497 kg.ha^{-1} et 3079 kg.ha^{-1} respectivement.

Une analyse comparative des sols montre que les hauteurs les plus élevées et les meilleurs rendements ont été obtenus sur le lixisol chromique avec le co-compost pour la hauteur à 80 JAS (108 cm) et le biochar pour la hauteur à 30 JAS (41 cm), le rendement en coton graine (2056 kg.ha^{-1}) et en biomasse aérienne (5969 kg.ha^{-1}). Les meilleurs diamètres ont été enregistrés sur le plinthosol avec le biochar pour le diamètre à 30 JAS (0,93 cm), et le co-compost pour le diamètre à 80 JAS (1,40 cm).

Tableau 18: Variation des paramètres de croissance et des rendements du cotonnier sous l'effet des amendements sur les sols du site de Massala en 2020

Type de sol	Traitement	Diamètre 30JAS (cm)	Diamètre 80JAS (cm)	Hauteur 30JAS (cm)	Hauteur 80JAS (cm)	Rdt coton graine (kg.ha ⁻¹)	Rdt biomasse (kg.ha ⁻¹)
Lixisol chromique	Compost	0,74 (±0,00)a	1,16 (±0,05)a	37 (±3)a	96 (±2)a	1681 (±170)a	4577 (±489)a
	Biochar	0,80 (±0,03)b	1,28 (±0,05)b	41 (±2)a	104 (±4)ab	2056 (±143)b	5969 (±510)b
	Co-compost	0,80 (±0,03)b	1,26 (±0,05)ab	40 (±3)a	108 (±9)b	2021 (±225)ab	5478 (±582)ab
	Probabilité	0,02	0,02	0,08	0,04	0,03	0,01
	Signification	S	S	NS	S	S	S
Lixisol endoplinthique	Compost	0,63 (±0,02)a	0,99 (±0,02)a	35 (±1)a	73 (±7)a	621 (±237)a	1671 (±637)a
	Biochar	0,79 (±0,07)b	1,15 (±0,03)b	39 (±2)ab	82 (±8)a	766 (±175)a	2198 (±485)a
	Co-compost	0,77 (±0,05)b	1,16 (±0,04)b	40 (±5)b	84 (±10)a	823 (±170)a	2168 (±485)a
	Probabilité	0,01	<0,001	0,04	0,2	0,4	0,4
	Signification	S	S	S	NS	NS	NS
Plinthosol	Compost	0,61 (±0,09)a	1,11 (±0,11)a	33 (±5,7)a	85 (±4)a	1497 (±261)a	3079 (±287)a
	Biochar	0,93 (±0,30)a	1,34 (±0,20)ab	38 (±2)a	100 (±4)b	1871 (±149)ab	4326 (±578)b
	Co-compost	0,74 (±0,09)a	1,40 (±0,08)b	38 (±4)a	99 (±2)b	1915 (±202)b	4368 (±777)b
	Probabilité	0,2	0,03	0,05	<0,001	0,03	0,02
	Signification	NS	S	NS	S	S	S

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha < 0,05$ selon le test HSD de Tukey.; **JAS** : jour après semis ; **Rdt.** : rendement

3.3.6. Variation des paramètres de croissance et le rendement du cotonnier de 2018 et 2020

La variation des rendements et des paramètres de croissance du cotonnier de 2018 et 2020 par type de sol à Koumbia sont présentées dans les figures 23 et 24.

Les résultats sur le gleysol en 2020 par rapport à ceux de 2018 révèlent une augmentation de 4% du diamètre à 30 JAS au niveau du compost contre une diminution de 2% aux niveau des amendements à base de biochar a été constatée. A 80 JAS, le diamètre des plantes ont, au contraire, diminué de 7% au niveau du compost et ont augmenté de 6% et 5% au niveau du biochar et du co-compost respectivement. Les hauteurs à 30 et 80 JAS ont augmenté sur tous les traitements. Les augmentations de la hauteur à 30 JAS sont respectivement de 11%, 20 % et 27% pour le compost, le biochar et le co-compost. Les augmentations de la hauteur à 80 JAS sont de 10%, 11% et 14% pour le compost, le biochar et le co-compost respectivement. Le rendement coton graine a augmenté de 0,1%, 18% et 25% pour le compost, le biochar et le co-compost respectivement. Quant à la biomasse elle a accru de 7% et 14% pour le biochar et le co-compost contre une réduction de 16% pour le compost.

Sur le lixivisol endolithique, la comparaison des résultats de 2018 et 2020 révèle une augmentation du diamètre à 30 JAS, des hauteurs à 30 et 80 JAS. Les augmentations du diamètre à 30 JAS sont respectivement de 93%, 83% et 53% pour le compost, le biochar et le co-compost. Les augmentations de la hauteur à 30 JAS sont respectivement de 23%, 58% et 63% pour le compost, le biochar et le co-compost. Celles de la hauteur à 80 JAS sont de 6%, 12% et 15% pour le compost, le biochar et le co-compost respectivement. Une augmentation des rendements en coton graine et en biomasse aérienne a été enregistrée au niveau de tous les traitements. Les augmentations du rendement en coton graine sont respectivement de 95%, 107% et 103% pour le compost, le biochar et le co-compost. Celles du rendement en biomasse sont respectivement de 39%, 64% et 56% pour le compost, le biochar et le co-compost.

Enfin sur le Régosol, la comparaison des données des deux années montre une augmentation du diamètre à 30 JAS de l'ordre de 7 et 3 % pour le biochar et le co-compost contre une diminution de 9% pour le compost. Par contre le diamètre à 80JAS a diminué respectivement de 18%, 4% et 7% pour le compost, le biochar et le co-compost. La hauteur à 30 JAS a accru de 24%, 32% et 31% respectivement pour le compost, le biochar et le co-compost. Contrairement, la hauteur à 80JAS a diminué de 9%, 6% et 9% pour le compost, le biochar et le co-compost. Le rendement coton graine a augmenté au niveau des trois traitements dans les proportions suivantes : 34% pour le compost, 48% pour le biochar et 53% pour le co-compost. Le rendement biomasse a diminué de 50% pour le compost, 31% pour le biochar et 22% pour le co-compost.

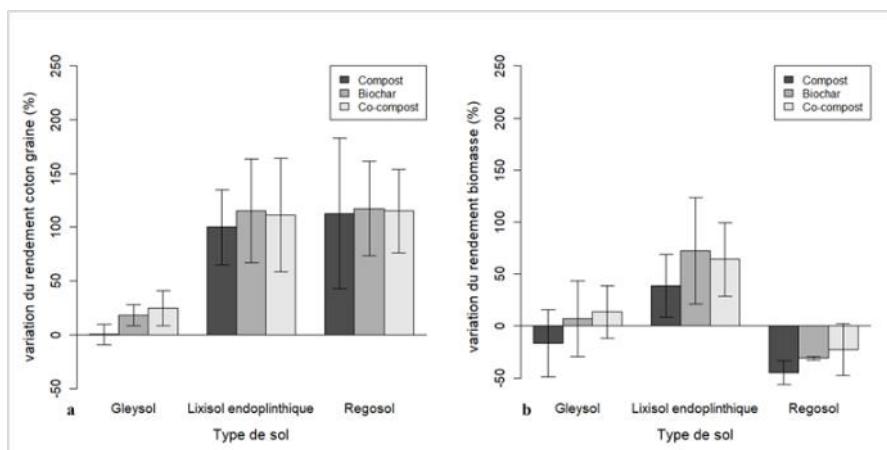


Figure 23: Variation des rendements du cotonnier de 2018 et 2020 à Koumbia

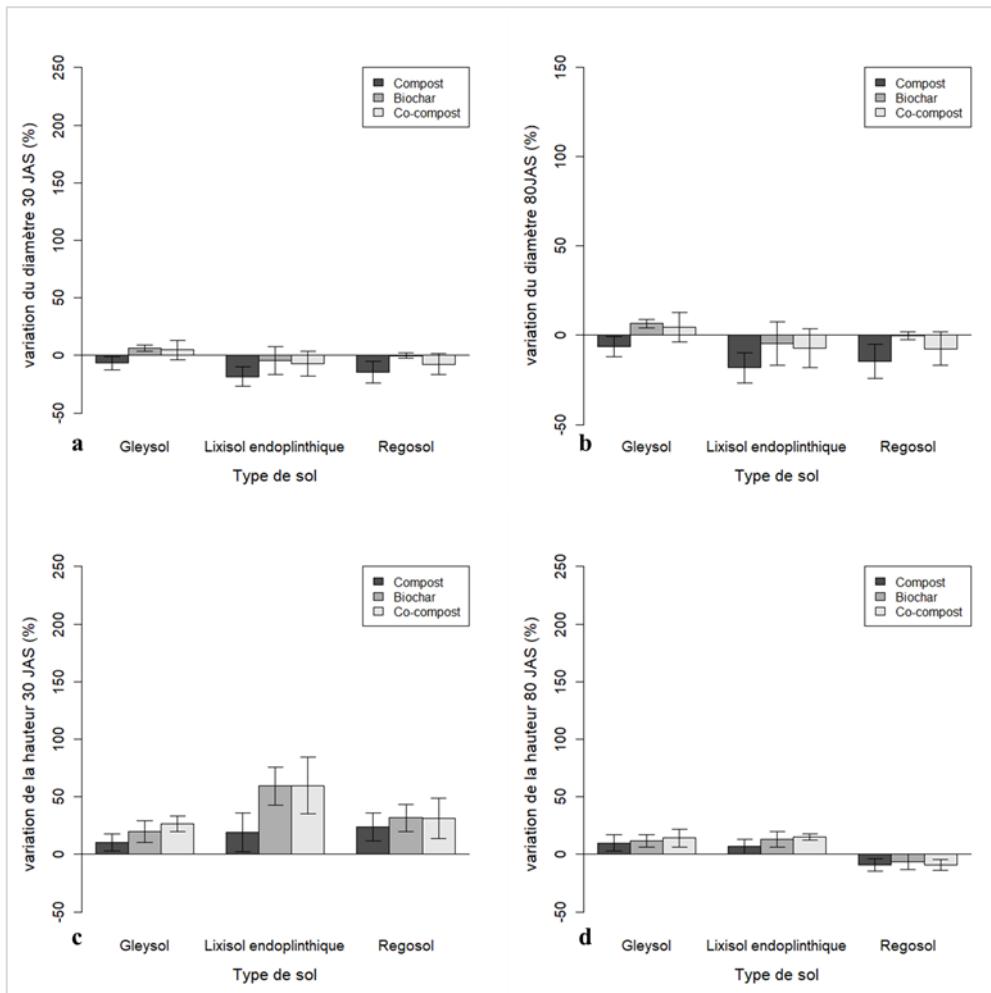


Figure 24: Variation des paramètres de croissance du cotonnier de 2018 et 2020 à Koumbia

Les figures 25 et 26 présentent la variation des rendements du cotonnier et des paramètres de croissance entre 2018 et 2020 par type de sol à Massala.

Sur a comparaison des résultats de 2018 et 2020 révèle une augmentation du diamètre à 30 JAS et de la hauteur à 30 JAS contrairement au diamètre à 80 JAS pour tous les traitements. Les augmentations du diamètre à 30 JAS sont respectivement de 47%, 51% et 52% pour le compost, le biochar et le co-compost. Les augmentations de la hauteur à 30 JAS sont respectivement de 28%, 31% et 24% pour le compost, le biochar et le co-compost. Le diamètre à 80 JAS a diminué de 13%, 11% et 13% pour le compost, le biochar et le co-compost. La hauteur à 80 JAS a augmenté de 11% et 8% pour le biochar et le co-compost alors qu'une diminution de 4% a été observée au niveau du compost. Une augmentation des rendements en coton graine a été enregistrée au niveau des amendements à base de biochar (biochar et co-compost)

contrairement au compost où une diminution de 1% a été enregistrée. Les augmentations du rendement en coton graine sont respectivement de 21% et 8% pour le biochar et le co-compost. Une augmentation des rendements en biomasse a été enregistrée au niveau de tous les traitements. Elles sont respectivement de 12%, 4% et 8% pour le compost, le biochar et le co-compost.

Sur le lixisol endoplinthique, les résultats de la comparaison montrent une augmentation du diamètre à 30 JAS et de la hauteur à 30 JAS. Par contre le diamètre à 80 JAS, la hauteur à 80 JAS, les rendements en coton graine et en biomasse ont baissé. Les augmentations du diamètre à 30 JAS sont respectivement de 7%, 5% et 20% pour le compost, le biochar et le co-compost. Les augmentations de la hauteur à 30 JAS sont respectivement de 11%, 15% et 27% pour le compost, le biochar et le co-compost. Les diminutions du diamètre à 80 JAS sont de 22%, 19% et 15% pour le compost, le biochar et le co-compost. Les réductions de la hauteur à 80 JAS sont de 22%, 7% et 11% pour le compost, le biochar et le co-compost. Les baisses du rendement en coton graine sont respectivement de 41%, 34% et 44% pour le compost, le biochar et le co-compost. Celles du rendement en biomasse aérienne sont respectivement de 32%, 26% et 15% pour le compost, le biochar et le co-compost.

Enfin sur le plinthosol, la comparaison des données des deux années montre une augmentation du diamètre à 30 JAS, de la hauteur à 30 JAS, des rendements en coton graine et en biomasse pour tous les traitements. Les augmentations du diamètre à 30 JAS sont de 32%, 27% et 24 % pour le compost, le biochar et le co-compost. La hauteur à 30 JAS a augmenté de 28%, 40% et 40 % pour le compost, le biochar et le co-compost respectivement. Les augmentations du rendement en coton graine sont respectivement de 11%, 30% et 51% pour le compost, le biochar et le co-compost. Le rendement en biomasse a augmenté de respectivement de 95%, 110% et 124% pour le compost, le biochar et le co-compost. Par contre, le diamètre à 80 JAS a diminué respectivement de 18%, 10% et 2% pour le compost, le biochar et le co-compost. La hauteur à 80 JAS a également diminué de 16% et 7% pour le compost et le co-compost tandis qu'une augmentation de 1% a été enregistrée au niveau du traitement biochar.

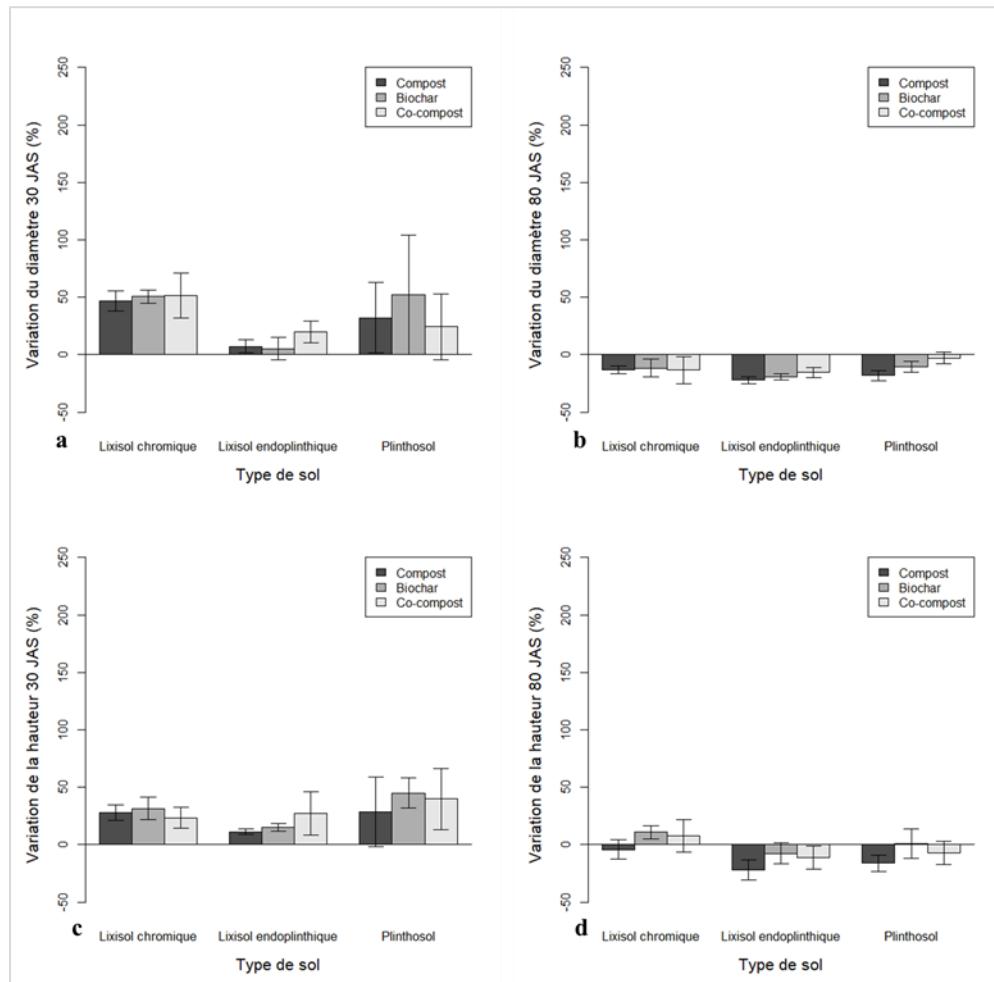


Figure 25: Variation des paramètres de croissance du cotonnier de 2018 et 2020 à Massala

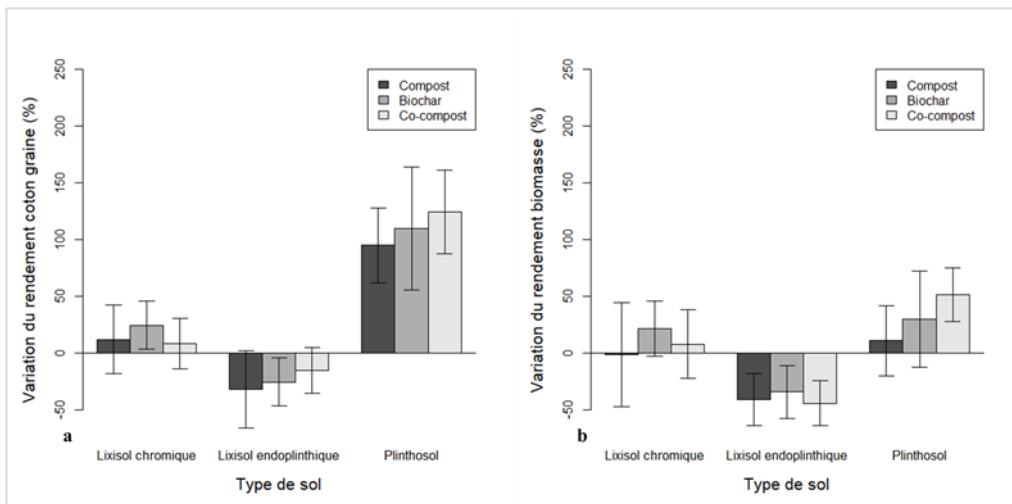


Figure 26: Variation des rendements du cotonnier de 2018 et 2020 à Massala

3.4. Discussion

3.4.1. Impact des amendements à base de biochar sur les propriétés chimiques des sols

L'analyse des caractéristiques chimiques des différents sols d'étude après deux ans d'apport, a révélé que l'ajout des amendements à base de biochar n'a pas eu d'incidence significative sur le pH-H₂O et les teneurs en carbone organique et en nutriments majeurs, comparativement au compost. Des résultats similaires ont été obtenus par Kartika *et al.* (2018) qui ont constaté que le biochar apporté à une dose de 4 t.ha⁻¹ n'a pas affecté la capacité d'échange cationique, le carbone organique, l'azote total et le potassium échangeable du sol au bout d'une campagne. Par contre, ces résultats sont en contradiction avec ceux obtenus par plusieurs auteurs (Mensah et Frimpong, 2018 ; El-Naggar *et al.*, 2019 ; Guo *et al.*, 2020) qui montrent que l'apport du biochar et du co-compost comme amendement permet une amélioration significative des propriétés chimiques du sol. Les différences de résultats pourraient s'expliquer par les techniques de production du biochar, la dose d'amendement apportées, la forme d'apport du biochar, la durée de l'expérimentation et la matière première utilisée pour produire le biochar.

La température de pyrolyse du biochar utilisé était comprise entre 650 et 700°C alors que les travaux de plusieurs auteurs (Wang *et al.*, 2015 ; Haddad, 2018 ; Hale *et al.*, 2020) ont montré que ce paramètre peut affecter la disponibilité des nutriments présents dans le biochar. En effet, Haddad (2018) a montré que les minéraux peuvent s'oxyder et leur solubilité diminuer au cours de la production du biochar lorsque la température de pyrolyse dépasse 500°C. Wang *et al.* (2015) ont constaté que la

fraction soluble du phosphore du biochar de coque d'arachide diminuait de près de 514% passant de 430 mg.kg⁻¹ à 70 mg.kg⁻¹ lorsque la température de pyrolyse est passée de 300°C à 600°C. Selon ces auteurs cette diminution du phosphore soluble est liée à la formation de phosphore cristallin moins solubles tel que le pyrophosphate de calcium (Ca₂P₂O₇) dans les biochar produits à hautes températures. En outre, le fait d'éteindre le biochar avec de l'eau, comme cela l'a été dans notre cas, a favorisé une perte de la cendre qui est riche en minéraux. Hale *et al.* (2020) ont constaté que le biochar non lavé avait la plus grande concentration de P, K, Mg et le pH le plus élevé comparativement au biochar lavé.

La dose d'application de 2,5 t.ha⁻¹.an⁻¹ plus faible que celle des autres études mais représentative de la disponibilité en biomasse pour la production du biochar, pourrait aussi expliquer nos résultats. Martinsen *et al.*, (2015) et Pandit *et al.*(a) (2018) ont obtenu des effets significatifs en utilisant des doses de 30 et 40 t.ha-1 respectivement. Futa *et al.* (2020) ont constaté aussi que la teneur du sol en nutriments augmentait avec l'augmentation du taux d'application du biochar.

La taille des particules de biochar utilisé dans la présente étude était >2 mm, alors qu'il est admis que l'application de biochar à particule ≤ 1 mm augmente la concentration de P disponible, comparativement au biochar à particules >1 mm qui a tendance à la diminuer (Kartika *et al.*, 2018). La durée limitée de l'essai pourrait aussi expliquer en partie l'absence d'effets sur les propriétés physico-chimiques du sol. Nos échantillons de sol ont été prélevés au bout de 2 campagnes après l'application des amendements, alors que Futa *et al.* (2020) ont constaté 48, 60 et 72 mois après l'application de biochar au sol, que les teneurs en carbone organique total et en azote total dans le sol amendé au biochar étaient significativement plus élevés que dans le témoin. Ils expliquent cela par la récalcitrance du C_{org} dans le biochar et la capacité du biochar, une fois au sol, à stocker l'azote en réduisant le lessivage des ions N-NO₃⁻ et également à accroître l'activité des bactéries fixatrices d'azote (Clough et Condron, 2010 ; Anderson *et al.*, 2012 ; Clough *et al.*, 2013).

3.4.2. Les effets des amendements à base de biochar sur les paramètres de croissance et les rendements des cultures

Les amendements à base de biochar mélangés aux engrains inorganiques augmentent généralement les rendements des cultures en zone tropicale (Pandit *et al.*, 2018 (b) ; Hale *et al.*, 2020). Dans cette étude menée sur différents types de sols tropicaux pendant trois ans, l'effet des amendements à base de biochar (biochar et co-compost) sur les paramètres de croissance et les rendements des cultures a été progressif au fil du temps sur les différents types de sol. En première année (2018), des améliorations significatives du diamètre ont été observées sur le plinthosol et les lixivols endoplinthiques. Une augmentation significative du rendement coton graine a été observée sur le gleysol. La texture pourrait expliquer cette différence entre ces sols et les deux autres types de sol (lixisol chromique et régosol). Les textures limoneuse du lixivol chromique et argilo-limoneuse du régosol étant plus fines que les textures limono-argilo-sableuse du gleysol et sablo-limoneuse des lixivols endoplinthiques et du plinthosol, les effets des amendements à base de biochar se font sentir plus rapidement sur ces dernières. En effet, il est admis que les effets du biochar diminuent au fur et à mesure que la texture devient fine (Omondi *et al.*, 2016), du moment où les

particules de biochar se comportant en agents de liaison organiques dans les sols à texture moins fine, améliore plus l'agrégation du sol que dans les sols à texture très fine (Blanco-Canqui, 2017). La propension du biochar à libérer lentement les nutriments dans le sol au profit des plantes, pourrait expliquer cette absence d'effets significatifs en première année d'application sur les paramètre de croissance et surtout sur les rendements du cotonnier dans la plupart des sols. Des travaux antérieurs ont montré que le biochar pourrait retenir les nutriments essentiels, et ensuite les libérer lentement au fil du temps au profit des plantes (Kartika *et al.*, 2018 ; Gwenzi *et al.*, 2018 ; An *et al.*, 2020 ; Bakshi *et al.*, 2021). Par ailleurs certains nutriments contenus dans le biochar ne peuvent devenir directement disponibles que grâce au processus de solubilisation ou à l'activité microbienne (Carter *et al.*, 2013).

En deuxième et troisième année, l'amendement des sols avec le biochar et le co-compost a eu des effets positifs sur les paramètres de croissance et les rendements sur les types de sols. En 2019, les effets étaient significatifs sur les paramètres de croissance du maïs au niveau du gleysol et du lixisol endoplinthique, et sur le diamètre à 60 JAS et les rendements du maïs au niveau du régosol à Koumbia. A Massala, les améliorations étaient significatives sur le rendement de la biomasse au niveau du lixisol chromique et sur les paramètres de croissance et les rendements du maïs au niveau du lixisol endoplinthique et du plinthosol. En 2020, les effets ont été encore plus perceptibles et étaient significatifs sur les paramètres de croissance et le rendement du cotonnier au niveau des trois types de sol à Koumbia. A Massala, les améliorations étaient également significatives sur les rendements et les paramètres de croissance du cotonnier au niveau du plinthosol et du lixisol chromique et sur les paramètres de croissance au niveau du lixisol endoplinthique. L'ajout de 2,5 t.ha⁻¹ supplémentaire d'amendements (compost, biochar et co-compost) en 2019 pourrait expliquer le regain d'effet des amendements à base de biochar sur les rendements des cultures. Cet ajout a certainement accru l'influence des amendements à base de biochar sur la disponibilité des nutriments minéraux dans le sol, l'humidité du sol, la fixation de l'azote biologique et la rétention des nutriments (Das *et al.*, 2021). De plus, le biochar contribue à augmenter la capacité d'échange cationique (CEC) du sol, et à améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote en réduisant les pertes d'azote par lessivage et par volatilisation de l'ammoniac (Munera-Echeverri *et al.*, 2018 ; Borchard *et al.*, 2019), toute chose qui favorise l'amélioration des rendements des cultures (Farhangi-Abriz *et al.*, 2021). L'absence d'effets significatifs sur les rendements du cotonnier au niveau du lixisol endoplinthique, est certainement liée au semi tardif de l'essai. Sur ce point, les travaux de Bilal *et al.* (2015) et Amonmidé *et al.* (2020) ont montré que les semis tardifs sont souvent confrontés à des conditions environnementales (excès de température, pluies abondantes ou déficitaires) préjudiciables au développement et au maintien des organes fructifères du cotonnier.

3.5. Conclusions

L'objet de cette étude était d'évaluer l'effet des amendements à base de biochar sur les propriétés physico-chimiques du sol et les paramètres agronomiques du cotonnier et du maïs dans un système de rotation sur plusieurs types de sols tropicaux dans la

zone ouest du Burkina Faso. Les résultats montrent qu'appliqués à la dose de 2,5 t.ha^{-1.an⁻¹ pendant deux ans, les amendements à base de biochar n'influencent pas les propriétés chimiques des sols au cours des deux premières années. Par contre ils ont un effet positif sur les paramètres de croissance et le rendement coton graine dans des sols à texture moins fine (limono-sableuse et limono-argilo-sableuse) comparativement aux sols à texture fine de surface. Par ailleurs, les avantages sur les paramètres de croissance et le rendement des cultures sont, en général, en fonction du temps de résidence de l'amendement dans les sols.}

Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre pourquoi les amendements à base de biochar n'améliorent pas les propriétés chimiques des sols. Nous soupçonnons la taille des particules de biochar utilisé qui étaient >2mm dans cette étude.

3.6. Références bibliographiques

- Amonmidé, I., Fayalo, G.D., Dagbenonbakin, G.D., 2020. Effet de la période et densité de semis sur la croissance et le rendement du cotonnier au Bénin. *J. Appl. Biosci.*, 152: 15676 - 15697
- An, X., Wu, Z., Shi, W., Qi, H., Zhang, L., Xu, X. et Yu, B., 2020 Biochar for simultaneously enhancing the slow-release performance of fertilizers and minimizing the pollution of pesticides. *Journal of Hazardous Materials*, 407, 124865
- Anderson, C.R., Condron, L.M., Clough, T.J., Fiers, M., Stewart, A., Hill, R.A. et Sherlock, R.R., 2011. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia*, 54: 309-320.
- Antonangelo, J.A., Sun, X. et hang, H., 2021. The roles of co-composted biochar (COMBI) in improving soil quality, crop productivity, and toxic metal amelioration. *Journal of Environmental Management* 277, 111443
- Bakshi, S., Banik, C., Laird, D.A., Smith R. et Brown R.C., 2021. Enhancing Biochar as Scaffolding for Slow Release of Nitrogen Fertilizer. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 9, 8222-8231
- Bashir, A., Rizwan, M., Ur Rehman, Z.M., Zubair, M., Riaz, M., Qayyum, M.F., Alharby, H.F., Mamagoos, A.A. et Ali, S., 2020. Application of co-composted farm manure and biochar increased thewheat growth and decreased cadmium accumulation in plants under different water regimes. *Chemosphere*, 246,125809
- Bass, A.M., Bird, M.I., Kay, G. et Muirhead, B., 2016. Soil properties, greenhouse gas emissions and crop yield under compost, biochar and co-composted biochar in two tropical agronomic systems. *Sci. Total Environ.*, 550: 459-470
- Bilal, M.F., Saleem, M.F., Wahid, M.A., Saeed, A., et Anjum, S.A., 2015. Varietal comparison of Bt and non Bt cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under different sowing dates and nitrogen rates. *Soil & Environment*, 34(1): 34-43

- Blanco-Canqui, H., 2017. Biochar and Soil Physical Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 81:687-711
- Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M.L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J.M., Fuertes-Mendizabal, T., Sigua, G., Spokas, K., Ippolito, J.A. et Novak, J., 2019. Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N₂O emissions: A meta-analysis. *Sci. Total Environ.*, 651: 2354-2364
- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B. et Haefele, S., 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3(2): 404-418
- Cissé, M., Bationo, B. A., Traoré, S. et Boussim, I. J., 2018. Perception d’espèces agroforestières et de leurs services écosystémiques par trois groupes ethniques du bassin versant de Boura, zone soudanienne du Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 338 : 29-42.
- Clough, T. et Condron, L., 2010. Biochar and the Nitrogen Cycle: Introduction. *J. Environ. Qual.*, 39: 1218-1223.
- Clough, T., Condron, L., Kammann, C. et Müller, C. A., 2013. review of biochar and soil nitrogen dynamics. *Agronomy*, 3: 275-293.
- Das, S.K., Ghosh, G.K., Avasthe, R., Kundu, M.C., Choudhury, B.U., Baruah, K. et Lama, A., 2021. Innovative biochar and organic manure co-composting technology for yield maximization in maize-black gram cropping system. *Biomass Conv. Bioref.* <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01519-5>
- Duku, M.H., Gu, S. et Hagen, E.B., 2011. Biochar Production Potential in Ghana-a Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(8):3539-3551
- El-Naggar, A., Lee, S.S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A.K., Zimmerman, A.R., Ahmad, M., Shaheen, S.M. et Ok, Y.S., 2019. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma* 337: 536-554
- Farhangi-Abriz, S., Torabian, S. Qin, R., Noulas, C., Lu, Y. et Gao, S., 2021. Biochar effects on yield of cereal and legume crops using meta-analysis. *Sci. Total Environ.*, 775, 145869
- Futa, B., Oleszczuk, P., Andruszczak, S., Kwiecinska-Poppe, E. et Kraska, p., 2020. Effect of natural aging of biochar on soil enzymatic activity and physicochemical properties in long-term field experiment. *Agronomy*, 10, 449; doi:10.3390/agronomy10030449
- Gaunt J. and Lehmann J., 2008. Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Envir. Sci. & Tech.*, 42: 4152-4158.
- Glaser B. et Birk J. J., 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of anthropogenic dark earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochim. Cosmochim. Acta*. 82, 39-51

- Glaser, B., Wiedner, K., Seelig, S., Schmidt, H.P. et Gerber, H., 2014. Biochar organic fertilisers from natural resources as substitute for mineral fertilisers. *Agron. Sustain. Dev.*, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-014-0251-4>
- Guo, X-X., Liu, H-T. et Zhang, J., 2020. The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review. *Waste Manage.*, 102: 884-899
- Hailegnaw, N.S., Mercl, F., Pračke, K., Száková, J. et Tlusto, P., 2019. Mutual relationships of biochar and soil pH, CEC, and exchangeable base cations in a model laboratory experiment. *J Soils Sediments*, 19:2405-2416
- Hale, S.E., Nurida, N.L., Jubaedah, Mulder, J., Sørmo, E., Silvani, L., Abiven, S., Joseph, S., Sarasadat Taherymoosavi, S. et Cornelissen, G., 2020. The effect of biochar, lime and ash on maize yield in a long-term field trial in a Ultisol in the humid tropics. *Sci. Total Environ.*, 719; 137455
- Kalyani, G., Joga, R.H., Prasanna Kumar, Y. et King, P., 2016. Potential of biochar and compost in soil amendment for enhancing crop yield. *Int. J. Chem. Sci.*: 14(1), 2016, 173-185
- Kartika, K., Lakitan, b., Wijaya, A., Kadir, S., Widuri, L.I., Siaga, E. et Meihana, M., 2018. Effects of particle size and application rate of rice-husk biochar on chemical properties of tropical wetland soil, rice growth and yield. *AJCS* 12(05):817-826.
- Kawsar, A., Muhammad, A., Badshah, I., Zafar, H., Asad, A. et Farooq, S., 2018. Formulation of biochar based fertilizer for improving maize productivity and soil fertility. *Pakistan Journal of Botany*. 50. 135-141.
- Laird D.A., 2008. The charcoal vision: A win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal* 100:178–181.
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. et Karlen, D., 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3): 436-442.
- Lehmann J. et Stephen J., 2009. Biochar for Environmental Management: An Introduction, in: Lehmann, Johannes, Joseph, Stephen (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Earthscan, London and Sterling,VA, pp. 1-12.
- Lombo, D.J.P., Yé, L., Balboné, B. et Sori, S.I., 2021. Effets combinés du biocharbon et du fumier sur les propriétés physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical sous culture de mil en zone semi-aride du Burkina Faso. *J. Appl. Biosci.*, 157: 16161-16181
- Mensah, A.K. et Frimpong, K.A., 2018. Biochar and/or Compost Applications Improve Soil Properties, Growth, and Yield of Maize Grown in Acidic Rainforest and Coastal Savannah Soils in Ghana. *International Journal of Agronomy*, 1-8. doi:10.1155/2018/6837404
- Munera-Echeverri, J.L., Martinsen, V., Strand, L.T., Zivanovic, V., Cornelissen, G et

- Mulder, J., 2018. Cation exchange capacity of biochar: An urgent method modification. *Sci. Total Environ.*, 642: 190-197
- Omondi, M.O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P.K. et Pan. G. , 2016. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma*, 274:28-34.
- Onana-Onana L.G., 2015. Le Biochar : un charbon biologique adapté aux sols tropicaux acides, *AGRIDAPE*, 31 (1) :22-24
- Pandit, N. R., Mulder, J., Hale, S. E., Martinsen, V., Schmidt, H. P. et Cornelissen, G., 2018. Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil. *Sci. Total Environ.*, 625, 1380–1389.
- Pandit, N. R., Mulder, J., Hale, S. E., Zimmerman, A.R., Pandit, B.H. et Cornelissen, G., 2018. Multi-year double cropping biochar field trials in Nepal: Finding the optimal biochar dose through agronomic trials and cost-benefit analysis. *Science of the Total Environment* 637-638: 1333-1341
- Qayyum, M.F., Liaquat, F., Rehman R.A., Gul, M., Ul Hye, M.Z., Rizwan, M., et Ur Rehaman, Z.M., 2017. Effects of co-composting of farm manure and biochar on plant growth and carbon mineralization in an alkaline soil. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24: 26060-26068
- Qian, L., Zhang, W., Yan, J., Han, L., Gao, W., Liu, R. et Chen, M., 2016. Effective removal of heavy metal by biochar colloids under different pyrolysis temperatures. *Bioresource Technology*, 206: 217-224
- Schultz, H., Dunst, G. et Glaser, B., 2014. No effect level of co-composted biochar on plant growth and soil properties in a greenhouse experiment. *Agronomy* 4: 34–51
- SP/CONEEDD, 2010. Troisième rapport sur l'état de l'environnement au Burkina Faso, Secrétariat Permanent du Conseil National pour l'Environnement et du Développement Durable, Ouagadougou, Burkina Faso, 2014 p.
- Trupiano D., Cocozza C., Baronti S., Amendola C., Vaccari P. F., Lustrato G., Di Lonardo S., Fantasma F., Tognetti R. et Scippa G.S., 2017. The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. *International Journal of Agronomy*, vol. 2017, Article ID 3158207, 12 pages, 2017
- Wang, K., Zhang, J., Shanks B.H. et Brown, R.C., 2015. The deleterious effect of inorganic salts on hydrocarbon yields from catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass and its mitigation. *Applied Energy*, 148 :115-120
- Ye, L., Camps-Arbestain, M., Shen, Q., Lehmann, J., Singh, B. et Sabir, M., 2020. Biochar effects on crop yields with and without fertilizer: A meta-analysis of field studies using separate controls. *Soil Use Manage*, 36: 2-18
- Yu, H., Zou, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., Tang, H., Wei, X. et Gao, B., 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. *Journal of Environmental Management*, 232: 8-21

Chapitre 4

**Efficacité agronomique du co-compost dans
un système de rotation coton-maïs
(*Gossypium hirsutum* L., 1763 et *Zea mays*
L., 1753) sur un lixisol à l'ouest du Burkina
Faso.**

Chapitre 4. Efficacité agronomique du co-compost dans un système de rotation coton-maïs (*Gossypium hirsutum L.*, 1763 et *Zea mays L.*, 1753) sur un lixisol à l'ouest du Burkina Faso

4. Co-composted biochar to decrease fertilization rates in cotton–maize rotation in Burkina Faso

Drissa Cissé^{*1, 2, 3}, Jean Thomas Cornelis^{1,4}, Mamadou Traoré², Fatimata Saba^{1,2}, Kalifa Coulibaly², David Lefebvre¹, Gilles Colinet¹, Hassan Bismarck Nacro²

¹ TERRA Teaching and Research Centre, Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liege, Gembloux, Belgium

² Soil fertility study and research laboratory, Rural Development Institute (IDR), University Nazi Boni (UNB), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

³ Ministry of Agriculture and Hydro-agricultural Developments, Burkina Faso

⁴ Faculty of Land and Food Systems, The University of British Columbia, Vancouver, BC, V6T 1Z4 Canada

(Publié dans la revue *Agronomy Journal*)

Abstract

Agriculture in Burkina Faso rely on mineral fertilizers to reach decent crop production. Therefore, there is an urgent need to implement sustainable solutions that improve soil nutrient status while maintaining crop yields. Here we experiment the recycling of nutrients through the production of biochar from cotton stalks and its mixing with compost to improve soil properties of highly weathered Lixisol. The trials included three treatments: conventional compost (COMP-100), co-composted biochar (COMPBI-100), each with recommended fertilization rates (cotton = 16.3 kg of N.ha⁻¹, 15.1 kg of P.ha⁻¹ and 17.4 kg of K.ha⁻¹; maize= 21.8 kg of N.ha⁻¹, 20.1 kg of P.ha⁻¹ and 23.2 kg of K.ha⁻¹), and co-composted biochar with 75% of recommended NPK fertilizer rate (COMPBI-75). We amended the soil with compost at conventional rates used in Burkina Faso, i.e. 2.5 t.ha⁻¹ at each crop year (2018 and 2019). We measured the effect of the amendments on cotton (*Gossypium hirsutum L.*) and maize (*Zea mays L.*) yield cropped in rotation using a randomized block design with four replicates for each of the studied treatments. Our results showed that the soil properties and crop yield in COMPBI-75 were not significantly lowered compared to COMPBI-100, which did not differ compared to soil and plant responses in COMP-100. Even not significant, COMPBI-100 and COMPBI-75 tend to have higher grain yields for cotton and maize. Our results highlight that co-composted biochar may be a promising amendment to increase crop productivity parameters in Burkina Faso while decreasing the NPK doses. The reduction of fertilizer rates can have essential

implications considering the socio-economic and environmental advantages of reducing by a quarter fertilizer doses in Sudanese climatic region of Burkina Faso.

Keywords: amendment; crops yields; soil fertility; nutrient recycling; lixisols; west Africa.

4.1. Introduction

Le biochar a suscité un intérêt croissant ces dernières années en raison de sa capacité à améliorer la qualité des sols, les rendements des cultures et à séquestrer le carbone (Lehmann *et al.*, 2009 ; Criscuoli, 2016 ; Mensah et Frimpong, 2018). Sur les sols sableux et très altérés, ces avantages sont souvent associés à une augmentation de la productivité agricole (Yu *et al.*, 2019). Au-delà de fourniture de nutriments le biochar (Yé *et al.*, 2020) améliore la capacité de rétention d'eau du sol de façon durables (Woolf *et al.*, 2018). Cependant, il en faut de grandes quantités ($> 10 \text{ t.ha}^{-1}$) qui seront difficiles à produire par les petits exploitants des zones semi-arides, confrontés à la faible disponibilité de ressources et de moyens de production. Pour réduire et optimiser ses taux d'application, des études récentes ont souligné la nécessité d'activer le biochar avant son application (Chen *et al.*, 2020 ; Antonangelo *et al.*, 2021). En effet, à faible taux d'application, le biochar activé par le processus de co-compostage aurait un potentiel plus élevé pour augmenter la fertilité du sol et les rendements des cultures que le biochar pur (Kammann *et al.*, 2015 ; Schmidt *et al.*, 2017 ; Gwenzi *et al.*, 2018). Le co-compostage est l'incorporation du biochar pendant le processus de compostage. On obtient à la fin le co-compost. Il a été démontré que le co-compost améliore la fertilité du sol par rapport à l'utilisation de compost conventionnel ou du biochar pur et réduit la dose d'utilisation des engrains minéraux tout en maintenant ou en favorisant les rendements des cultures (Agegnehu *et al.*, 2016, Chen *et al.*, 2020 ; Antoninangelo *et al.*, 2021). Ce qui pourrait soulager les petits producteurs d'Afrique qui, avec leurs moyens limités face aux prix élevés des engrais minéraux, peinent depuis des décennies à respecter les doses d'apport de ce fertilisants minéraux. Le brûlage à l'air libre des résidus de tiges de cotonnier, une pratique toujours en cours dans la zone ouest du Burkina Faso, n'améliore la fertilité du sol que pour une échelle de temps très courte en raison de la perte rapide des nutriments contenus dans les cendres par l'érosion hydrique ou éolienne et la lixiviation (Koulibaly *et al.*, 2010).

L'objectif de cette étude était d'évaluer la capacité du co-compost à maintenir la qualité du sol et le niveau de rendement des cultures dans un contexte de réduction de la dose recommandée de NPK. Elle vient en complément de celle menée en milieu paysan sur le biochar et le co-compost associé à 100% de dose recommandée de NPK

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Site d'expérimentation

L'essai a été conduit dans un environnement semi-contrôlé à la station de recherche de Farakobâ (INERA) à l'ouest du Burkina Faso ($04^{\circ}20'W$; $11^{\circ}06'N$; 405 m d'altitude) (Figure 26). Ce site offre de meilleures conditions de travail en termes de contrôle de l'évolution des paramètres climatiques et de sécurisation des parcelles d'expérimentation.

Au cours des saisons culturelles 2018-2019 et 2019-2020, la station a enregistré 1303 mm et 1248 mm de précipitations réparties sur 70 et 73 jours respectivement. Le substrat géologique est constitué de formations sédimentaires avec une prédominance de grès (Pallo *et al.*, 2008). Le sol dominant de la station de Farakobâ est de type lixisol (WRB, 2014) à texture sablo-limoneuse, acide en surface ($pH=5,1$), à faible teneur en azote total et en phosphore disponible (Bado, 2002). Il a une faible CEC ($4,5 \text{ cmolc.kg}^{-1}$), avec une faible teneur en argile (< 15%) et en matière organique (< 1%) (Koulibaly *et al.*, 2009).

Les matériaux végétaux utilisés ont été le coton en 2018 (variété FK-64) et le maïs en 2019 (variété Barka). Le coton FK-64 a un cycle de 150 jours avec un rendement potentiel de $3\text{-}4 \text{ t.ha}^{-1}$ (Koulibaly, 2018). Concernant le maïs Barka, il a un cycle de 84 et un rendement potentiel de $5,5 \text{ t.ha}^{-1}$ (Traoré *et al.*, 2020).

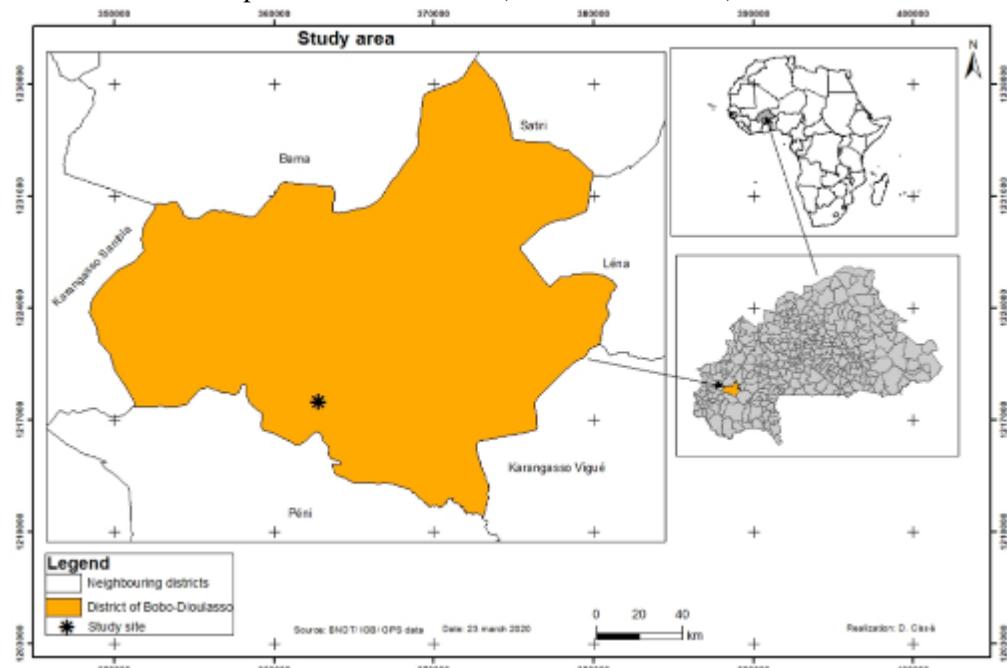


Figure 27: Localisation du site d'étude

Tableau 19: caractéristiques initiales du sol

Paramètres	Profondeurs (cm)	
	0-10	10-20
Argile ($\text{g}.\text{kg}^{-1}$)	99	138
Limon ($\text{g}.\text{kg}^{-1}$)	179	188
Sable ($\text{g}.\text{kg}^{-1}$)	722	674
pH-H ₂ O	5.1	4.9
pH-KCl	4.3	4.03
P_av ($\text{mg}.\text{kg}^{-1}$)	1	0,3
Ca_av ($\text{mg}.\text{kg}^{-1}$)	100	80
K_av ($\text{mg}.\text{kg}^{-1}$)	51	41
Mg_av ($\text{mg}.\text{kg}^{-1}$)	45	33
Na_av ($\text{mg}.\text{kg}^{-1}$)	0	3
C_org ($\text{g}.\text{k}^{-1}$)	5	4
N_tot ($\text{g}.\text{k}^{-1}$)	0,4	0,3
CEC ($\text{cmol}^+.\text{k}^{-1}$)	2	2

4.2.2. Dispositif expérimental

L’essai a été installé sur une parcelle en jachère depuis 5 ans. Le dispositif expérimental mis en place était un Bloc Complètement Randomisé comportant trois (3) traitements et quatre répétitions (Figure 27): COMP-100: compost conventionnel + 100% de dose recommandée de NPK; COMPBI-100: co-compost + 100% de dose recommandée de NPK; et COMPBI-75: co-compost + 75% de dose recommandée de NPK. Chaque parcelle élémentaire avait une superficie de 40 m² (5 m de large et 8 m de long). Le co-composté associé à une dose réduite de 25% de NPK a été comparé au compost conventionnel et au co-compost associés à des doses recommandées de NPK sur les propriétés du sol et les rendements des cultures au cours de deux saisons. Les doses recommandées de NPK (10,9% N, 10,1% P et 11,6% K) et d’urée (46% N) pour le coton sont 150 kg.ha⁻¹ et 50 kg.ha⁻¹ respectivement, et 200 kg.ha⁻¹ et 100 kg.ha⁻¹ respectivement pour le maïs. Le NPK a été appliqué à 15 jours après semis (JAS), et l’urée à 45 JAS sur le cotonnier. Sur le maïs, le NPK a été appliqué à 15 JAS et l’urée à 40 JAS.

Le sol a été labouré par un tracteur à une profondeur moyenne de 25 cm, puis hersé à la main en 2018. En deuxième année (2019), le labour a été effectué à la traction animale à une profondeur moyenne de 15 cm après épandage manuel des amendements. Le coton en 2018 et le maïs en 2019 ont été semés dans des poquets à un écartement de 40 cm sur la ligne et 80 cm entre les lignes puis démarié 15 jours après la levée, à raison de deux plants par poquet, pour obtenir une densité de 62 500 plants par hectare.

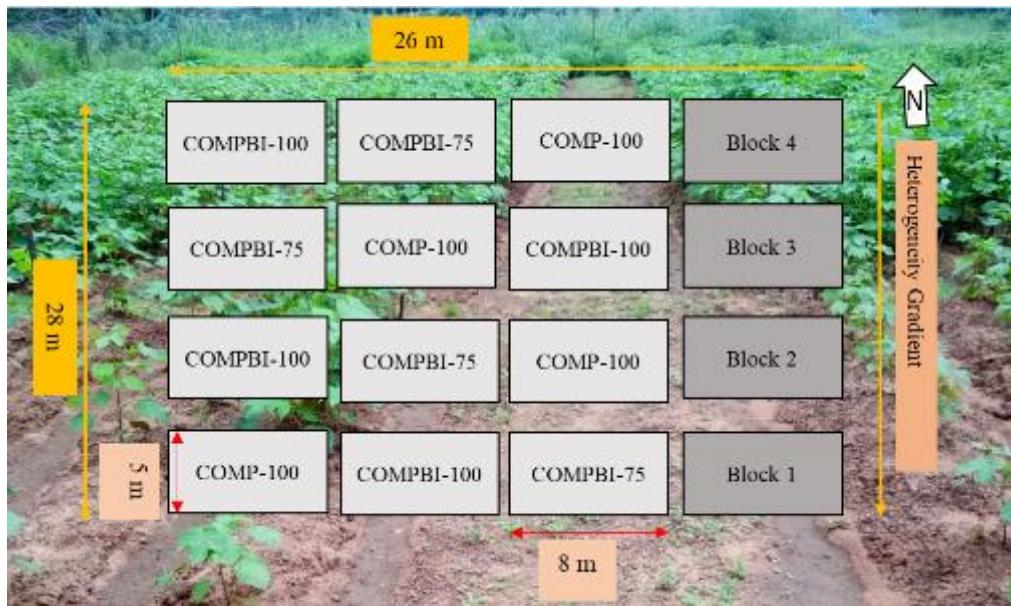


Figure 28: Dispositif expérimental. *COMP-100: compost + 100% de dose recommandée de NPK; COMPBI-100: co-compost + 100% de dose recommandée de NPK; COMPBI-75: co-compost + 75% de dose recommandée de NPK*

4.2.3. Production des amendements organiques

Les modes d'amendement ont consisté à appliquer $2,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ de compost et de co-compost en 2018 et 2019. Le biochar utilisé pour la production du co-compost a été produit à partir de tiges de cotonnier via une pyrolyse dans un four Kon - tiki de fabrication locale à une température comprise entre 650 et 700°C. Le biochar produit a ensuite été séché à l'air libre pendant 21 jours avant d'être stocké dans des sacs de 50 kg.

Le compost a été obtenu après compostage d'un mélange de biomasse de *Pennisetum polystachion* (L.) Schult et du fumier d'étable à raison de 60% (m/m) de biomasse et 40% (m/m) de fumier. Le co-compost a été obtenu par le processus de co-compostage qui est le compostage d'un mélange de biochar, de biomasse de *Pennisetum p.* et du fumier de bovin d'étable à raison de 20% de biochar (m/m), 48% de biomasse (m/m) et 34% de fumier (m/m) (Steiner *et al.*, 2010; Kammann *et al.*, 2015). La technique du compostage en tas a été utilisée. Le processus de compostage a duré 70 jours. Les tas ont été retournés chaque deux semaines. L'ajustement de la teneur en eau a été effectué au besoin après test de « la poignée ». La température a été vérifiée chaque trois jours afin de s'assurer de l'évolution normale du processus.

4.2.4. Entretien des cultures

Le contrôle des mauvaises herbes a été réalisé par un désherbage manuel en 2018 et 2019. Celui des bio-agresseurs du cotonnier l'a été à l'aide de l'indoxacarb (150

g.ha⁻¹), d'une association cyperméthrine (144 g.ha⁻¹)*imidaclopride (200 g.ha⁻¹), d'une autre association lambda-cyhalothrine (12 g.ha⁻¹)*profénofos (200 g.ha⁻¹) et du Chlorpyrifos-ethyl (480 g.ha⁻¹). Ces insecticides ont été appliqués respectivement les 45^{ième}, 65^{ième}, 80^{ième} et 100^{ième} jour après la levée (JAL).

L'Emamectine benzoate 50 g.ha⁻¹ a été utilisé sur le maïs en 2019 pour contrôler *Spodoptera frugiperda* à la dose de 250 g.ha⁻¹.

4.2.5. Echantillonnage et analyse physico-chimique du sol

Avant d'installer l'essai, nous avons prélevé 18 échantillons de sol (9 dans la profondeur 0-10 cm et 9 autres dans la profondeur 10-20cm) suivant les diagonales de la parcelle expérimentale pour constituer un échantillon composite pour chaque profondeur. Les caractéristiques chimiques initiales sont présentes dans le tableau 11. A la fin de la deuxième campagne (octobre 2019), nous avons collecté un échantillon composite de sol par couche dans chaque parcelle élémentaire. La granulométrie du sol par la méthode de sédimentation par gravité (NF X 31-07) (Dumer *et al.*, 2017). Le pH-H₂O a été déterminé à l'aide d'une électrode en verre dans une suspension de sol dilué à 1:5 (fraction volumique) dans de l'eau (ISO 10390) (AFNOR, 2005). Les teneurs en carbone organique (C_{org}) et en azote total (N_{tot}) ont été évaluées par spectrométrie proche infrarouge (ISO 10694) (AFNOR, 1995) après combustion sèche flash (ISO 13878) (AFNOR, 1998). Les teneurs en éléments biodisponibles (P, K) ont été déterminées par extraction à l'accétate d'ammonium-EDTA 1M (pH = 4,65) (Lakanen et Erviö, 1971) et quantification par spectrophotométrie d'absorption atomique pour le K et par spectrophotométrie pour P (De Olivera *et al.*, 2000).

4.2.6. Caractéristiques chimiques du compost et des amendements à base de biochar

Le pH-H₂O, le carbone organique (C_{org}), l'azote total (N_{tot}), le rapport C/N, le potassium total (K_{tot}), le phosphore total (P_{tot}), le sodium total (Na_{tot}), le magnésium total (Mg_{tot}) et le calcium total (Ca_{tot}) ont été quantifiés dans un échantillon composite de compost, de biochar et de co-compost. La teneur en C_{org} a été déterminée par combustion sèche selon la méthode Dumas (FAO, 2020). La teneur en N_{tot} a été déterminée par la méthode Kjeldhal (Kjeldahl, 1883). Nous avons déterminé les teneurs en K, Na, Ca, Mg et P après dissolution des échantillons de cendres dans une solution de HNO₃ et quantification par spectrophotométrie d'absorption atomique. Le pH-H₂O a été obtenu dans un rapport de 1/5 (v/v) en utilisant de l'H₂O déminéralisée.

4.2.7. Paramètres de rendement mesurés

Les paramètres de croissance et de rendement du coton et du maïs en 2018 et 2019, respectivement. Nous avons mesuré le diamètre et la hauteur du cotonnier à 30, 60 et 80 JAS, correspondant à la croissance active, au début de la fructification, et à la fin de la période de végétation. Concernant le maïs, nous avons mesuré la hauteur suivant les mêmes phases de végétation à 30, 45 et 60 JAS. Les diamètres au collet de la plante ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse électronique numérique. Les hauteurs ont été prises de la base à la couronne de la dernière feuille en initiation.

Les rendements des cultures ont été mesurés dans des sous-parcelles de 20 m² déterminées à l'avance au centre de chaque parcelle élémentaire. Les rendements à l'hectare ont été déterminés par extrapolation des rendements mesurés dans ces sous-parcelles. En plus de ces paramètres, nous avons mesuré le taux d'humidité des grains à l'aide d'un humidimètre électronique portatif à lecture directe de marque DRAMINSKY. Le poids de 1000 grains de maïs a aussi été mesuré à l'aide.

4.2.8. Quantification de la minéralomasse des plantes de maïs

La minéralomasse végétale a été quantifiée à la fin de la saison de culture du maïs. Les feuilles ont été collectées à l'aisselle des épis principaux (Loué, 1984), 70 jours après le semis. Les feuilles prélevées ont été soigneusement nettoyées à l'eau puis séchées à 40°C avant d'être broyées. Les grains ont été séchés à l'air libre jusqu'à un taux d'humidité de 15% avant d'être réduits en farine. Le taux d'humidité des grains a été déterminé à l'aide d'un humidimètre électronique portatif à lecture directe de marque DRAMINSKY (Amadou *et al.*, 2019). Pour la détermination des éléments N, P et K, un sous-échantillon de 2 g a été dilué dans un mélange 1:1 d'acide nitrique (HNO₃ 60%) et d'acide perchlorique (HClO₄ 70%). Après 16 h, le mélange a été évaporé par chauffage et le résidu récupéré dans de l'acide chlorhydrique (HCl - 10%). Le potassium a été quantifié par spectrométrie d'absorption atomique (Varian SpectrAA 220 series, Mulgrave Victoria, Australia) (de Oliveira *et al.*, 2000) et le phosphore par spectrophotométrie (UV-1205 Shimadzu, ThermoFisher Scientific, Waltham, MA USA). Nous avons quantifié les teneurs en azote dans les feuilles par combustion sèche.

4.2.9. Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été effectuée à l'aide du logiciel R version 4.0.3. La distribution des données a d'abord été vérifiée. Les données sur les paramètres physico-chimiques des sols ne suivant pas une distribution normale, le test Kruskal-Wallis a été utilisé pour la séparation des moyennes. Une ANOVA à un facteur a été utilisée pour tester les effets des traitements sur les paramètres de croissance et du rendement des cultures. Les moyennes des traitements ont été séparées par le test Honest Significant Difference (HSD) de Tukey au seuil de 5 % pour déterminer si elles étaient ou non significativement différentes les unes des autres.

4.3. Résultats

4.3.1. Caractéristiques chimiques des amendements

Le compost et les amendements à base de biochar sont tous alcalins, avec des valeurs de pH allant de 9,5 (co-compost) à 10,3 (biochar) (Tableau 20). Les caractéristiques des amendements sont statistiquement différentes en ce qui concerne les teneurs en P, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ et Na⁺ totaux (Tableau 20). Le co-compost est l'amendement qui a les teneurs les plus élevées en P, Mg²⁺ et N_tot avec des concentrations de 4770 mg.kg⁻¹, 6010 mg.kg⁻¹ et 12,3 g.kg⁻¹ respectivement. Les plus fortes teneurs en Ca²⁺, K⁺ et Na⁺ total ont été obtenues avec le biochar, suivi du co-

compost. Les valeurs de pH-H₂O les plus élevées et la plus forte teneur en C ont été obtenues avec le biochar (Tableau 21). Le biochar avait le rapport C/N le plus élevé tandis que le plus bas rapport C/N était obtenu avec le compost.

Tableau 20: acidité et paramètres de la matière organique des amendements

Amendements	pH-H ₂ O	C_org	N_tot	C/N
<i>g.kg⁻¹</i>				
Compost	9,6 ($\pm 0,1$)a	136 ($\pm 23,6$)a	8,3 ($\pm 0,8$)b	16 ($\pm 0,91$)a
Co-compost	9,6 ($\pm 0,1$)a	177 ($\pm 6,7$)b	12,3 ($\pm 0,5$)c	18 ($\pm 1,44$)a
Biochar	10,3 ($\pm 0,0$) b	313 ($\pm 12,1$)c	6,3 ($\pm 0,5$)a	55 ($\pm 1,96$)b
<i>Probabilité</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
<i>Signification</i>	S	S	S	S

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha < 0,05$ selon le test HSD de Tukey

Tableau 21: Caractéristiques chimiques des amendements (P, Ca, Mg, K et Na totaux)

Amendements	P_tot	Ca_tot	Mg_tot	K_tot	Na_tot
<i>mg.kg⁻¹</i>					
Compost	2843 (± 311)a	10276 (± 566)a	3695 (± 124)a	11016 (± 576)a	467 (± 20)a
Co-compost	4766 (± 317)b	17448 (± 720)b	6060 (± 363)b	18906 (± 919)b	743 (± 36)b
Biochar	2867 (± 188)a	23072 (± 720) c	4361 (± 461)a	24872 (± 890)c	807 (± 112)b
<i>Probabilité</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
<i>Signification</i>	S	S	S	S	S

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil $\alpha < 0,05$ selon le test HSD de Tukey.

4.3.2. Caractéristiques physico-chimiques du sol amendé

Les variations des propriétés chimiques du sol après les deux années d'amendements sont présentées dans la figure 27. En comparant le co-compost avec 75% de la dose d'engrais NPK recommandée (COMPBI-75) aux autres traitements (COMP-100 et COMPBI-100) on constate que la concentration des nutriments biodisponibles, les teneurs en C_org ($p = 0,3$), N_tot et le pH-H₂O du sol étaient similaires.

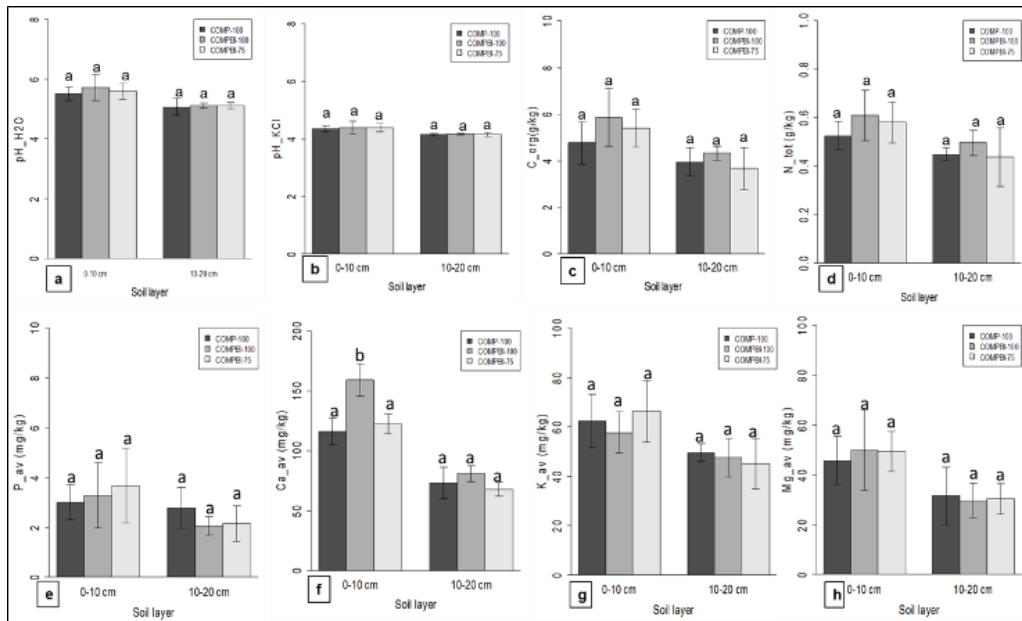


Figure 29: Variation des propriétés chimiques du sol après deux années d'expérimentation

4.3.3. Paramètres de croissance

En comparant la réponse des plantes aux différents amendements du sol étudié, la croissance en diamètre du cotonnier n'était pas significativement différente aux 30^{ème}, 60^{ème} et 80^{ème} jours après le semis (JAS). Les mêmes résultats ont été observés sur le maïs. La croissance en diamètre des plantes n'était pas significativement plus élevée au 30^{ème} et 60^{ème} JAS après l'amendement des sols avec COMP-100 ou COMPBI-100 par rapport à COMPBI-75. En revanche, il y avait des différences significatives pour la croissance du diamètre du maïs entre COMP-100 et les autres traitements à 45 JAS (Tableau 22).

Comme pour la croissance en diamètre, aucune différence significative n'a été observée dans la croissance en hauteur du cotonnier entre les différents traitements (Tableau 23). En ce qui concerne la croissance en hauteur du maïs, aucune différence significative n'a été observée en comparant COMPBI-75 à COMP-100 et COMPBI-100. La réduction de 25 % de l'engrais NPK dans le COMPBI-75 n'a pas diminué les effets positifs de l'amendement de biochar co-composé.

Tableau 22: Croissance du diamètre des cultures en fonction des traitements

Traitement	Diamètre du cotonnier 2018			Diamètre du maïs 2019		
	30JAS	60JAS	80JAS	30JAS	45JAS	60JAS
cm						
COMP-100	0,65 (±0,10)a	0,97 (±0,04)a	1,12 (±0,05)a	1,25 (±0,10)a	1,55 (±0,04)a	1,63 (±1,10)a
COMPBI-100	0,60(±0. 50)a	0,92 (±0,10)a	1,06 (±0,10)a	1,34 (±0,10)a	1,75 (±0,1)b	1,82 (±1,10)a
COMPBI-75	0,60 (±0,10)a	0,92 (±0,10)a	1,07 (±0,10)a	1,36 (±0,04)a	1,64 (±0,01)ab	1,71 (±0,60)a
<i>Probabilité</i>	0,5	0,5	0,9	0,4	0,04	0,08
<i>Signification</i>	NS	NS	NS	NS	S	NS

Tableau 23: Croissance en hauteur des cultures en fonction des traitements

Traitement	Hauteur du cotonnier 2018			Hauteur du maïs 2019		
	30JAS	60JAS	80JAS	30JAS	45JAS	60JAS
cm						
COMP-100	21,3 (±3)a	66,9 (±13)a	89,8 (±13)a	47,8 (±5,8)a	140,1 (±8,7)a	144,7 (±9,1)a
COMPBI-100	18,9 (±1)a	62,2 (±7) a	82,0 (±8)a	53,2 (±2,3)a	147 (±5,7)a	151 (±4,2)a
COMPBI-75	20,.1 (±3)a	57,2 (±10)a	84 (±12)a	54,4 (±3,6)a	114,1 (±7)a	147,5 (±4,2)a
<i>Probabilité</i>	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4
<i>Signification</i>	NS	NS	NS	NS	NS	NS

4.3.4. Rendements des cultures

Bien que non significatifs, les traitements du co-compost ont montré un rendement global de coton légèrement plus élevé que les traitements incluant le compost (Tableau 24). En effet, le rendement en coton du COMPBI-100 et du COMPBI-75 a augmenté de 5 % et 14 % par rapport au COMP-100, respectivement. Le rendement du maïs n'a pas non plus été affecté de manière significative par la réduction du taux d'engrais NPK. Par rapport au COMP-100, le rendement en grains de maïs a augmenté de 14 % pour le COMPBI-75.

Le rendement de la biomasse du coton était similaire dans toutes les parcelles traitées ($p=0,6$). En ce qui concerne le maïs, les parcelles COMP-100 et COMPBI-100 n'ont pas augmenté significativement le rendement de la biomasse par rapport au COMPBI-75 ($P<0,4$).

L'évaluation du poids des 1000 grains de maïs n'a révélé aucune différence significative entre les traitements.

Tableau 24: Composantes du rendement du cotonnier et du maïs selon les traitements

Traitements	Rendement grain		Rendement en biomasse		poids 1000 grains
	Coton 2018	Maïs 2019	Coton 2018	Maïs 2019	
kg.ha ⁻¹					
COMP-100	1176 (±404)a	2830 (±1073)a	4025 (±1692)a	3379 (±1151)a	212 (±15)a
COMPBI-100	1237 (±246)a	3653 (±722)a	3187 (±1043)a	4973 (±1103)a	218 (±17)a
COMPBI-75	1338 (±197)a	3228 (±783)a	3448 (±678)a	4431 (±607)a	221 (±7)a
Probabilité	0,7	0,4	0,6	0,1	0,6
Signification	NS	NS	NS	NS	NS

4.3.5. Teneurs minérales des feuilles et grains de maïs

Les teneurs moyennes en éléments minéraux des feuilles et des grains ne diffèrent pas significativement entre les traitements (Tableau 25). Au niveau des feuilles, nos résultats ne montrent pas de diminution significative de la teneur en éléments minéraux des feuilles dans la parcelle COMPBI-75 par rapport aux autres parcelles traitées. Ce qui est également vrai pour la teneur en éléments minéraux dans le grain.

Tableau 25: Teneur en minéraux des feuilles et des grains de maïs de la matière sèche (%)

Traitements	Teneur minérale des feuilles			Teneur minérale des grains		
	N	P	K	N	P	K
g.kg ⁻¹						
COMP-100	16,9 (±3,,0) a	2,2 (±0,5) a	9,0 (±2,8) a	19,1 (±2,4) a	7,7 (±1,9) a	6,7 (±1,7) a
COMPBI-100	17,8 (±1,3) a	2,5 (±0,02)a	10,0 (±0,7) a	19,5 (±0,7) a	6,7 (±1,5) a	6,2 (±1,0) a
COMPBI-75	17,0 (±1,3) a	2,2 (±0,3) a	8,6 (±0,8) a	19,2 (±0,9) a	7,3 (±0,5) a	7,0 (±0,8) a
Probabilité	0,9	0,8	0,7	0,9	0,6	0,6
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS

4.4. Discussion

4.4.1. Effets de l'adjonction du biochar sur la qualité du co-compost

L'effet bénéfique de l'ajout de biochar à 20% poids/poids dans le processus de compostage a augmenté la teneur en C_{org} total, N_{total}, Ca_{tot}, Mg_{tot}, K_{tot}

Na_{tot} et P_{tot} du co-compost produit de 30%, 48%, 70%, 64%, 72%, 59% et 68% respectivement par rapport au compost. L'amélioration des propriétés chimiques du co-compost pourrait être attribuée à la grande surface spécifique et à la porosité élevée du biochar qui contribuent à l'adsorption des nutriments contenus dans les autres résidus au cours du processus de compostage (Wiedner *et al.*, 2015 ; Sánchez-Monedero *et al.*, 2018). Les particules de biochar peuvent également agir comme une matrice physique pour la croissance microbienne, contribuant à l'accélération du processus de compostage en facilitant la dégradation et l'humification de la matière organique (MO) tout en réduisant les pertes d'azote (Steiner *et al.*, 2010 ; Schmidt *et al.*, 2014 ; Sánchez-Monedero *et al.*, 2018). Ces résultats corroborent ceux de Awasthi *et al.* (2017) qui montrent qu'à un taux d'incorporation de 18% le biochar augmentait la teneur en P biodisponible du co-compost d'environ 35%. En outre, le processus de compostage avec adjonction du biochar peut également contribuer à améliorer la capacité d'échange cationique du biochar avec l'activation des groupes carboxyliques à la surface des particules de ce dernier et donc améliorer sa capacité de rétention des nutriments (Khan *et al.*, 2016).

4.4.2. Effets du co-compost sur les propriétés chimiques du sol et les rendements des cultures

Dans le lixisol étudié de la région climatique soudanienne du Burkina Faso, les propriétés du sol ne sont pas significativement affectées par la réduction de la dose de NPK dans le traitement COMPBI-75. Cette absence de différence significative pourrait s'expliquer par le fait que le co-compostage améliore la rétention des nutriments et réduit ainsi les pertes d'azote dans le sol en diminuant la volatilisation de l'ammoniac, l'émission d'oxyde nitreux et la lixiviation de l'azote sous forme de NO₃⁻ (Jeffery *et al.*, 2017 ; Kamran *et al.*, 2018). Selon Antonangelo *et al.* (2021) et Lopez-Cano *et al.* (2016), avec l'ajout de biochar dans le processus de compostage, le processus de nitrification qui convertit NH₃/NH₄⁺ en NO₃⁻ peut être renforcé tandis que le processus d'ammonification (le chemin inverse) est supprimé. En outre, les phases inorganiques chargées positivement dans le biochar peuvent contribuer à retenir le NO₃⁻ à leur surface (Archanjo *et al.*, 2017). Par conséquent, lorsque le co-compost a été appliqué aux sols, le NO₃⁻ capturé dans le biochar a été largement protégé contre le lessivage étant donné la liaison ion-eau dans les micro- et nanopores du biochar (Antonagelo *et al.*, 2021). Le biochar réduit la lixiviation du P pendant le processus de co-compostage en raison des groupes fonctionnels hydroxyle, carboxyle et aliphatique à la surface du biochar, qui contribuent à adsorber le P par des ponts cationiques (Awasthi *et al.*, 2020 ; Guo *et al.*, 2020). Des études antérieures ont également souligné le rôle central du biochar co-composé dans la réduction de la lixiviation des nutriments, et ont montré son effet positif sur la croissance des plantes, les propriétés du sol, et l'efficacité de l'utilisation des engrains (Schulz *et al.* 2013). En effet, l'incorporation du biochar dans le processus de compostage augmente la disponibilité du P (Vandecasteele *et al.*, 2016) et la concentration en acide fulvique, qui une fois dans le sol, a la capacité de chélater les métaux et de favoriser leur absorption par les plantes (Zhang *et al.*, 2014).

Compte tenu de la rétention des nutriments pendant le processus de co-compostage ainsi que de leur potentiel d'adsorption réversible du NPK après l'ajout au sol, nous concluons que le co-compost améliore l'efficience de l'utilisation des nutriments par les plantes. Ce qui se traduit par le maintien du rendement en grain au même niveau que les autres traitements malgré la réduction de 25 % de la dose de NPK. Ce qui ne serait pas le cas pour le compost. En effet, lors de son étude sur le compost utilisé comme amendement potentiel pour diminuer l'utilisation d'engrais NPK, Sofyan *et al.* (2019) ont constaté que le compost appliqué à une dose de 2,5 t.ha⁻¹ avec 75% de NPK (225 kg.ha⁻¹) avait un rendement de maïs nettement inférieur à la même dose de compost avec 100% de dose d'engrais NPK (300 kg.ha⁻¹). Ce résultat souligne que le compost seul ne permet pas d'envisager de diminuer les taux d'application de NPK. Notre résultat démontre donc la capacité du biochar à diminuer les apports de NPK comme engrais lorsqu'il est activé par le processus de co-compostage. Nous expliquons cela par la capacité du biochar à retenir les nutriments par des mécanismes d'adsorption et de diffusion (Joseph *et al.*, 2018), de manière à réduire leur lixiviation des sols et ainsi optimiser l'efficacité d'utilisation des nutriments dans les systèmes sol-plante (Major *et al.*, 2012 ; Biederman et Harpole, 2013). Au-delà des effets sur la rétention des nutriments, l'ajout de biochar peut également affecter les propriétés physiques du sol en l'assombrissant et en modifiant sa dynamique thermique, ce qui pourrait accélérer le processus de germination et améliorer la croissance des cultures (Aegenehu *et al.* 2016). Par ailleurs, le co-compost, avec la présence du biochar, améliore la porosité et la capacité de rétention d'eau du sol (Blanco-canqui, 2017). Nos résultats ne montrent pas d'effets positifs pour corriger la carence en qualité nutritionnelle des feuilles de maïs par rapport aux valeurs de référence (c'est-à-dire 27-35 g.kg⁻¹ pour N, 2,5-4 g.kg⁻¹ pour P et >22,5 g.kg⁻¹ pour K) (Loué, 1984 ; Mankoussou *et al.*, 2017 ; Akanza et N'Da, 2018), l'effet du co-compost sur la qualité nutritionnelle des cultures devrait être étudié plus en profondeur (en particulier sur des échelles de temps plus longues) avant que nous puissions généraliser les résultats, surtout compte tenu des résultats prometteurs montrant la capacité de cet amendement à réduire les taux d'engrais NPK.

4.4.3. Effets de l'amendement co-compost sur les teneurs en NPK des feuilles et des grains du maïs.

Les feuilles et les grains constituent le principal réservoir d'accumulation pour les nutriments N, P et K (Skowronska et Filipek (2010).

Dans les feuilles de maïs, les teneurs en N ont très peu varié entre les traitements. Les teneurs en N dans les feuilles du traitement COMBI-75 est dans la même marge que les traitements COMBI-100 et COMP-100. Pour le P et le K, la réduction de 25% du NPK du traitement COMBI-75 n'a pas non affecté la teneur des feuilles en ces éléments par rapport aux autres traitements. Cependant les teneurs des feuilles en NPK de tous les traitements sont inférieures aux normes qui se situent entre 2,76 et 3,5% pour le N et 0,25 à 0,40% pour le P (Loué, 1984 et Akanza, 2018). La déficience nutritive en N P et K au niveau des feuilles pourrait s'expliquer par le fait qu'au cours des phases de maturation et maturité du maïs, la teneur en éléments nutritifs de la biomasse diminue, en raison de l'effet de dilution et du processus de remobilisation

de N et P des organes végétatifs (principalement les feuilles) vers les organes générateurs de la plante (Skowronska et Filipek, 2010 ; Nenova *et al.*, 2019).

Dans les grains, les teneurs en N, P et K sont restées sensiblement égales dans tous les traitements. En référence au résultat de l'étude menée en Nouvelle Zélande par Steele *et al.* (1982) selon lequel les meilleurs rendements du maïs grain sont obtenus avec une teneur en N de 1,52% des grains et corroboré par ceux de Bak *et al.* (2016) qui ont trouvé en 5 ans d'expérimentation des teneurs en N variant entre 1,34 et 1,57%. Les grains de maïs du traitement COMBI-75 ont une teneur supérieure à ces normes. La teneur en P des grains de maïs est bonne lorsqu'elle est de 0,65% (Aubert *et al.*, 1963). En se référant à cette teneur, les grains de maïs du COMBI-75 avec une teneur en P de 0,73% a montré une amélioration significative des teneurs en P des grains de maïs. La teneur en éléments K des grains de maïs du COMBI-75 était de 0,70. Les normes de teneur des grains de maïs en K se situant entre 0,40 et 0,44% (Aubert *et al.*, 1963; Nenova *et al.*, 2016), cela suppose l'apport du co-compost avec une réduction de 25% de la dose de NPK améliore les teneurs en K des grains de maïs.

4.5. Conclusion

Cette étude montre que l'adjonction du biochar au cours du processus de compostage est un moyen d'amélioration de la qualité physico-chimique de l'amendement produit. Aussi, nous avons constaté que l'amendement du sol avec du co-compost à 2,5 t.ha⁻¹.an⁻¹ n'améliore pas les propriétés du sol et les rendements des cultures après deux ans d'amendement du sol par rapport au compost conventionnel. Cependant, cette dose de 2,5 t.ha⁻¹.an⁻¹ de co-compost permet une réduction de 25% des taux d'engrais NPK tout en maintenant les propriétés du sol et les rendements similaires à ceux obtenus avec le compost conventionnel. La réduction de NPK pourrait avoir des résultats socio-économiques importants à condition que le coût de production du biochar ne dépasse pas le profit réalisé en diminuant d'un quart l'utilisation des engrains. Les avantages socio-économiques potentiels méritent d'être étudiés plus en détail, ainsi que les avantages environnementaux concernant la qualité de l'eau.

4.6. Références bibliographiques

- Agegnehu, G., Bass A.M., Nelson, P.N. et Bird, M.I., 2016. Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Sci Total Environ.* 543, 295-306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
- Akanza, P.K. et N'Da, A.H., 2018. Effets de l'engrais sur la fertilité, la nutrition et le rendement du maïs : incidence sur le diagnostic des carences du sol. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* 045, 54- 66
- Antonangelo, J.A., Sun, X. et Zhang H. 2021. The roles of co-composted biochar (COMBI) in improving soil quality, crop productivity, and toxic metal amelioration. *Journal of Environmental Management* 277, 111443.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111443>

- Archanko, B.S., Mendoza, M.E., Albu, M., Mitchell, D.R.G., Hagemann, N., Mayrhofer, C., Mai, T.L.A., Weng, Z., Kappler, A., Behrens, S., Munroe, P., Achete, C.A., Donne, S., Araujo, J.R., van Zwieten, L., Horvat, J., Enders, A. et Joseph, S., 2017. Nanoscale analyses of the surface structure and composition of biochars extracted from field trials or after co-composting using advanced analytical electron microscopy. *Geoderma* 294, 70–79.
- Aubert, G., Audidier, L., Bustarret, J., Chaminade, R., Daujat, A., Ferru, H., Prevot, P. et Rossin, M., 1963. Informations sur la fertilisation en régions tropicales et subtropicales. *Fertilité* n°20, 56p.
- Awasthi, M.K., Duan, Y.M., Liu, T., Awasthi, S.K. et Zhang, Z.Q., 2020. Relevance of biochar to influence the bacterial succession during pig manure composting. *Bioresource Technology* 304, 12296
- Awasthi, M.K., Wang, Q., Chen, H., Wang, M., Ren, X., Zhao, J., Li, J., Guo, D., Li, D., Awasthi, S.K., Sun, X. et Zhang, Z. 2017. Evaluation of biochar amended biosolids co-composting to improve the nutrient transformation and its correlation as a function for the production of nutrient-rich compost. *Bioresour. Technol.* 237, 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.044>
- Bado, B.V. 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso [Thèse de doctorat, Université de Laval, Québec].
- Bak, K., Gaj, R. et Budka, A., 2016. Accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in mature maize under variable rates of mineral fertilization. *Fragm. Agron.* 33(1) 2016, 7-19
- Biederman, L.A. et Harpole, W.S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 5, 202-214.
- Blanco-Canqui, H., 2017. Biochar and Soil Physical Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 81: 687-711
- Chen, H., Awasthi, S.K., Liu, T., Duan, Y., Zhang, Z. et Awasthi, M.K. 2020. Compost biochar application to contaminated soil reduces the (im)mobilization and phytoavailability of lead and copper. *J. Chem. Technol. Biotechol.* 95, 408-417.
- Criscuoli, I. 2016. Stabilité du charbon végétal (biochar) dans le sol et impact sur la productivité et les cycles des nutriments des prairies alpines [Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie]
- FAO.,2015. World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO.
- FAO.,2020. A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes – GSOC-MRV Protocol. Rome. 111 p. <https://doi.org/10.4060/cb0509en>
- Guo, X-X., Liu, H-T. et Zhang, J., 2020. The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review. *Waste Manage.*, 102: 884-899

- Gwenzi, W., Nyambishi, T.J., Chaukura, N., Mapope, N. 2018. Synthesis and nutrient release patterns of a biochar-based N–P–K slow release fertilizer. International Journal of Environmental Science and Technology. Springer Berlin Heidelberg, 15(2), 405-414. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1399-7>.
- Hagemann, N., Kammann, C. I., Schmidt, H. P., Kappler, A., et Behrens, S. 2017. Nitrate capture and slow release in biochar amended compost and soil. PloS one, 12(2), e0171214. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171214>
- Joseph, S., Kammann, C.L., Shepherd, J.G., Conte, p., Schmidt, H-P., Hagemann, N., Rich, A.M., Marjo, E.C., Allen, J., Munroe, P., Mitchell R.G.D., Donne, S., Spokas, K. et Graber, R.E., 2018. Microstructural and associated chemical changes during the composting of a high temperature biochar: Mechanisms for nitrate, phosphate and other nutrient retention and release. Science of The Total Environment, 618, 15: 1210-1223
- Kammann, C.I., Schmidt, H-P., Messerschmidt, N., Linsel, S., Steffens, D., Müller, C., Koyro, H-W., Conte, P. et Joseph, S. 2015. Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. Sci. Rep. 5, 11080.
- Kamran, M.A., Jiang, J., Li, J-L., Shi, R-Y., Mehmood, K., Al Baqy, M.A. et Xu, R-K., 2018. Amelioration of soil acidity, Olsen-P, and phosphatase activity by manure- and peat-derived biochars in different acidic soils. Arab. J. Geosci., 11: 272
- Kjeldahl, J. 1883. New method for the determination of Nitrogen. Chem. News, 48(1240): 101-102
- Khan, N., Clark, I., Sánchez-Monedero, M.A., Shea, S., Meier, S., Qi, F., Kookana, R.S. et Bolan, N. 2016. Physical and chemical properties of biochars co-composted with biowastes and incubated with a chicken litter compost. Chemosphere 142, 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.065>
- Koulibaly, B., Traoré, O., Dakuo, D. et Zombré, N.P. 2009. Effets des amendements locaux sur les rendements, les indices de nutrition et les bilans culturaux dans un système de rotation coton-maïs dans l'ouest du Burkina Faso. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 13(1), 103-111
- Koulibaly, B., Traoré, O., Dakuo, D., Zombré, P.N. et Bondé, D. 2010. Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso. Tropicultura. 28(3), 184-189
- Koulibaly, B., 2018. SICOT, Quels intrants pour une meilleure qualité de la fibre de coton ? 16 p.
- Laird, D. et Rogovska, L. 2015. Biochar effects on nutrient leaching, In Lehmann, J. and Stephen, J. (eds) Biochar for Environmental Management: Science, technology and implementation (2nd ed.:521-542).
- Lehmann, J. et Stephen, J. 2009. Biochar for Environmental Management. Science, Technology and Implementation, 2nd ed. Johannes Lehmann and Stephen Joseph, London

- Lopez-Cano, I., Roig, A., Cayuela, M.L., Alburquerque, J.A., et Sanchez-Monedero, M.A., 2016. Biochar improves N cycling during composting of olive mill wastes and sheep manure. *Waste Management*, 49, 553-559.
- Loué, A. 1984. Méthode de contrôle de la nutrition minérale du maïs. In: Martin-Prevel P., Gagnard J. et Gautier P. L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales (ed. Tec et Doc - Lavoisier, pp 598-631).
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riba, S.J. et Lehmann, J. 2012. Nutrient Leaching in a Colombian Savanna Oxisol Amended with Biochar. *Journal of Environment Quality*, 41(4), 1076-1086. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0128>
- Mankoussou, M., Mialoundama, F., et Diamouangana, J. 2017. Influence du potassium dans la production du maïs (*Zea mays L.* variété Espoir) dans la vallée du Niari (Congo). *J. Appl. Biosci.* 111, 10882-10893
- Mensah, A.K. et Frimpong, K.A. 2018. Biochar and/or Compost Applications Improve Soil Properties, Growth, and Yield of Maize Grown in Acidic Rainforest and Coastal Savannah Soils in Ghana. *International Journal of Agronomy*, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2018/6837404>
- Moussa, A.A., Salako, V.K., Gbemavo, C.D.S.J., Zaman-Allah, M., Kakaï, R.G. et Bakasso, Y. 2018. Performances agro-morphologiques des variétés locales et améliorées de maïs au sud-ouest du Niger. *African Crop Science Journal*, 26 (2), 157-173. <http://dx.doi.org/10.4314/acsj.v26i2>
- Nenova, L., Benkova, M., Simeonova, T. et Atanassova I., 2019 Nitrogen, phosphorus and potassium content in maize dry biomass under the effect of different levels of mineral fertilization. *Agricultural science and technology*, Vol. 11, n° 4, 311-316. DOI: 10.15547/ast.2019.04.052
- Pallo, FJP., Sawadogo, N., Sawadogo, L., Sedogo, PM. et Assa, A. 2008. Statut de la matière organique des sols dans la zone sud-soudanienne au Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12(3), 291-301
- Pallo, F. J. et Thiombiano, L. 1989. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétiions du Burkina Faso : caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole, BUNASOL, 6-12.
- Pandit, N.R., Mulder, J. et Cornelissen, G. 2018. Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil. *Science of the Total Environment* 625, 1380-1389.
- Prendergast-Miller, M.T., Duvall, M. et Sohi, S.P. 2011. Localisation of nitrate in the rhizosphere of biochar-amended soils. *Soil Biology et Biochemistry* 43, 2243–2246. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.019>
- Sánchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C. et Bolan, N. S. 2018. Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresource Technology* 247, 1155-1164.
- Schmidt, H-P., Pandit, B H., Cornelissen, G. et Kamann, C I. 2017. Biochar-based

- fertilisation with liquid nutrient enrichment: 21 field trial covering 13 crop species in Nepal. *Land Degradation & Development*, 28(8), 2324-2342. <https://doi.org/10.1002/ldr.2761>
- Schmidt, H.-P., Kammann, C., Niggli, C., Evangelou, M.W.H., Mackie, K.A. et Abiven, S. 2014. Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agric. Ecosyst. Environm.* 191, 117-123.
- Schulz, H., Dunst, G. et Glaser, B. 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agron. Sustain. Dev.*, 33, 817-827
- Sofyan, E.T., Sara, D.S. et Machfud, Y. 2019. The effect of organic and inorganic fertilizer applications on N, P-uptake, K-uptake and yield of sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt). *Earth Environ. Sci.* 393, 012021.
- Skowronska M. and Filipek T., 2010. Accumulation of nitrogen and phosphorus by maize as the result of the reduction in the potassium fertilization rate. *Ecological Chemistry and Engeneering S*, 17, 83-88
- Steiner, C., Das, K., Melear, N. et Lakly, D. 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *J. Environ. Qual.* 39, 1236-1242.
- Traoré, A., Yaméogo, L.P., Da, I.A.N., Traoré, K., Bazongo, P. et Traoré, O. 2020. Effet de la formule unique d'engrais 23-10-05 +3,6S+2,6Mg+0,3Zn sur le rendement du maïs Barka dans la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso. *Afr. SCI.* 16(1), 260 - 270
- Uehara, G. et Gillman, G., 1981. The mineralogy, chemistry and physic of tropical soils with variable charge clays. *Westview Tropical Agriculture Series*, 4, 159.
- Wiedner, K., Fischer, D., Waltherc, S., Criscuoli, I., Favilli, F., Nelle, O. et Glaser, B. 2015. Acceleration of biochar surface oxidation during composting? *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 63, 3830-3837.
- Woolf, D., Lehmann, J., Cowie, A., Cayuela, M. L., Whitman, T., et Sohi, S., 2018. Biochar for climate change mitigation: Navigating from science to evidence-based policy. In R. Lal, and B. A. Stewart (Eds.), *Soil and climate*: 219-248
- Ye, L., Camps-Arbestain, M., Shen, Q., Lehmann, J., Singh, B. et Sabir, M., 2020. Biochar effects on crop yields with and without fertilizer: A meta-analysis of field studies using separate controls. *Soil Use Manage*; 36:2-18
- Yu, H., Zouc, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., Tang, H., Wei, X. et Gao, B. 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. *Journal of Environmental Management* 232, 8-21.
- Zhang, J., Lü, F., Shao, L. et He, P. 2014. The use of biochar-amended composting to improve the humification and degradation of sewage sludge. *Bioresource Technology* 168; 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.080>

Chapitre 5

Discussion générale

Chapitre 5: Discussion générale

L'amélioration de la productivité des sols cultivées au Burkina Faso est un impératif pour les acteurs du monde agricole au regard de l'état avancé de leur dégradation et des défis alimentaires présents et futurs. Ce sont des sols fortement exploités avec un niveau de fertilité moyen à bas, comme le montrent les résultats de nos travaux sur la caractérisation des principaux sols cultivés dans la zone ouest du pays. Toutefois, l'origine géologique semble impacter la texture et la CEC des sols. En effet, la caractérisation pédologique des lixisols et plinthosols de la zone ouest a montré que les sols développés sur matériau gréseux avaient une texture plus fine (argileuse pour les lixisols et limono-argilo-sableuse pour les plinthosols) que les sols développés sur matériau granodioritique (limono-argilo-sableuse pour les lixisols et sablo-limoneuse pour les plinthosols). La CEC des sols développés sur matériau gréseux était plus élevée ($5,5 \text{ cmol}.\text{kg}^{-1}$ pour les lixisols et $3 \text{ cmol}.\text{kg}^{-1}$ pour les plinthosols) que celles des sols développés sur le granodiorite ($3,3 \text{ cmol}.\text{kg}^{-1}$ pour les lixisols et $2,04 \text{ cmol}.\text{kg}^{-1}$ pour les plinthosols). Comme il est reconnu que le matériel lithologique transmet ses caractères physico-chimiques au sol qui le surmonte et qui se forme à ses dépens (Van Straaten, 2011 ; Araujo *et al.*, 2017 ; Augusto *et al.*, 2017; Wilson, 2019) nous supposons que le complexe d'altération des matériaux gréseux est plus riche en agrile que celle des granodiorites. Une comparaison des deux matériaux parentaux montre, par ailleurs, que les sols développés sur matériau gréseux présentent de bien meilleure teneurs en matière organique, en cations échangeables et disponibles avec une meilleure CEC comparativement aux sols développés sur matériau granodioritique. Cette relative meilleure fertilité des sols issus du matériau gréseux est probablement liée à leur teneur élevée en éléments fins (argile+limon) qui, en jouant le rôle d'agents insolubilisants face aux matières organiques à travers la formation d'associations organo-minérales, favorisent la formation de micro-agrégats qui protègent les matières de l'activité enzymatique (Agusto *et al.*, 2017 ; Atchada *et al.*, 2018). En outre, il est a été reconnu que les valeurs de la CEC du sol dépendent aussi de la nature minéralogique des argiles (Saidi *et al.*, 2008). Ce qui pourrait expliquer la CEC élevée des sols développés sur matériau gréseux comparativement aux sols développés sur du granodiorite du moment où les sols étudiés ont de faibles taux de matière organique. Toutefois les teneurs en éléments P, Ca et Mg disponibles de l'ensemble des sols développés sur les deux matériaux parentaux (grès et granodiorite) sont faibles par rapport aux normes. Ce constat est fait par Bationo *et al.* (2011) qui ont reconnu que les sols les moins fertiles se sont développés dans des zones où le matériau parental est essentiellement constitué de granite et de grès. Les sols qui ont fait l'objet de notre étude appartiennent à la catégorie des sols à faible niveau de fertilité étant donné qu'ils sont issus de matériaux granodiorite (matériau très proche du granite) et gréseux (grès précambrien du bassin de Taoudéni).

La mise en culture continue de ces sols développés sur matériaux parentaux chimiquement pauvres a certainement accru l'intensité de leur dégradation d'où nos essais en milieu paysan sur les amendements à base de biochar. les amendements à base de biochar apportés à 2,5 tonnes par hectare et par an pendant deux ans ont montré peu d'effets en première année sur les paramètres de croissance et le rendement des cultures sur tous les sols excepté le gleysol. Par contre, ils ont accru le rendement du maïs grains en 2^{ième} année de 10% (co-compost du lixivisol endoplinthique à Massala) à 58% (co-compost du régosol à Koumbia) et du coton-graine en 3^{ième} année de 17% (biochar du lixivisol endoplinthique à Koumbia) à 44% (biochar du gleysol à Koumbia) par apport au compost. Cette aptitude du biochar à améliorer les rendements des cultures pourrait s'expliquer par une amélioration du pH du sol, une augmentation de la disponibilité de certains nutriments par un apport direct par le biochar lui-même et une meilleure rétention des nutriments apportés dans la rhizosphère ou à une augmentation de la disponibilité des nutriments du sol (Das *et al.*, 2021). Par exemple, Yang *et al.* (2020) ont montré que le biochar agit sur la disponibilité du phosphore à trois niveaux. D'abord en tant que source de P, il fournit du P soluble et échangeable au sol ; ensuite il améliore la disponibilité du P du sol en influençant les effets de la complexation et du métabolisme liés au P et, enfin, il réduit les pertes de P par lessivage en l'adsorbant, en améliorant sa rétention par le sol et en facilitant son assimilation par les plantes. Par ailleurs, avec sa grande porosité et une surface spécifique élevée, le biochar réduit la densité apparente et améliore la capacité de rétention d'eau une fois qu'il est incorporé dans le sol (Palai, 2020). Pour accroître davantage l'efficacité du biochar, il est recommandé de le co-composter avec d'autres matières organiques (Sulemana *et al.*, 2021). Le co-compostage avec le biochar augmente la valeur nutritive végétale du produit final (Teodoro *et al.*, 2020). Nos résultats ont montré que le co-compostage avec le biochar de tige de cotonnier améliore significativement les teneurs en N, P et Mg du produit final (co-compost) comparativement au compost et au biochar. L'augmentation de la rétention des nutriments par le co-compost est certainement liée à la formation d'une couche organique très fine sur biochar co-composé qui piège et adsorbe les nutriments dissous (Das *et al.*, 2021). Toutefois, l'efficacité du biochar dépend de la matière première utilisée pour sa production. En général, les biochars à base de fumier ont des valeurs de pH plus élevées et contiennent plus de nutriments que ceux à base de lignocelluloses (Dai *et al.*, 2017 ; Yu *et al.*, 2019). Ainsi, la réponse du rendement des cultures à l'application de biochar peut être dans cet ordre de matière première : Fumier > Résidus de récolte > Bois (Yu *et al.*, 2019). Au-delà de la matière première, les conditions initiales du sol affectent l'efficacité de l'amendement biochar. Le biochar a plus d'impact sur les sols dégradés que sur les sols fertiles. Son application dans des sols sablonneux, acides et à faible teneur en matière organique améliore mieux les rendements des cultures que dans les sols argileux à pH presque neutre et à haute teneur en matière organique dans lesquels il peut avoir de petits effets, aucun effet ou même diminuer les rendements (Yu *et al.*, 2019).

La caractérisation du co-compost produit a révélé une meilleure teneur en C_{org} total, N_tot, Ca_tot, Mg_tot, K_tot Na_tot et P_tot respectivement par rapport au compost. Ce résultat est certainement lié, d'une part, à l'apport direct en nutriment du biochar et, d'autre part, à la capacité du biochar du co-compost à retenir les nutriments dans ses micropores et à réduire les pertes d'azote par volatilisation et par lixiviation (Kamran *et al.*, 2018 ; Guo *et al.*, 2020 ; Awasthi *et al.*, 2020). Selon Lopez-Cano *et al.* (2016) et Antonangelo *et al.* (2021) l'ajout du biochar dans le processus de compostage renforce le processus de nitrification qui convertit NH₃/NH₄⁺ en NO₃⁻ et supprime le processus d'ammonification (le chemin inverse). En outre, les phases inorganiques chargées positivement dans le biochar peuvent contribuer à retenir le NO₃⁻ à leur surface (Archango *et al.*, 2017). Le biochar du co-compost constitue de ce fait un réservoir de nutriments qui enrichit davantage le co-compost en plus des teneurs en éléments nutritifs des autres constituants du co-compost (fumier et biomasse végétale).

L'essai conduit en milieu semi contrôlé montre que l'application du co-compost à raison de 2,5t.ha⁻¹ avec une réduction de 25% de la dose recommandée de NPK maintient le rendement des cultures au même niveau que le co-compost à la même dose mais avec 100% de la dose recommandée de NPK. Mieux il accroît de 14% les rendements du maïs et du coton comparativement au compost à la même dose avec 100% de la dose recommandée de NPK. Le rôle central du biochar du co-compost dans la réduction de la lixiviation des nutriments en plus du caractère « slow release fertilizer » du co-compost améliorent l'efficacité d'utilisation des engrains par les plantes (Schulz *et al.* 2013 ; Hagemann *et al.*, 2017). Par ailleurs, l'incorporation du biochar dans le processus de compostage augmente la disponibilité du P (Vandecasteele *et al.*, 2016 ; Lélé *et al.*, 2016) et la concentration en acide fulvique qui, une fois dans le sol, a la capacité de chélater les métaux et de favoriser leur absorption par les plantes (Zhang *et al.*, 2014). Les sols du Burkina Faso sont connus pour leur carence en potassium assimilable (Traoré *et al.*, 2021). Le co-compost en améliorant la teneur en phosphore assimilable du sol assure la croissance, le développement des plantes et le rendement des cultures (Boureima et Ibrahim, 2020 ; Kouyaté *et al.*, 2020). L'application du co-compost dans les sols cultivés au Burkina Faso, grâce à l'amélioration du rendement des cultures, pourrait accroître la production agricole et réduire l'insécurité alimentaire. Il pourrait aussi réduire la pression sur les ressources naturelles notamment l'extension des superficies des champs. En effet, les conclusions des travaux de Ouédraogo (2021) menés à Koumbia montrent que le co-compost induirait un rendement moyen supplémentaire de maïs de 664,23 kg.ha⁻¹ sur les lixisols et les plinthosols. Ce qui dégagerait un surplus de production de 2979, 8 tonnes de maïs si l'ensemble des 1151,75ha cultivés en maïs sont amendées au co-compost dans des conditions climatiques similaires de 2019. Ce surplus de production correspond aux besoins alimentaires annuels de 14899

personnes à raison de 200kg de céréale par personne et par an selon les normes FAO. Aussi, sachant que l'utilisation du co-compost de $2,5\text{t.ha}^{-1}$ associée à 75% de la dose recommandée de NPK maintient le même niveau de rendement du maïs que le compost à la même dose associé à 100% de la dose recommandée de NPK, l'amendement co-compost sur les 1151,75 ha emblavés en maïs pourrait faire économiser 57,6 tonnes de NPK. En termes financiers ces 57,6 tonnes représentent une économie d'échelle de 35123,55 euro correspondant à 23 040 000 FCFA à raison de 400 000FCFA la tonne de NPK.

5.2. Références bibliographiques

- Antonangelo, J.A., Sun, X. et hang, H., 2021. The roles of co-composted biochar (COMBI) in improving soil quality, crop productivity, and toxic metal amelioration. *Journal of Environmental Management* 277, 111443
- Araujo, M. A., Zinn, Y.L. et Lal, R., 2017. Soil parent material, texture and oxide contents have little effect on soil organic carbon retention in tropical highlands. *Geoderma*, 300 : 1-10
- Asumadu, K. et Weil, R.R., 1988. A comparison of the USDA soil taxonomy and the Zimbabwe soil classification system with reference to some red soils of Zimbabwe. Proceedings of an international symposium, Harare, Zimbabwe, 24-27 Feb 1986, IDRC-MR 170e, International Development Research Centre, Ottawa, ON, Canada, 413-445.
- Atchada, C.C., Zoffoun, A.G., Akplo, T.M., Azontondé, A.H., Tenté, A.B. et Djego, J.G., 2018. Modes d'utilisation des terres et stock de carbone organique du sol dans le bassin supérieur de Magou au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(6): 2818-2829.
- Archanko, B.S., Mendoza, M.E., Albu, M., Mitchell, D.R.G., Hagemann, N., Mayrhofer, C., Mai, T.L.A., Weng, Z., Kappler, A., Behrens, S., Munroe, P., Achete, C.A., Donne, S., Araujo, J.R., van Zwieten, L., Horvat, J., Enders, A. et Joseph, S., 2017. Nanoscale analyses of the surface structure and composition of biochars extracted from field trials or after co-composting using advanced analytical electron microscopy. *Geoderma* 294, 70-79.
- Augusto, L., Achat, D. L., Jonard, M., Vidal, D. et Ringeval, R. 2017. Soil parent material-A major driver of plant nutrient limitations in terrestrial ecosystems. *Glob Change Biol.*, 23:3808-3824.
- Bationo, A., Waswa, B., Okeyo, J.M., Maina, F. et Kihara, J., 2011. Innovations as Key to the Green Revolution in Africa: Exploring the Scientific Facts. Springer, 1363 p.
- Boureima, S. et Ibrahim M.L., 2020. Effets de la déficience en phosphore du sol sur la croissance et le développement du sésame (*Sesamum indicum* L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14(3): 1014-1024

- Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P.C. et Xu, J., 2017. Potential role of biochars in decreasing soil acidification - A critical review. *Sci. Tot. Env.*, 581-582: 601-611
- Das, S.K., Ghosh, G.K., Avasthe, R., Kundu, M.C., Choudhury, B.U., Baruah, K. et Lama, A., 2021. Innovative biochar and organic manure co-composting technology for yield maximization in maize-black gram cropping system. *Biomass Conv. Bioref.* <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01519-5>
- Fernández, J.M., Nieto, M.A., López-de-Sá, E.G., Gascó, G., Méndez, A. et Plaza, C., 2014. Carbon dioxide emissions from semi-arid soils amended with biochar alone or combined with mineral and organic fertilizers. *Sci. Total Environ.*, 482: 1-7.
- GIZ, 2020. Catalogue des mesures CES/DRS promues par le ProSol, Ouagadougou, Burkina Faso : MAAH-GIZ; 49 p.
- Guo, M., 2020. The 3R Principles for Applying Biochar to Improve Soil Health. *Soil Syst.*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4010009>
- Hagemann, N., Kammann C. I., Schmidt H. P., Kappler A. et Behrens S., 2017. Nitrate capture and slow release in biochar amended compost and soil. *PloS one*, 12(2), e0171214. doi: 10.1371/journal.pone.0171214
- Kamran, M.A., Jiang, J., Li, J-L., Shi, R-Y., Mehmood, K., Al Baqy, M.A. et Xu, R-K., 2018. Amelioration of soil acidity, Olsen-P, and phosphatase activity by manure- and peat-derived biochars in different acidic soils. *Arab. J. Geosci.*, 11: 272
- Kouyaté, A.B., Ibrahim, A., Sermé, I. et Dembélé, S.G., 2020. Réponses du sorgho à l'apport de différentes formes de phosphate naturel de Tilemsi combiné avec de fertilisants solubles dans un système de production à faible intrant au Mali. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14(9): 3285-3296
- Lélé, N.B., Sudi, C.K. et Lejoly, J., 2016. Effet du biochar et des feuilles de *Tithonia diversifolia* combiné à l'engrais minéral sur la culture du maïs (*Zea mays L.*) et les propriétés d'un sol ferrallitique à Kinshasa (RDC). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 20(1) :57-67
- Lopez-Cano, I., Roig, A., Cayuela, M.L., Alburquerque, J.A., et Sanchez-Monedero, M.A., 2016. Biochar improves N cycling during composting of olive mill wastes and sheep manure. *Waste Management*, 49, 553-559. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.031>
- Neya, O., Neya, T., Abunyewa, A.A., Zoungrana, B.J.B., Tiendrebeogo, H., Dimobe, K. et Korahire, J.K., 2020. Land Use Land Cover Dynamics and Farmland Intensity Analysis at Ouahigouya Municipality of Burkina Faso, West Africa. *Am. J. Clim. Chan.* , 9: 23-33
- OSS, 2012. Bonnes pratiques de Gestion Durable des Terres et des Eaux en Afrique du Nord. Convention OSS – FAO n° 279344, 59 p.
- Ouédraogo, W., 2021. Approche spatiale et socio-économique de l'implémentation d'un amendement biochar dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso, 279 p

- Palai, J.B., 2020. Role of Biochar in Sustainable Agriculture. AE, 7(2): 73-75
- Saidi, D., Le Bissonnais, Y., Duval, O., Daoud, Y. et Tessie, D., 2008. Estimation et signification de la capacité d'échange cationique des sols salés du Cheliff (Algérie). Etude et Gestion des Sols, 15, 4 : 241-254
- Schulz, H., Dunst, G. et Glaser, B. 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. Agron. Sustain. Dev., 33, 817-827
<https://doi.org/10.1007/s13593-013-0150-0>
- Sulemana, N., Nartey, E.K., Abekoe, M.K., Adjadeh, T.A. et Darko, D.A., 2021. Use of Biochar-Compost for Phosphorus Availability to Maize in a Concretionary Ferric Lixisol in Northern Ghana. Agronomy, 11, 359
- Szilas, C., Jens Peter Møberg, J.P., Borggaard, O.K. et Semoka, J.M.R., 2005. Mineralogy of characteristic well-drained soils of sub-humid to humid Tanzania. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science, 55: 241-251
- Teodoro, M., Trakal, L., Gallagher, B.N., Simek, P., Soudek, P., Pohorelý, M., Beesley, L., Jacka, L., Kova, M., Seyedsadr, S. et Mohan, D., 2020. Application of co-composted biochar significantly improved plantgrowth relevant physical/chemical properties of a metal contaminated soil. Chemosphere, 242, 125255
- Traoré, B., Sermé, I., Ouattara, B., Bougma, A., Ouédraogo, J., Pouya, B. M. et Ouattara, K., 2021. Effet de micronutriments et de nutriments secondaires sur la production du mil et du sorgho en Zone nord soudanienne du Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci. 15(5): 1902-1913
- Tully, K., Sullivan, C., Weil, R. et Sanchez, P., 2015. The State of Soil Degradation in Sub-Saharan Africa: Baselines, Trajectories, and Solutions. Sustainability, 7: 6523-6552
- Vandecasteele, B., Sinicco, T., D'Hose, T., Vanden Nest, T. et Mondini, C., 2016. Biochar amendment before or after composting affects compost quality and N losses, but not P plant uptake. J. Environ. Manag., 168, 200-209
- Van Straaten, P., 2011. The Geological Basis of Farming in Africa. In: Bationo A., Waswa B., Okeyo J., Maina F., Kihara J. (eds) Innovations as Key to the Green Revolution in Africa. Springer, Dordrecht. Pp: 31-47.
- Wilson, M.J., 2019. The importance of parent material in soil classification: A review in a historical context. Catena 182 ; 104131
- Yang, L., Wu, Y., Wang, Y., An, W., Jin, Jie., Sun, K. et Wang, X., 2020. Effects of biochar addition on the abundance, speciation, availability, and leaching loss of soil phosphorus. Sci.Tot. Envir., 758, 143657
- Yu, H., Zou, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., Tang, H., Wei, X. et Gao, B., 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. Journal of Environmental Management, 232: 8-21

Chapitre 6

Conclusion générale et perspectives

Chapitre 6: Conclusion générale et perspectives

6.1. Conclusion générale

Dans un contexte de changement climatique couplé à une augmentation des besoins alimentaires, assurer la durabilité de la fertilité des sols constitue un défi majeur pour l'agriculture au Burkina Faso. Cette durabilité ne saurait être possible sans une approche basée sur les pratiques de gestion durable des terres. Le matériau parental étant l'un des facteurs qui déterminent la fertilité des sols, sa prise en compte dans les pratiques de gestion de la fertilité revêt d'un intérêt capital pour évaluer l'évolution de la qualité du sol. Ainsi, l'objectif global de cette étude est de renforcer les capacités de résilience des petits producteurs par la gestion durable de la fertilité des sols. Quatre hypothèses ont été émises et pour les vérifier, il a fallu :

- Caractériser les sols des sites d'étude ;
- Evaluer les effets de l'adjonction du biochar au cours du processus de compostage sur la qualité du compost ainsi que la performance agronomique du co-compost;
- Evaluer la performance agronomique des amendements à base de biochar sur différents types de sol.

L'étude de caractérisation des sols (chapitre 2) a permis de constater que les sols des sites d'étude se sont développés sur deux matériaux parentaux différents (granodiorite et grès). Cette différence de matériaux parentaux d'origine aurait impacté les propriétés chimiques des lixisol et des plinthosols mais pas leurs propriétés morphologiques. Nous avons constaté que la CEC des lixisol étudiés est beaucoup plus contrôlée par l'argile que la matière organique. Les lixisol issus du grès sont modérément aptes à la culture du coton et du maïs en raison de leur teneur en argile relativement plus élevée contrairement au lixisol sur granodiorite qui ont une aptitude marginale à la culture des mêmes spéculations. Quant aux plinthosols, ils sont inaptes à la culture du coton quel que soit le matériau parental d'origine. Par contre, les plinthosols développés sur matériau gréseux ont une aptitude marginale à la culture du maïs alors que ceux développés sur matériau granodioritique sont inaptes. Par ailleurs les GREL, GRAL et GREPli ont une classe de fertilité "moyen" tandis que les GRAPli ont une classe de fertilité "bas". Pour ce faire l'hypothèse 1 selon laquelle le matériau parental contrôle les aptitudes agronomiques des sols tropicaux sous culture est rejetée.

Les travaux sur l'évaluation de la performance agronomique des amendements à base de biochar dans un contexte pédologique contrasté a permis d'aboutir à la conclusion selon laquelle le biochar et le co-compost n'ont pas d'effet significatif sur les propriétés du sol lorsqu'ils sont appliqués à la dose de 2,5 t.ha⁻¹.an⁻¹ pendant deux ans. Les effets de ces amendements à base de biochar sur les paramètres de croissance et le rendement des cultures ont été significatif seulement sur le gleysol en première année d'application mais plus significatifs en 3^{ème} année comparativement au compost

L'hypothèse 2 qui stipulait que la performance agronomique des amendements à base de biochar est fonction du type de sol est partiellement acceptée.

L'évaluation des effets de l'adjonction du biochar au cours du processus de compostage s'est traduite par une augmentation significative du carbone organique, de l'azote total, du calcium total, magnésium total, du phosphore total, potassium total et sodium total dans le co-compost comparativement au compost. L'hypothèse 3 selon laquelle l'adjonction du biochar au cours du processus de co-compostage améliore les propriétés chimiques de l'amendement produit est acceptée.

L'évaluation de la performance agronomique du co-compost a révélé que l'ajout de cet amendement au sol à la dose de $2,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ associé à 75% de la dose recommandée de NPK maintient les propriétés chimiques du sol et les rendements des cultures au même niveau que le compost à la même dose mais avec 100% de la dose recommandée de NPK. L'hypothèse 4 selon laquelle l'application du co-compost permet d'améliorer l'efficience d'utilisation des nutriments par les plantes est acceptée.

6.2. Limites de l'étude

Les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse, bien qu'ayant permis de déterminer l'influence du matériau parental sur la qualité des sols, évaluer les effets des amendements à base de biochar sur les propriétés des sols et les rendements des cultures, présentent néanmoins quelques limites. Il aurait fallu intégrer un traitement compost + 75% de dose recommandée de NPK dans le dispositif d'évaluation des effets du co-compost sur la dose d'apport du NPK. Ce traitement aurait servi de témoin. Pour pallier cette limite, nous nous sommes référés à la littérature. La deuxième limite est liée à la non prise en compte des propriétés physiques et biologiques du sol dans l'évaluation des performances des amendements à base de biochar dans un contexte de diversité pédologique. Cela aurait permis d'affiner davantage les effets des amendements sur la qualité des sols.

6.3. Recommandations

Au regard des résultats obtenus et du temps limité des travaux, les recommandations suivantes sont formulées :

- *à l'endroit de la recherche :*
 - ✓ poursuivre la recherche en mettant en place un essai longue durée sur la technologie du biochar afin de disposer de données sur les effets des amendements à bases de biochar à long terme.

- *à l'endroit des services techniques en charge de l'agriculture :*
 - ✓ Participer aux études sur la technologie du biochar au côté de la recherche afin de préparer les messages adéquats de vulgarisation des résultats.
- *à l'endroit des producteurs :*
 - ✓ Participer au sessions de champs école et séances de visite commentées pour connaître davantage les techniques de production et d'application des amendements à base de biochar ;
 - ✓ pour les besoins d'amendement des sols acides et pauvres en nutriments, il serait intéressant de produire du biochar de résidus de récoltes peu valorisés (tiges de cotonnier, tiges de sésame, rachis de maïs, coques d'arachide, balles de riz, etc.) à des températures variant de 500 à 700°C. Ce qui permet d'obtenir des biochars à pH alcalin et riches en nutriments destinés;
 - ✓ activer le biochar par co-compostage pour accroître l'efficience d'utilisation des nutriments par les plantes ;
 - ✓ appliquer ces amendements à base de biochar dans les exploitations afin de réduire les dépenses d'engrais minéraux.

6.4. Perspectives

Cette étude est l'une des premières sur l'utilisation des amendements à base de biochar dans un contexte pédologique contrasté en milieu réel au Burkina Faso. Elle a permis d'obtenir des résultats intéressants sur les aptitudes agronomiques des sols de la zone ouest du Burkina Faso. Cette étude a également fourni des informations importantes sur les performances agronomiques des amendements à base de biochar qui pourraient être prises en compte dans les stratégies de vulgarisation du biochar au Burkina Faso. Cependant, certains aspects méritent d'être mieux approfondis :

Tout d'abord, poursuivre l'étude sur la capacité du co-compost à réduire la dose d'apport du NPK pour trouver le seuil de dose de NPK en dessous duquel les rendements baissent significativement ;

Etendre l'étude sur d'autres zones agro écologiques différentes avec limitation liée au climat ;

Une étude robuste devrait être conduite pour mieux comprendre les effets conjugués du matériau parental, de la géomorphologie et des amendements à base de biochar sur les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols à court et long termes ;

Enfin, comme le pays est résolument tourné vers la production du riz, une étude sur les performances agronomiques des amendements à base de biochar en riziculture irriguée pourrait être envisagée

APPENDICES

Publications et résumés de conférences

Appendices : Publications et résumés de conférences

1. Publications

- Cissé, D., Cornelis, J.T., Traoré, M., Saba, F., Coulibaly, K., Lefebvre, D., Colinet, G., Nacro, H.B., 2021. Co-composted biochar to decrease fertilization rates in cotton-maize rotation in Burkina Faso. *Agronomy Journal*. doi:[10.1002/agj2.20867](https://doi.org/10.1002/agj2.20867)
- Cissé, D., Cornelis, J.T., Traoré, M., Saba, F., Coulibaly, K., Nacro, H.B., Performances agronomiques des amendements à base de biochar en milieu paysan à l'ouest du Burkina Faso. (Accepté pour publication dans la revue *Agronomie Africaine*).
- Cissé, D., Traoré, M., Cornelis, J.T., Minsart, L.A., Saba, F., Coulibaly, K., Nacro, H.B., Parent material drive soil controls on agronomic performance in a cotton-corn cropping system in Western Burkina Faso (Article en préparation pour *Geoderma*).
- Cissé, D., Cornelis, J.T., Traoré, M., Sawadogo, H., Saba, F., Coulibaly, K., Minsart, L.A., Colinet, G., Nacro, H.B. Efficacité agronomique des amendements à base de biochar dans un contexte de diversité pédologique en zone nord-soudanienne du Burkina Faso (en préparation)
- Cissé, D., Cornelis, J.T., Traoré, M., Sawadogo, H., Saba, F., Coulibaly, K., Nacro, H.B. Rôles du co-compost au biochar dans l'amélioration de la qualité du sol et le rendement des cultures sur un plinthosol à l'ouest du Burkina Faso (en préparation)

2. Résumés de conférences

- Cissé, D., Cornelis, J.T., Traoré, M., Saba, F., Coulibaly, K., Nacro, H.B., 2018. Le biochar pour une amélioration durable de la fertilité des sols tropicaux. *Présentation orale* à la 2^{ème} édition de la finale du concours national « ma thèse en 180 seconde (MT180) »- Ouagadougou- Burkina Faso.
- Cissé, D., Traoré, M., Saba, F., Séni, P., Cornelis, J.T., Nacro, H.B., 2019. Biochar et cocompost: une option de gestion durable de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés. *Présentation poster* à la 2^{èmes} Conférence Intensification Durable 2019 de Dakar : « Leviers d'intensification pour une transition agroécologique des systèmes de production en Afrique Subsaharienne - Dakar, Sénégal.
- Cissé, D., Traoré, M., Saba, F., Seni, P., Cornelis, J.T., Nacro, H.B., 2019. Biochar et co-compost au biochar: une option de gestion durable de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés. *Présentation poster* au 3^{èmes} Symposium International sur la science et la technologie (SIST)- Ouagadougou-Burkina Faso.
- Cissé, D., Cornelis, J.T., Traoré, M., Saba, F., Coulibaly, K., Nacro, H.B., 2020. Biochar and biochar co-composted: an option for sustainable fertility management

-
- of leached tropical ferruginous soils. *Poster presentation* at the 25th National Symposium for Applied Biological Sciences (NSABS)- Gembloux-Belgique
- **Cissé, D.**, Cornelis, J.T., Traoré, M., Saba, F., Coulibaly, K., Nacro, H.B., 2020. Biochar and cocompost: an option for sustainable fertility management of leached tropical ferruginous soils. *Flash presentation* at the 25th National Symposium for Applied Biological Sciences (NSABS)- Gembloux-Belgique
 - **Cissé, D.**, Cornelis, J.T., Traoré, M., Saba, F., Coulibaly, K., Nacro, H.B., 2021. Effets de l'ajonction du biochar sur la qualité du compost et du sol. *Présentation orale* à la 3^{ème} édition du Symposium Scientifique International sur la Gestion Durable des Terres-Ouagadougou-Burkina Faso.