

BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DES AMÉNAGEMENTS
HYDRAULIQUES

SECRETARIAT GÉNÉRAL

CENTRE AGRICOLE POLYVALENT DE MATOURKOU (CAP MATOURKOU)



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Agriculture

THÈME :

**ÉVALUATION DE STOCKS DE CARBONE DANS UN SOL
FERRUGINEUX SOUS L'APPORT DE COMPOSTS DE DÉCHETS
URBAINS : CAS DE GAMPÈLA AU BURKINA FASO.**

Présenté et soutenu par Souleimane SANA

Composition du jury

M. Hassan Bismarck NACRO	Pr Titulaire Agropédologie à l'Université Nazi Boni (UNB)	Président de jury
M. Jean Marchel OULE	Ingénieur d'Agriculture, Directeur régional des Cascades	Vice-président
M. Edmond HIEN	Pr Titulaire à l'Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO, Chercheur Associé à l'IRD	Directeur de mémoire
M. Salifou SANOGO	Ingénieur d'Agriculture, Représentant du CAP Matourkou	Membre

N°.....

Octobre 2018

DÉDICACE

À

- notre Père,
- notre Mère,
- notre Oncle.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) sous la direction du **M. Edmond HIEN**, *Professeur titulaire à l'Université Ouaga I Pr Joseph KIZERBO et également Chercheur Associé à l'IRD, Expert FAO en Sciences du Sol et Responsable de l'Unité Mixte de Recherche (UMR) 210 Eco&Sols au Burkina Faso*. Nous lui exprimons vivement notre reconnaissance et notre sincère gratitude pour avoir accepté ce tutorat scientifique et consacré une grande partie de son temps à nous lire, à nous écouter, à nous guider. Ses conseils, ses interventions et son assistance ont été cruciaux dans l'aboutissement de ce travail. Il nous est aussi agréable de remercier :

- la Représentante Déléguée de l'IRD au Burkina Faso, Mme Dominique DUMET, pour nous avoir accueilli dans son institut pendant 7 mois et nous avoir autorisé l'accès à de multiples services ;
- tous les membres du jury pour avoir consacré une partie de leur temps précieux pour apprécier ce travail ;
- Le Dr Denis OUEDRAOGO et tout le personnel du CAP Matourkou pour les efforts consentis pour l'aboutissement de la formation ;
- tous les formateurs en charge des cours, des travaux pratiques, des travaux dirigés ;
- M. Prosper SAWADOGO, qui nous a beaucoup appuyé sur le côté pratique de notre stage, notamment dans les différentes mesures que nous avons réalisées au laboratoire comme au champ ;
- tous les doctorants notamment Fabrice BATIONO, Salomon BOUDA, Daouda GUEBRE et Céline SANOU que nous avons eu l'occasion de côtoyer à l'IRD et qui ont été très utiles pour le déroulement de nos travaux ;
- nos camarades stagiaires de l'Université Ouaga I, du CAP-M ainsi que ceux de l'Institut de Développement Rural (IDR) notamment Zakaria KABORÉ et Yasmina KONATE pour le partage d'expérience, les corrections et suggestions apportées à ce document ;
- tous ceux qui nous ont donné l'envie et le courage de continuer dans nos études ;
- notre famille pour le soutien inlassable et surtout son éducation qui nous sert toujours de repère ;
- tous ceux qui nous ont apporté des contributions multiformes et dont nous taillons volontairement les noms au risque d'en oublier.

TABLE DE MATIÈRE

DÉDICACE	I
REMERCIEMENTS	II
ACRONYMES ET SIGLES.....	V
TABLE DES ILLUSTRATIONS	VI
RÉSUMÉ	VII
ABSTRACT.....	VIII
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. DEFINITIONS ET CONCEPTS	3
1.1.1. Séquestration du carbone	3
1.1.2. Stockage du carbone	3
1.1.3. Compostage.....	4
1.1.3.1. Compost	4
1.1.3.2. Qualité de compost.....	4
1.2. DÉTERMINANTS DU STOCKAGE DU CARBONE DANS LES SOLS.....	5
1.2.1. Caractéristiques édaphiques	5
1.2.2. Influence du climat.....	7
1.2.3. Pratiques agronomiques	7
1.3. RÔLES DES SOLS DANS LE CYCLE DE CARBONE.....	8
1.3.1. Cycle de carbone.....	8
1.3.2. Sols et cycle de carbone	9
1.4. LES MATIÈRES ORGANIQUES DES SOLS (MOS).....	9
1.4.1. Origine et évolution des MOS	9
1.4.2. Impacts agronomiques et environnementaux des MOS.....	10
1.4.2.1. Effet sur les propriétés chimiques des sols	11
1.4.2.2. Effet sur les propriétés physiques des sols.....	11
1.4.2.3. Fourniture d'éléments minéraux par minéralisation	11
1.4.2.4. Abondance des populations vivantes et biodiversité.....	12
CHAPITRE 2: MATÉRIEL ET MÉTHODES	13
2.1. ZONE D'ÉTUDE	13
2.1.1. Situation géographique de la zone d'étude	13
2.1.2. Climat et végétation	13
2.1.3. Géologie, géomorphologie et sols.....	14
2.1.4. Agriculture	15
2.2. MATÉRIEL.....	16
2.2.1. Matériel végétal.....	16
2.2.2. Composts utilisés	16
2.3. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.....	17
2.4. CONDUITE DE L'ESSAI	18
2.5. PARAMÈTRES MESURÉS	18
2.5.1. Analyse granulométrique	18
2.5.2. Densité apparente.....	19
2.5.3. Taux de terre fine	19
2.5.4. Détermination du carbone organique.....	19
2.5.5. Détermination de l'azote total du sol et les caractéristiques chimiques des composts	19
2.5.6. Stocks de carbone.....	20

2.5.7.	Détermination de taux de levée et mesure de la croissance des plantes.....	20
2.6.	ANALYSE STATISTIQUE.....	21
CHAPITRE 3:	RÉSULTATS ET DISCUSSION	22
3.1.	RÉSULTATS.....	22
3.1.1.	Granulométrie du sol.....	22
3.1.2.	Densité apparente.....	23
3.1.3.	Taux de terre fine	23
3.1.4.	Analyses chimiques des composts	24
3.1.5.	Teneur en C.....	26
3.1.6.	Teneur en N.....	28
3.1.7.	Stocks de C	29
3.1.8.	Influence des traitements sur la levée	30
3.1.9.	Influence des traitements sur la croissance du sorgho	31
3.1.10.	Relation entre la croissance et le stock de carbone	31
3.2.	DISCUSSION	33
3.2.1	Variabilité de la densité apparente	33
3.2.2	Variabilité du taux de terre fine	33
3.2.3.	Variabilité des teneurs en C et N.....	34
3.2.4.	Variabilité des stocks en C.....	35
CONCLUSION		38
RÉFÉRENCES CITÉES.....		39
	Annexe 1 : Protocole de détermination de la densité apparente	i
	Annexe 2 : Fiche de description de la fosse pédologique	ii
	Annexe 3 : Quantité de Ct et Nt apportés (en g Kg ⁻¹ MS)	iii
	Annexe 4 : Protocole d'analyse de C organique	iv
	Annexe 5 : Protocole d'analyse de l'azote total.....	v
	Annexe 6 : Précipitation Gampèla	vi
	Annexe 7 : Croissance comparée par bloc	vi
	Annexe 8 : Stocks d'azote (T ha ⁻¹) par compost	vi

ACRONYMES ET SIGLES

AFNOR	Association Française de Normalisation
ANOVA	Analyse de variance
CAP MATOURKOU	Centre Agricole Polyvalent de Matourkou
CEC	Capacité d'Échange Cationique
CH ₄	Méthane
CILSS	Comité permanent Inter état de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
CNS	Comité National des Semences
CO ₂	Dioxyde de carbone
COS	Carbone organique du sol
CPCS	Comité de Pédologie et de Cartographie des Sols (France)
CSFD	Comité Scientifique Français de la Désertification
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GES	Gaz à Effet de Serre
GIE	Groupements d'Intérêts Économiques
INERA	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (Burkina Faso)
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique (France)
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
LSD	Différence minimale significative
MO	Matière Organique
MOS	Matière Organique du Sol
MS	Matière Sèche
N ₂ O	Oxyde Nitreux
UMR	Unité Mixte de Recherche
UNB	Université Nazi Boni

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 : Schéma simplifié du cycle de carbone dans les sols agricoles	9
Figure 2 : Schéma d'évolution de la matière organique dans le sol.....	10
Figure 3 : Carte de situation de la zone d'étude.....	13
Figure 4 : Évolution des précipitations des cinq dernières années.....	14
Figure 5 : Plan du dispositif expérimental	17
Figure 6 : Analyse granulométrique.....	22
Figure 7 : Stocks de C en fonction des traitements.....	29
Figure 8 : Stocks cumulés de C sur les 30 premiers cm.....	30
Figure 9 : Taux de levée.....	30
Figure 10 : Influence des traitements sur la croissance des plantes	31
Figure 11 : Corrélacion entre la croissance et les stocks de N	32

Liste des tableaux

Tableau I : Formulation des différents composts (en % poids brut)	16
Tableau II : Densité apparente du sol en fonction des traitements (moyenne \pm écart type ; n = 3)	23
Tableau III : Taux de terre fine en % (Moyenne \pm écart type)	25
Tableau IV: Caractéristiques des composts (moyenne \pm écart types n= 3	25
Tableau V : Teneur en C (mg g^{-1} du sol) du sol selon les modalités d'apport (moyenne \pm écart type)	27
Tableau VI : Teneur en N (mg g^{-1} de sol) selon les modalités d'apport (moyenne \pm écart type)	28

RÉSUMÉ

Au Burkina Faso, l'utilisation agricole de déchets urbains se développe progressivement dans les zones urbaines et péri-urbaines. Cette étude visait à évaluer l'effet de deux modalités d'apport de six formules de composts de déchets urbains sur les stocks de carbone et les propriétés physiques et chimiques d'un sol ferrugineux dans un essai agronomique sous sorgho à Gampèla, au Burkina Faso. Pour chaque modalité d'apport et pour chaque formule de compost, 3 t MS ha⁻¹ an⁻¹ ont été apportées sur des parcelles élémentaires. Des échantillons de sols ont été prélevés sur les profondeurs 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm. Des méthodes d'analyses conventionnelles ont été employées afin de déterminer les propriétés physiques et chimiques des sols. Les traitements sous composts ont été comparés à un témoin sans fertilisation. Le mode d'apport et le type de compost ont eu des effets sur les propriétés des sols. Les composts ont entraîné une réduction de la densité apparente, un taux de fractions fines plus élevé, des teneurs et stocks en C et N de l'horizon de surface plus importants. Comparativement au témoin, ces effets étaient significatifs pour la densité apparente, les fractions fines et les stocks de carbone dans les parcelles sous apport de composts. La corrélation entre les stocks de N et la croissance de sorgho a montré un lien positif. Les composts les plus performants étaient C1, C2 et C5. La valorisation agricole des composts de déchets urbains peut contribuer à améliorer la fertilité physique et chimique de même que la productivité des sols sous culture de sorgho.

Mots clés : stocks de carbone, sol ferrugineux, composts de déchets urbains, Burkina Faso.

ABSTRACT

The use of urban waste in agricultural is gradually developing in urban and peri-urban areas in Burkina Faso. The aim of this study was to evaluate the effect of two spreading modalities of six urban waste compost formulas inputs on carbon stocks and the physical and chemical properties of ferruginous soils in an agronomic sorghum trial in Gampèla in Burkina Faso. For each contribution modality and for each composts formula, 3 t MS ha⁻¹ year⁻¹ were spread on elementary plots. Soil samples were collected from the 0-10cm, 10-20cm and 20-30cm layers. Conventional analyses methods have been employed to determine the physical and chemical properties of soils. Compost treatments were compared to a control without fertilization. The supply modality and the compost type have had effect on soil properties. The composts resulted in reduced bulk density, higher fines particles fractions, higher C and N contents and stocks in the surface layer. Compared to the control, these effects were significant for bulk density, fine particles fractions, and carbon stocks in composted plots. The correlation between sorgho growth and stocks of N showed a positive related. The best performing composts were C1, C2 and C5. Valorization of urban waste compost in agricultural can help to improve physical and chemical fertility as well as soil productivity under sorghum cultivation.

Keywords: *carbon stock, ferruginous soil, urban wastes composts, Burkina Faso.*

INTRODUCTION

L'évolution des sols et leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, notamment vis-à-vis de leur fonction de production agricole, est étroitement liée à leur statut organique, c'est-à-dire à la quantité et à la qualité de leurs matières organiques (Some *et al.*, 2015 ; Koull et Halilat, 2016). En effet, il est maintenant bien établi que la matière organique des sols (MOS) joue des rôles agronomiques et environnementaux très importants notamment dans les sols très altérés des agroécosystèmes tropicaux (Hien, 2004). Elle permet le stockage et la mise à disposition des nutriments pour les plantes, la stabilisation des agrégats, la régulation des polluants, la réduction des gaz à effet de serre (GES) et constitue en même temps une source d'énergie pour les organismes (Hien *et al.*, 2006 ; Bernoux et Chevallier, 2013 ; FAO, 2017). Ces matières organiques proviennent naturellement de la séquestration du dioxyde de carbone (CO₂) par les végétaux supérieurs et accessoirement par des algues des sols, des lichens et des bactéries photosynthétiques à travers la photosynthèse. En outre, grâce à la photosynthèse, les plantes utilisent de l'énergie solaire pour capter le CO₂ disponible dans l'air et fabriquer de la matière végétale. Lorsque les plantes meurent, leurs tissus subissent dans les sols des séries de transformations sous l'effet de phénomènes physiques, chimiques et biologiques. Ces transformations aboutissent à des composés plus ou moins stables ou labiles, contenant en moyenne environ 58 % de carbone organique (Arrouays, 2008). En plus de cette voie, le carbone organique du sol (COS) peut provenir des apports externes sous formes de pailles, fumiers, composts etc. La quantité de carbone organique contenue dans les sols du monde est évaluée à environ 1 500 milliards de tonnes pour les premiers mètres du sol, soit environ deux fois plus que dans l'atmosphère, et trois fois plus que dans la végétation terrestre (Arrouays, 2008). Selon Henry *et al.* (2009) environ 9% du carbone mondial est contenu dans les sols africains. Des études menées par Henry (2010) en Afrique subsaharienne avaient indiqué des stocks compris entre 85 986 et 166 397 milliards de tonnes de carbone dans les 30 premiers centimètres du sol. Le Comité permanent Inter États de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS) avait mentionné en 2015 que les stocks moyens de carbone dans les systèmes sol-végétation au Burkina Faso variaient énormément sur les 30 premiers centimètres du sol en fonction de types de sol. Ce carbone contenu dans les sols sous l'effet de nombreux facteurs, se minéralise et retourne à l'atmosphère avec des durées de vie ou de stockage très variables. De ce fait, les stocks en carbone organique dans les sols sont en perpétuelle évolution et sous la dépendance d'un bilan entre les entrées (séquestration, apports externes) et les sorties de carbone. Ces sorties sont dépendantes de la vitesse de minéralisation des matières organiques, elle-même dépendante de facteurs pédoclimatiques, de la nature des composés organiques, et de leur localisation. Plusieurs études ont abordé l'impact de certaines pratiques agricoles sur les stocks de carbone dans les sols en Afrique.

Parmi ces études figurent celles de Aholoukpè *et al.* (2016) pour le Bénin, Bessah *et al.* (2016) pour le Ghana, Razafimbelo *et al.* (2018) pour le Madagascar, Hien (2004), Hien *et al.* (2006), Bambara *et al.* (2015) puis Ozias *et al.* (2018) pour le Burkina Faso. Malgré l'engouement très suscité des auteurs autour des stocks de carbone dans la sous-région, peu de recherches se sont véritablement intéressées aux stocks de carbone dans les agrosystèmes burkinabè sous l'effet des apports externes tels que les composts de déchets urbains. Pourtant, dans le contexte actuel de changements globaux couplé à la dégradation des sols et à la baisse de la fertilité des sols, il est nécessaire d'optimiser la gestion de toutes les ressources organiques disponibles dans le terroir, l'agroécosystème, etc. Aussi, dans les contextes urbains et périurbains ne serait-il pas nécessaire de porter une attention particulière sur l'utilisation des composts de déchets urbains et sur l'évolution qu'ils induisent sur les propriétés des sols en rendant des nutriments disponibles aux plantes mais aussi sur l'évolution des stocks de MOS dans une vision de changements globaux. C'est dans cette optique que cette étude intitulée « **Évaluation de stocks de carbone dans un sol ferrugineux sous l'apport de composts de déchets urbains : cas de Gampèla au Burkina Faso** » a été initiée.

Elle vise de façon globale à évaluer l'impact de composts des déchets urbains sur les stocks de carbone du sol et la production des céréales. De façon spécifique, il s'est agi :

- de déterminer la densité apparente du sol des différentes parcelles ;
- de connaître les teneurs et stocks de carbone du sol sur les 30 premiers centimètres du sol ;
- d'apprécier la capacité de stockage de carbone en fonction des modalités d'apport et des types de composts ;
- d'établir la corrélation entre les stocks d'azote et la croissance du sorgho.

Afin d'atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été formulées :

- hypothèse 1 : le type de compost influence le stockage du carbone dans les 30 premiers centimètres du sol
- hypothèse 2 : le mode d'apport du compost influence le stock de carbone du sol dans les 30 premiers centimètres
- hypothèse 3 : il existe une corrélation entre les stocks de l'azote et la croissance du sorgho

Le présent mémoire s'articule autour des principaux points suivants :

- un premier chapitre qui est une synthèse bibliographique aborde les concepts de stockage, de séquestration, les déterminants de stockage du carbone, les matières organiques des sols, leur évolution dans le sol et leurs impacts agronomiques et environnementaux ;
- un second chapitre qui présente le matériel et méthodes utilisés ;
- un troisième chapitre qui présente les résultats obtenus et la discussion ;
- enfin, une conclusion qui met fin à cette synthèse de nos travaux.

CHAPITRE 1: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. DEFINITIONS ET CONCEPTS

1.1.1. Séquestration du carbone

L'utilisation de la locution "séquestration du C dans le sol" est d'usage courant de nos jours et, très souvent, dans un sens strictement identique à celui de "stockage de C dans le sol". On peut donc s'interroger sur la date d'apparition de la locution "séquestration du C dans le sol", de la signification que l'on doit lui attribuer, identique ou non à la notion générale de "stockage de C dans le sol". Selon Feller *et al.* (2004) la notion de "séquestration du C dans les sols" est totalement associée à celle de flux de gaz à effet de serre à l'interface sol-plante-atmosphère et a été utilisée à partir des années 1990. Selon ces derniers, la séquestration se réfère seulement au stockage de C dans le sol provenant directement ou indirectement, pendant les échelles de temps et la surface de sol considérées, du C du CO₂ atmosphérique (C-CO₂). Cela signifie que des stockages de C provenant de la matière organique (MO) d'origines industrielles issues en partie des réserves fossiles comme des composts urbains ne peuvent être considérés dans la notion de séquestration. Selon Hien (2004), la séquestration du C est la redistribution facilitée du C atmosphérique vers les autres réservoirs, notamment vers le sol. La séquestration du C dans le sol part de l'hypothèse que les mouvements de C venant de l'atmosphère et entrant dans le sol peuvent être renforcés pendant que la libération du C du sol vers l'atmosphère est réduite. Au regard de ce qui précède, la "séquestration du carbone dans le sol" ou encore "séquestration du carbone dans le système sol-plante" pour un agroécosystème donné, en comparaison avec un agroécosystème de référence, et pour une période et une surface données, peut être considérée comme le résultat du bilan net, exprimé en équivalents (eq.)C-CO₂ ou eqCO₂, de tous les flux de GES, à l'interface sol-plante-atmosphère du site de mesure.

1.1.2. Stockage du carbone

Pour Feller *et al.* (2004), la notion de stockage de carbone est utilisée lorsqu'on parle de stocks de C dans le sol sans faire référence exclusivement à la part qui concerne les seuls flux de C-CO₂ (via la plante). Cela signifie que des C provenant de la matière organique (MO) d'origines externes comme des composts urbains peuvent être considérés dans la notion de stockage de carbone. De même, toutes les variations de C au niveau parcellaire liées aux cycles érosion-sédimentation comme le dépôt de C érodé puis déposé peuvent entrer dans cette notion de stockage. Le stockage du C organique dans le sol est une variable pertinente de la séquestration mais n'est pas la séquestration au sens où elle a été définie. En d'autres termes, le stockage est une condition nécessaire à la séquestration de C mais n'est pas suffisante. Il ne concerne pas seulement le C venant de l'atmosphère.

1.1.3. Compostage

Le compostage est une technique qui permet de transformer un matériau en fin de vie (le déchet) en un produit utilisable (le compost). Dans notre cas c'est un processus de transformation biologique de matières organiques (déchets végétaux, déchets d'abattoirs, déchets de cuisine) en conditions aérobies permettant de produire un compost utilisable en agriculture en tant qu'amendement organique. Savadogo (2011) définit le compostage comme une technique qui consiste à transformer les déchets fermentescibles en fertilisants (compost) utilisables pour la production agricole. Cette technique de valorisation des déchets génère directement et indirectement une valeur ajoutée assez importante mais reste cependant très peu développée. C'est un procédé qualifié de biologique car il implique l'intervention des micro-organismes dans la dégradation de la matière organique contenue dans les déchets et hygiénique car la montée en température détruit certains germes pathogènes et les virus. Les paramètres physiques et chimiques essentiels à prendre en compte durant le processus de compostage sont la température, la teneur en eau, le rapport carbone/azote, l'apport d'air et la granulométrie.

1.1.3.1. Compost

Le compost est un amendement organique, c'est-à-dire un produit riche en matière organique stabilisée ayant un effet principal sur la structure des sols agricoles (rôle de fertilisant physique). C'est un amendement organique obtenu par humification contrôlée de déchets organiques d'origine animale et/ou végétale sous l'action de populations microbiennes évoluant en milieu aérobie. Le compost désigne un produit organique stable riche en composés humiques résultant de la décomposition des déchets organiques par les microorganismes notamment les bactéries, les champignons et les faunes (Dembélé, 2014).

1.1.3.2. Qualité de compost

Plusieurs caractéristiques permettent de définir la qualité d'un compost. Cependant, trois (3) qualités majeures sont fréquemment rencontrées dans la littérature du point de vue agronomique. Ce sont la constance de composition c'est-à-dire la stabilité et l'invariabilité du produit ; l'efficacité agronomique (dans les conditions d'emploi prescrites) et l'innocuité (à l'égard de l'homme, des plantes, des animaux et de l'environnement). L'innocuité se caractérise par l'absence de risques sanitaires en termes de germes pathogènes, parasites et graines d'adventices, ou de divers polluants retrouvés dans les déchets solides (éléments traces métalliques, polluants organiques de synthèse, etc.). Pour attester de sa qualité, le compost peut être analysé selon les normes existantes c'est-à-dire les normes nationales définissant la qualité d'un compost ou des normes internationales.

La norme française NFU 44051 sur les amendements organiques est généralement utilisée car dans la plupart des pays africains, il n'existe pas de normes officielles réglementant l'utilisation des amendements organiques tels que les composts de déchets urbains (normes, textes législatifs, etc.). Au Burkina Faso, le code de l'environnement traite des déchets urbains bruts mais pas des composts de déchets urbains. Avec la norme française NFU 44051 les principaux éléments à déterminer sont les caractéristiques agronomiques notamment les teneurs en matière organique et NPK (Azote, Phosphore, Potassium) ainsi que les teneurs en éléments traces métalliques (ETM). La norme NFU 44051 inclut également des tests microbiologiques et des tests physiques sur les impuretés contenues dans le compost (verre, plastiques).

1.2. DÉTERMINANTS DU STOCKAGE DU CARBONE DANS LES SOLS

La dynamique du carbone connaît un intérêt grandissant tant pour les études de fertilité des sols que pour celles sur le cycle global du carbone. En effet, la matière organique composée majoritairement de C est un facteur déterminant de nombreuses propriétés édaphiques et constitue un des compartiments importants à prendre en considération pour la quantification des flux globaux de gaz à effet de serre (N_2O , CH_4 et CO_2), en particulier le carbone du sol.

Ainsi, dans certaines zones tropicale et intertropicale, la mise en culture de terres peut conduire généralement à une baisse importante des stocks de C par suite de la minéralisation de la MOS et de phénomènes d'érosion. De plus, cette minéralisation de la MOS participe à l'effet de serre par des émissions élevées de CO_2 du sol vers l'atmosphère. La restauration du stock de C des sols est donc de plus en plus une nécessité, tant pour des questions de durabilité des systèmes de culture que pour des problèmes environnementaux. C'est pourquoi pour une pratique donnée, les déterminants du stockage de C dans le sol peuvent être classés en trois grandes catégories : édaphiques, climatiques et liées aux pratiques culturales.

1.2.1. Caractéristiques édaphiques

L'importance de l'accumulation du carbone dans les sols peut être influencée par leurs propriétés physique, chimique et biologique du sol. Ces propriétés peuvent favoriser ou réduire la décomposition de la matière organique par les organismes décomposeurs en jouant ou non un rôle de protection de la matière organique. Le niveau de protection physique du carbone organique des sols peut être attribuable à la texture des sols, à la capacité au champ ainsi qu'à la porosité (Banville, 2009). Plusieurs auteurs, comme Hien (2004), Banville (2009) ont eu à souligner l'importance de la texture dans l'accumulation du carbone. Bien avant ces auteurs, Feller *et al.* (1991) avaient étudié l'effet de la texture sur les stocks et la dynamique sous cultures des matières organiques d'horizons de surface de sols ferrugineux et ferralitiques en Afrique de l'Ouest.

Ils ont abouti à la conclusion que les stocks organiques des sols, cultivés ou non, sont beaucoup plus déterminés par la texture. Le potentiel de stockage en carbone est plus important dans les sols à texture argileuse. En effet, la matière organique est protégée par la floculation des argiles, l'adsorption des particules minérales autour des particules organiques ou par la formation d'agrégats (micro ou macro). Les micro-agrégats sont formés par les molécules organiques qui s'associent aux particules d'argiles et aux cations polyvalents pour former une particule composée. Les macro-agrégats sont généralement formés par l'agrégation de plusieurs particules organiques pour n'en former qu'une seule de taille plus importante qui permettra de protéger l'intérieur de l'assemblage. Les agrégats favorisent une plus grande stabilité du carbone du fait qu'ils établissent une barrière physique entre les composés organiques et les organismes décomposeurs. L'agrégation freinerait la minéralisation de C dans les sols tropicaux. Cette capacité de protection est toutefois contestée notamment par d'autres auteurs tels que Matus *et al.* (2008). Ces derniers ont montré la limite du potentiel de protection du carbone séquestré par les particules fines en mentionnant qu'en conditions de saturation, les nouveaux apports de matière organique ne pouvaient être protégés par les mécanismes de protection physique des particules d'argiles et de limons. La relation entre le carbone stocké dans les sols et la texture des sols n'est donc pas encore complètement élucidée.

La porosité du sol a aussi été retenue comme un des aspects importants dans le stockage du carbone. Selon Banville (2009), le carbone organique serait principalement situé dans les pores sous la forme de molécules adsorbées à la surface des particules minérales. La taille des pores va donc influencer la capacité des organismes décomposeurs à atteindre les particules organiques. En réalité, les bactéries ne peuvent pénétrer dans les pores inférieurs à 3µm et la minéralisation du carbone organique y est donc réduite. Partant de ce principe, les sols argileux à faible porosité possèderaient donc un fort potentiel de protection de la matière organique face à la décomposition. En plus de cela, la porosité du sol peut influencer le contenu d'eau volumétrique ainsi que la disponibilité en oxygène. Ces conditions anaérobies peuvent contribuer à la réduction de l'activité des décomposeurs.

Les nutriments contenus dans les sols peuvent influencer aussi la décomposition de la matière organique puisque ces derniers stimulent l'activité des organismes décomposeurs. Une concentration élevée en nutriments favorise la productivité végétale et les retombées de matière organique au sol.

Les propriétés physiques et chimiques des sols interagissent donc avec la température et l'humidité pour augmenter ou réduire les taux de décomposition de la matière organique et incidemment, l'accumulation de carbone dans les sols.

1.2.2. Influence du climat

La température et l'humidité sont les paramètres climatiques les plus influents sur le statut organique des sols (Banville, 2009). En effet, les conditions de température et d'humidité notamment pendant la saison pluvieuse en zone tropicale sont particulièrement favorables à l'activité biologique ce qui explique en partie le recyclage rapide de la matière organique et les faibles stocks humique dans ces sols en saison pluvieuse. Pendant la saison sèche l'activité microbienne du sol reste réduite voire quasi nulle, par voie de conséquence l'évolution de la MOS est également très faible. Selon Herfurth (2015), les conditions sèches et les températures élevées entraînent une diminution du potentiel de stockage de carbone des sols. C'est alors que les interactions entre la température et l'humidité ont également été mises en évidence. Par exemple, une plus forte pluviosité combinée à des températures moyennes est favorable au stockage de C mais à l'inverse, des conditions sèches et des températures trop élevées entraînent une diminution de la séquestration de C (Herfurth, 2015). À long terme, ces effets dépendraient néanmoins du mode de gestion des sols et des pratiques culturales.

1.2.3. Pratiques agronomiques

Les pratiques de production agricole jouent un rôle important dans le contrôle des stocks de carbone dans le sol. Alors que la mise en culture et l'utilisation de certaines techniques de production conduisent à des pertes de matière organique du sol, d'autres techniques contribuent à son augmentation et donc à séquestrer ou capter du CO₂ atmosphérique. De façon générale, l'augmentation des stocks de carbone du sol peut être réalisée soit en augmentant les apports de carbone au sol ou en diminuant la vitesse de décomposition de la matière organique du sol.

Avec de meilleures pratiques agricoles, il est possible de réduire les émissions de carbone provenant de l'érosion et autres dégradations des sols et de capturer le carbone de l'atmosphère tout en conservant durablement ces sols. Des techniques comme le travail du sol, la fertilisation, le niveau et la qualité des apports organiques peuvent avoir des effets positifs sur les stocks de carbone dans le sol.

- Le travail du sol

Le travail du sol peut entraîner une modification de rendement et donc des apports de carbone au sol, le plus souvent à la baisse. En effet, le labour entraîne la dilution de la matière organique et abaisse la teneur superficielle en carbone et rend la structure du sol plus instable en surface. La déstructuration du sol par les intempéries dans les premiers cm est donc favorisée, d'autant plus que le sol est exposé longtemps. Les matières organiques sont alors rendues plus accessibles à la biodégradation. Le labour annuel expose une nouvelle couche de terre chaque année et ce processus contribue à appauvrir en carbone tout l'horizon travaillé (Balesdent *et al.*, 2000).

- La fertilisation

Selon la loi des suppléments de rendements moins que proportionnels, l'apport de fertilisation augmente la production carbonée végétale jusqu'à une dose correspondant à un optimum, au-delà de laquelle les rendements n'augmentent plus, ou chutent. D'autre part, l'élément azote est parfois limitant pour la biodégradation des substrats carbonés. Selon Balesdent (2000) l'apport d'azote peut augmenter la vitesse de biodégradation du carbone du sol quand l'élément azote est limitant pour les microorganismes et quand les débris végétaux à C/N élevé représentent une part importante de ce carbone.

- La qualité des restitutions organiques

Même s'il est admis que la gestion appropriée des sols cultivés peut permettre un stockage de carbone et offrir en plus un avantage supplémentaire de maintenir le niveau de fertilité des sols, il reste tout de même que la qualité et la quantité des restitutions organiques influent sur le stockage du carbone des sols. En revanche, la qualité de cette matière organique ainsi que sa dynamique dans le sol peuvent être influencées par les types de cultures, directement par la nature biochimique des substrats organiques contenus dans leurs résidus, et aussi indirectement par l'activité biologique du sol qu'elles induisent (Bouajila *et al.*, 2014).

1.3. RÔLES DES SOLS DANS LE CYCLE DE CARBONE

1.3.1. Cycle de carbone

Le cycle du carbone est l'échange de carbone (sous diverses formes, par exemple le dioxyde de carbone) entre l'atmosphère, les océans, la biosphère terrestre et les dépôts géologiques. La majeure partie du dioxyde de carbone dans l'atmosphère provient de réactions biologiques qui surviennent dans le sol. Les teneurs et stocks de carbone dans les sols agricoles dépendent du cycle du carbone (figure 1) *via* la production primaire mais aussi de la balance entre les exportations, les restitutions, les importations et les flux de sortie. Ce phénomène constitue une fonction importante à travers la séquestration, car plus les sols stockent le carbone, moins ils émettent de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, un gaz qui contribue au changement climatique.

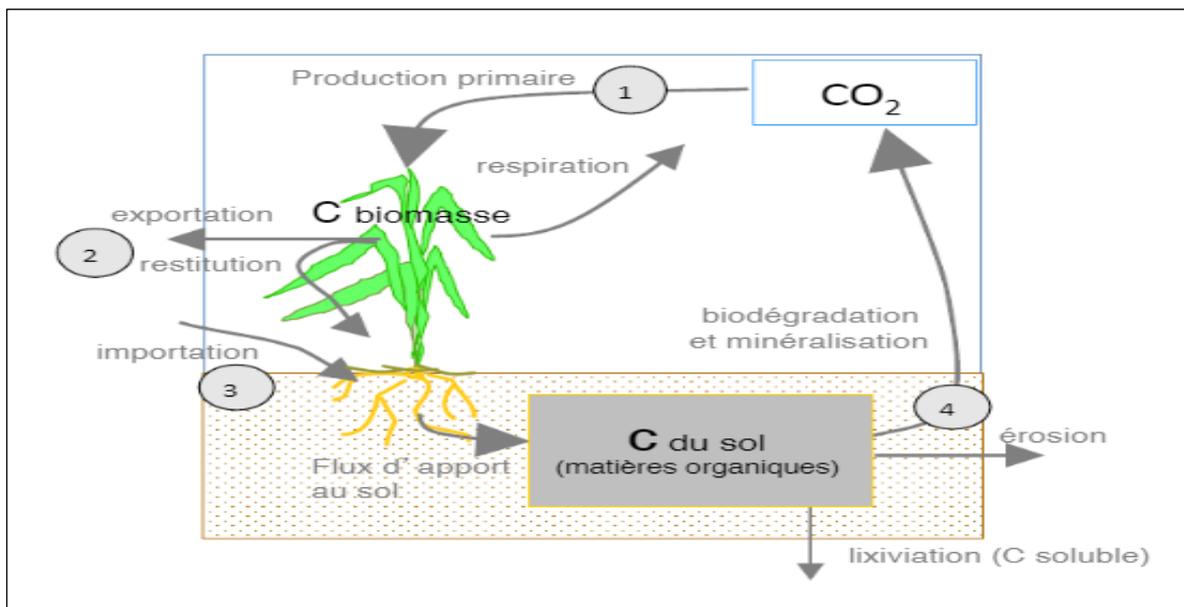


Figure 1 : Schéma simplifié du cycle de carbone dans les sols agricoles

Source : Chenu et al., 2014

1.3.2. Sols et cycle de carbone

Les sols sains constituent le plus grand réservoir de carbone sur la terre. Quand ils sont gérés de façon durable, les sols peuvent jouer un rôle important en faveur de l'atténuation du changement climatique, en stockant le carbone (séquestration) et en diminuant les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. En revanche, si les sols sont mal gérés ou cultivés au moyen de pratiques agricoles non durables, le carbone du sol peut être libéré dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone et contribuer ainsi au changement climatique. Au cours des derniers siècles, de nombreuses prairies et forêts ont été constamment converties en terres cultivées et en pâturages, provoquant des pertes historiques en carbone du sol dans le monde entier (FAO, 2015). Toutefois, restaurer les sols dégradés et adopter des pratiques de conservation des sols devraient permettre de réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant de l'agriculture, d'améliorer la séquestration du carbone et de renforcer la résilience au changement climatique.

1.4. LES MATIÈRES ORGANIQUES DES SOLS (MOS)

1.4.1. Origine et évolution des MOS

Le sol est constitué de quatre composantes principales : les particules minérales, la matière organique, l'eau et l'air (Bernoux et Chevallier, 2013). La matière organique du sol décrit les constituants organiques du sol à différents états de décomposition, comme les tissus provenant de végétaux ou d'animaux morts, d'une taille de moins de 2 mm, et les organismes du sol. Elle est composée d'éléments principaux qui sont tous essentiels à la nutrition des plantes : le carbone (C), l'hydrogène (H), l'oxygène (O) et l'azote (N).

1.4.2.1. Effet sur les propriétés chimiques des sols

Les matières organiques contribuent à la capacité de rétention des sols, et donc à la réserve en éléments nutritifs du sol. Il s'agit d'un effet positif des matières organiques dans les sols pauvres en argiles. La Capacité d'Échange Cationique (CEC) des matières organiques est d'un ordre de grandeur de 250 centimoles par kg de C (INRA, 2002). Il est établi qu'une augmentation de la teneur en carbone du sol d'une valeur de 1 à 2% est susceptible d'augmenter la CEC de 25% dans un sol limoneux, et plus dans un sol sableux. Ganry et Thuriès (2010) ont indiqué que les amendements organiques compostés contribuent au maintien de la CEC sur un ensemble de sols de l'Afrique de l'Ouest. De plus, ces amendements favorisent l'absorption du fer par les plantes. En effet, le fer ferrique n'est pas soluble aux pH généralement observés dans le sol ; le fer ferreux, soluble, ne se rencontre en sol drainé qu'en petites quantités au sein de micro habitats où règne une semi-anaérobiose si l'humidité y est suffisante. Les amendements organiques jouent un rôle important en favorisant la solubilisation du fer et sa chélation. La plante peut alors absorber le fer sous forme ferreuse ou chélatée.

1.4.2.2. Effet sur les propriétés physiques des sols

Il est admis que les matières organiques ont des effets globalement positifs sur les propriétés physiques des sols, effets dont l'amplitude dépend de la texture du sol. Lorsque la teneur en C des sols augmente, la porosité totale du sol augmente et la densité apparente diminue (INRA, 2002). Ces auteurs indiquent qu'une augmentation de la teneur en C de 1 à 2% dans un sol limoneux diminue la densité apparente de 0,08 Mg.m³ environ (soit une diminution relative de 6%). D'autres auteurs tels que Kay *et al.* (1997) avaient indiqué que la rétention d'eau augmente avec la teneur en C des sols. Selon eux, la réserve utile augmenterait de 18% pour un sol limoneux dont la teneur en C passe de 1 à 2%. Cette augmentation ne sera que de quelques pourcentages pour un sol argileux, mais atteindra 30% de la réserve utile en sol sableux.

Par ailleurs, les matières organiques améliorent la résistance de la structure du sol à des stress externes, tels que ceux développés par des engins agricoles (compaction), ou par l'eau (désagrégation). La résistance des sols vis-à-vis de la compaction est positivement corrélée à leur teneur en carbone. De ce fait, la capacité des agrégats du sol à résister à l'action désagrégante de l'eau ou à la stabilité structurale augmente avec la teneur en carbone des sols.

1.4.2.3. Fourniture d'éléments minéraux par minéralisation

Les constituants organiques subissent dans le sol des transformations biologiques qui mènent à leur minéralisation et génèrent des éléments minéraux : azote, phosphore, soufre, potassium, oligoéléments. Les flux de minéralisation dépendent de facteurs extrinsèques ainsi que des stocks organiques des sols et de la qualité des matières organiques.

Les composts des déchets organiques sont ainsi une réserve importante d'éléments nutritifs, ce qui a un impact positif. Ces éléments organiques exogènes apportés au sol sont susceptibles de libérer des quantités importantes de nitrates et phosphates.

1.4.2.4. Abondance des populations vivantes et biodiversité

Dans les sols, il existe une quantité énorme d'êtres vivants. Ces êtres vivants du sol y assurent un certain nombre de fonctions bénéfiques (création d'une porosité d'écoulement de l'eau par les vers de terre, fixation d'azote par les bactéries). Ces organismes vivants du sol sont hétérotrophes pour la plupart et dépendent des matières organiques comme source d'énergie. La taille des populations vivantes, y compris la biomasse microbienne, augmenterait donc avec la teneur en carbone des sols.

CHAPITRE 2: MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. ZONE D'ÉTUDE

2.1.1. Situation géographique de la zone d'étude

La station expérimentale de Gampèla appartient à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso actuel Université Nazi Boni (UNB). D'une superficie de 450ha, la station appartient au département de Saaba dans la province de Kadiogo. Elle se situe à environ 25 km à l'Est de Ouagadougou, chef-lieu de la région du Centre (figure3). La station est située plus précisément dans le quartier Goden non loin de la route nationale n°4 entre les latitudes 12°24,613' et 12°25,413'N et les longitudes 1°20,464 et 1°21,652W.

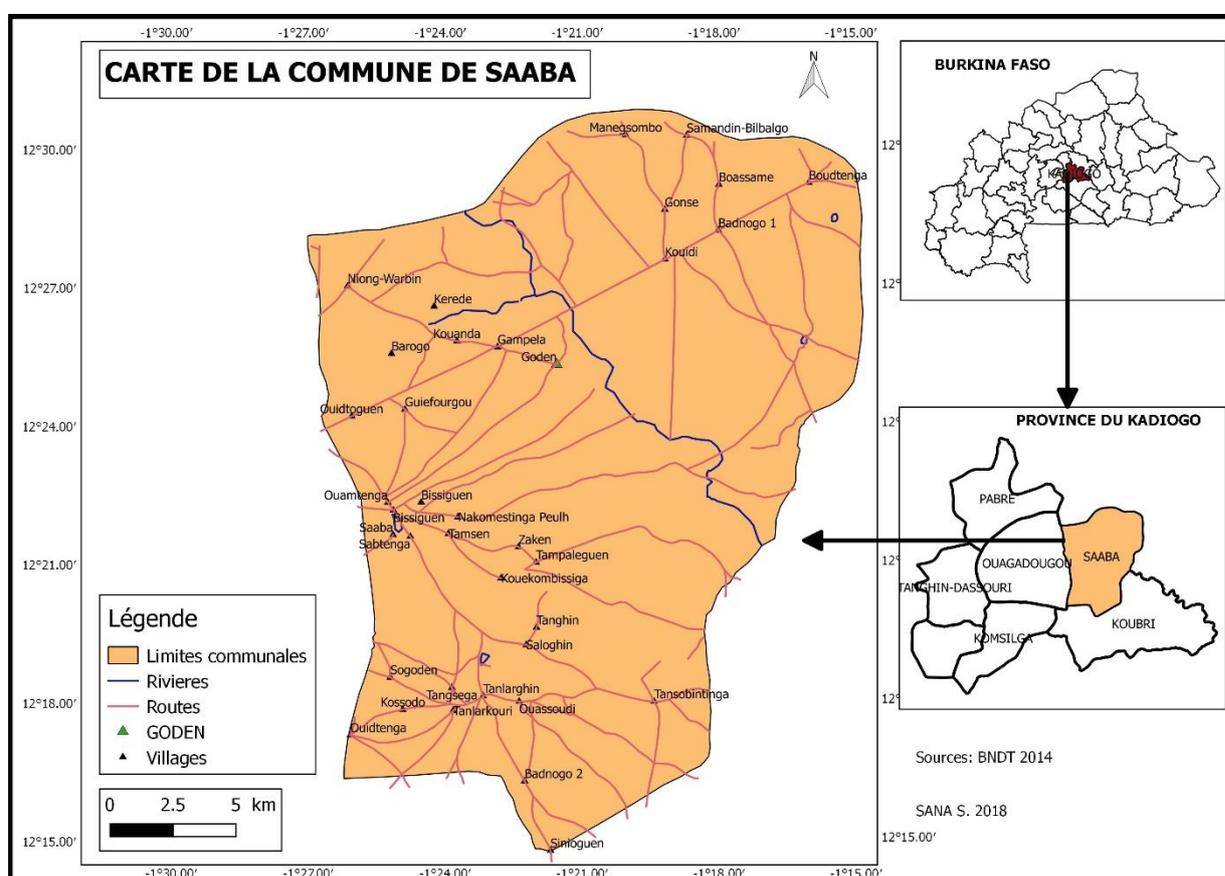


Figure 3 : Carte de situation de la zone d'étude.

2.1.2. Climat et végétation

La zone de Gampèla est soumise à un climat de type nord-soudanien. Il se caractérise par l'alternance d'une saison sèche allant d'octobre en mai et d'une saison humide ou saison pluvieuse de juin à septembre. Pendant la saison sèche, la zone est soumise au régime de l'alizé continental desséchant venu du Nord-Est appelé Harmattan.

La saison pluvieuse est marquée par la Mousson, un vent humide soufflant du Sud-Ouest vers le Nord-Ouest. Les précipitations se caractérisent par leur répartition spatio-temporelle inégale. Elles ont tendances à baisser ces cinq dernières années (Figure 4).

Le couvert végétal à Gampèla est constitué essentiellement par la savane arborée, la savane arbustive et les formations ripicoles ou de basfond (Kagambèga, 2006). Les activités agropastorales ont eu un impact considérable sur la végétation naturelle. Les espèces végétales telles *Vitellaria paradoxa*, *Combretum glutinosum*, *Sclerocarrya birrea*, *Guiera senegalensis*, sont les plus rencontrés dans la savane arborée. Les herbacées rencontrées sont principalement *Andropogon pseudapricus*, *Pennisetum pedicelatum*, *Elionurus elegans*, *Cymbopogon choenanthus*. Dans la savane arbustive, les espèces dominantes sont *Securinega virosa*, *Piliostigma reticulatum*, *Guiera senegalensis*, *Ziziphus mauritiana*. Le tapis herbacé de cette dernière comprend majoritairement des espèces telles que *Andropogon pseudapricus*, *Loudetia togoensis*, *Microchloa indica*, *Zornia glochidiata* et *Schizachyrium exile*. La formation ripicole est rencontrée le long des cours d'eau (Massili principalement) et les espèces végétales majoritairement rencontrées sont *Mitragyna inermis*, *Rytigynia senegalensis*, *Crataeva adansonii* et *Mimosa pigra*. Quant aux herbacées, elles se composent de *Hygrophila auriculata*, *Cyperus sphaacelatus*, *Oryza barthii*, selon la même source.

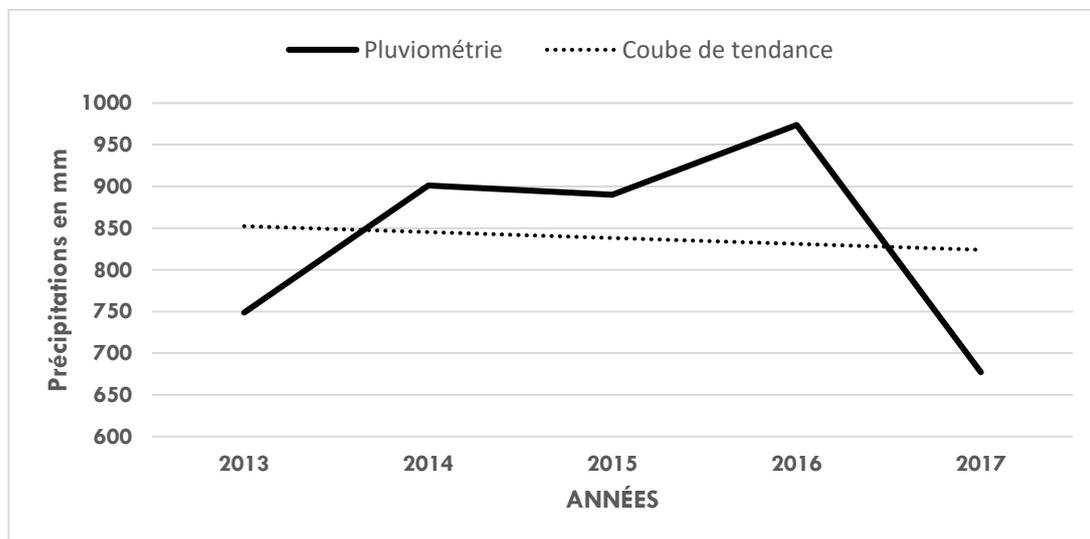


Figure 4 : Évolution des précipitations des cinq dernières années

2.1.3. Géologie, géomorphologie et sols

Du point de vue géologique, la station de Gampèla repose sur un socle ancien de formations cristallines appartenant au Birimien-précambrien moyen et surtout aux veines granitiques post précambriennes (BUNASOLS, 1988). Le relief est dans l'ensemble plat et monotone présentant par endroits des buttes cuirassées (Nord-Ouest de la station).

La même étude a permis de distinguer du point de vue géomorphologique trois unités géomorphologiques à savoir le relief résiduel qui est le produit d'une résistance à l'érosion du fait de la présence d'une cuirasse ancienne correspondant aux plateaux ; le glacis constitué par un ensemble légèrement incliné et assez uniforme et les ensembles fluvio-alluviaux liés au système alluvial constitué principalement par le cours d'eau Massili et un de ses affluents qui forment le basfond.

En ce qui concerne les sols, ils appartiennent majoritairement à la classe des sols à sesquioxydes de fer et/ou de manganèse (CPCS, 1967). Plus précisément, les sols inventoriés appartiennent au groupe des sols ferrugineux tropicaux plus ou moins lessivés sur matériau sablo-argileux et argilo-sableux représentatifs du Plateau Central. Ce sont des sols présentant des profils de type ABC ou A (B) C qui se caractérisent par une individualisation des oxydes de fer ou de manganèse leur conférant une couleur rouge, jaune, ocre ou noire. Ils ont une structure massive en A et (B), et un complexe argileux moyennement désaturé. De texture sableuse en surface, ils ont une teneur en matière organique faible ce qui leur confère une valeur agronomique insatisfaisante. Ils se sont développés sur des matériaux riches en argile kaolinique et subissent un dessèchement en saison sèche.

2.1.4. Agriculture

Au Burkina Faso la culture céréalière est la plus répandue. Les principales spéculations sont le mil, le sorgho, le maïs. Les producteurs disposent en général de trois types de champs (les champs des glacis, les champs de bas-fonds et les champs de case) qui se différencient soit par leur éloignement des concessions, soit par les types de cultures et le type de sol. Les cultures typiques des champs de case sont le maïs, l'arachide et le niébé. Le sorgho et le mil sont cultivés sur les sols sableux des glacis. Le riz, très peu cultivé, est surtout pratiqué dans les bas-fonds. Durant la saison sèche, le maraîchage est pratiqué dans les zones marécageuses. La production est presque intégralement auto consommée.

Le travail du sol consiste en un labour ou un billonnage à la fin de la saison sèche, suivi de deux à trois sarclages en fonction de la durée de la saison des pluies et de la force de travail. Le buttage est réalisé pour protéger les cultures contre la verse et contrôler les adventices. Les sols les moins fertiles sont les sols à dominance sableuse et les sols latéritiques gravillonnaires. Les rendements des différentes cultures sont fonction du type de sol et des apports de fertilisants. Selon Bado *et al.*, (2002), le phosphore (P) est l'élément le plus limitant de la production des cultures telles que le sorgho, le maïs, le riz pluvial, etc. Cependant, l'engrais NPK est très peu utilisé à cause de son coût élevé par rapport aux faibles revenus des paysans.

L'application du fumier est limitée par le faible développement de l'élevage et de son caractère extensif. Les déchets ménagers et le compost sont utilisés principalement dans les champs de case. Selon Kaboré (2010) l'utilisation du compost est très peu répandue car les paysans trouvent que sa fabrication est fastidieuse du fait de la nécessité d'une fosse de compostage et de l'eau en saison sèche. Les résidus de cultures qui devraient servir au paillage sont exportés pour la vente, l'alimentation du bétail mais aussi comme source d'énergie.

2.2. MATÉRIEL

2.2.1. Matériel végétal

Une variété de sorgho, *Sorghum bicolor* (L.), appelée Kapèlga est utilisée. C'est une lignée de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Saria depuis 1992. Elle est assez résistante à la sécheresse et est adaptée à la zone comprise entre les isohyètes 400 et 700 mm et qui valorise bien la fumure organique. Son cycle semi-maturité est de 100 à 105 jours (CNS, 2014).

2.2.2. Composts utilisés

Les composts utilisés ont été produits à partir du mélange de déchets solides urbains biodégradables sur la plateforme de compostage du Centre de Traitement et de Valorisation des Déchets urbains (CTVD). Ces composts ont été produits à partir de trois substrats à des proportions différentes. Il s'agit de déchets d'abattoir (DA), de déchets de cuisine (DC) et de déchets verts (DV). La composition en pourcentage de poids brut de ces différentes formules de composts est consignée dans le tableau I ci-après.

Tableau I : Formulation des différents composts (en % poids brut)

	Déchets d'abattoirs	Déchets de cuisine	Déchet vert
Compost 1	60		40
Compost 2	40	20	40
Compost 3	30	30	40
Compost 4	20	40	40
Compost 5		60	40
Compost 6			100

Les caractéristiques des différents composts, notamment les propriétés chimiques sont résumées dans le tableau II ci- après.

2.3. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental, d'une superficie de 793 m² (30,5m x 26 m), est constitué d'un plan split-plot à 3 blocs. Chaque bloc est constitué de deux sous blocs contenant chacun 7 parcelles élémentaires. Sur chaque parcelle élémentaire est appliqué un type de compost numéroté de C1 à C6 plus la parcelle témoin nommée Te. L'ensemble du dispositif contient 42 parcelles élémentaires de 12,25 m² chacune (3,5m x 3,5m). C'est un plan factoriel à deux facteurs. Le premier facteur est constitué par les composts essentiellement au nombre de six et le deuxième facteur représente le mode d'apport soit localisé ou épandu. Le traitement principal étant le facteur «compost» et le traitement secondaire le facteur «mode d'apport». La quantité de matière sèche apportée au sol a été fixée à 3 t. ha⁻¹. Le sol est de type ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions (Annexe2). La distance entre les sous blocs est de 1m de même que celle entre les blocs. Chaque parcelle élémentaire contient 5 lignes comportant chacune 9 poquets. L'écart entre deux lignes est de 0,80m et celui entre deux poquets sur la ligne est de 0,40m. L'ensemble du dispositif est présenté par la figure 5.

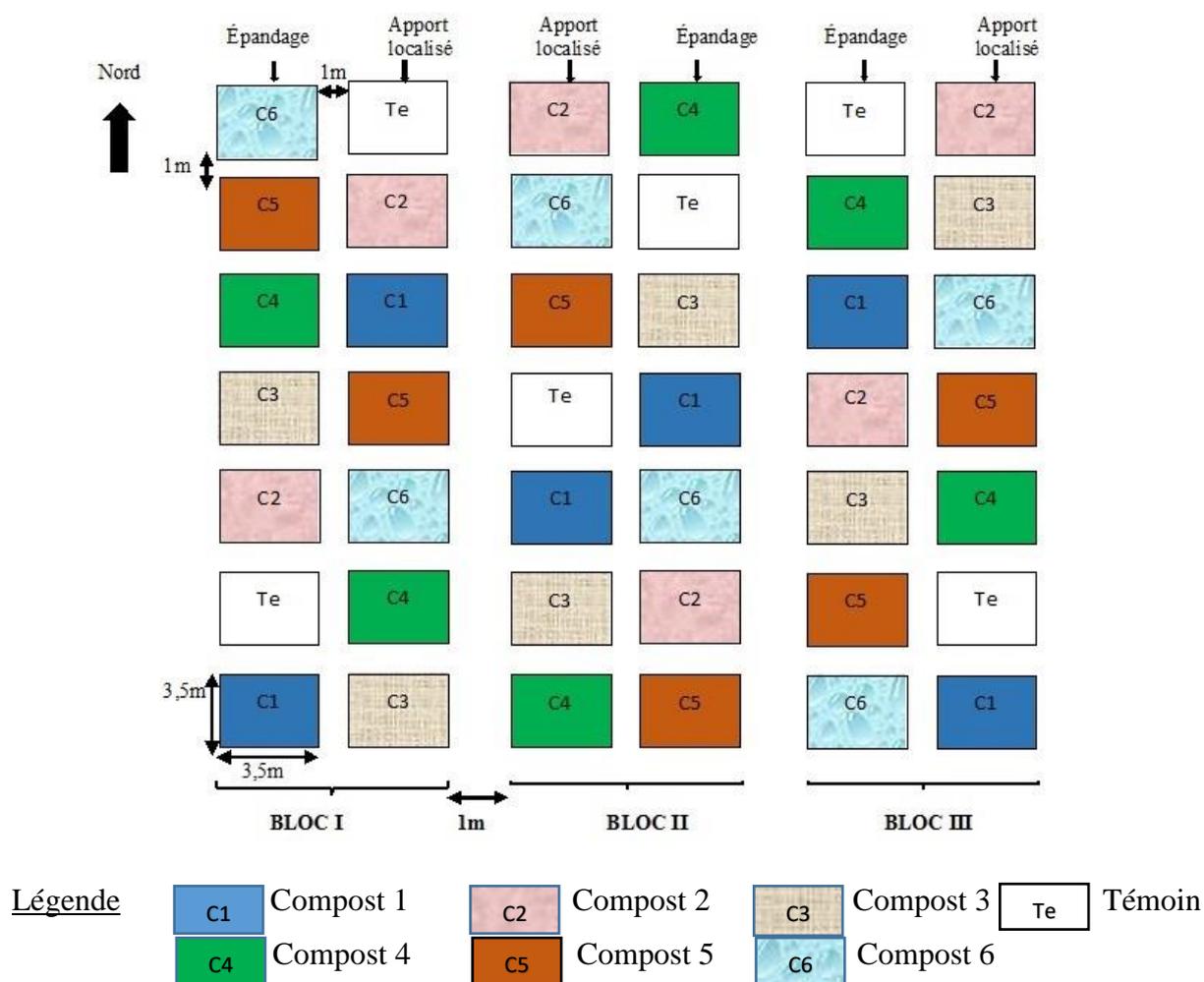


Figure 5 : Plan du dispositif expérimental

2.4. CONDUITE DE L'ESSAI

L'essai a été mis en place depuis 2007. L'apport des composts est réalisé chaque année avant la mise en culture sur le dispositif en épandage et en apport localisé à la dose de 3 t MS ha⁻¹ an⁻¹. Le sorgho est semé chaque année à la densité de 0,8 m x 0,4 m et démarré à deux plants par poquet. Les semis sont effectués dans la première quinzaine de juillet de chaque campagne agricole sauf cette année où ils ont été réalisés dans la dernière quinzaine de juillet en raison d'un retard d'installation des pluies. L'opération de semis était précédée d'un grattage manuel à la daba. Globalement, trois sarclages sont effectués par saison agricole pour le contrôle des adventices. Les récoltes sont effectuées en novembre de chaque année avec exportation totale de la paille et des récoltes. Sur chaque parcelle, les prélèvements de sols ont été réalisés dans les horizons 0-10 cm, 10-20cm et 20-30cm. Six prélèvements ont été effectués à l'intérieur de chaque parcelle où les composts ont été apportés en localisé en raison de trois prélèvements en interligne et trois sous poquets. Trois prélèvements ont été faits en interligne de chaque parcelle élémentaire où les composts ont été épandus. Cent quatre-vingt-neuf (189) échantillons ont été prélevés pour les analyses. Les échantillons ont été séchés, tamisés à 2mm et broyés à 0,5mm au Laboratoire d'Agropédologie de l'IRD. Les analyses de C et N ont été effectuées au laboratoire du BUNASOLS et la granulométrie (5 fractions) a été déterminée à l'IRD à Ouagadougou.

2.5. PARAMÈTRES MESURÉS

2.5.1. Analyse granulométrique

La granulométrie a été déterminée par la méthode internationale à la pipette Robinson. Elle vise la séparation des différentes fractions minérales du sol dont les particules sont inférieures ou égales à 2 mm et à indiquer leurs proportions respectives. La granulométrie permet ensuite de déterminer la texture du sol. Les particules admises pour la granulométrie (5 fractions) sont les suivantes :

Argiles : $\phi < 2 \mu$

Limons fins : $2 \mu < \phi < 20 \mu$

Limons grossiers : $20 \mu < \phi < 50 \mu$

Sables fins : $50 \mu < \phi < 200 \mu$

Sables grossiers : $200 \mu < \phi < 2000 \mu$

La démarche de l'analyse granulométrique comporte plusieurs étapes :

- destruction de la matière organique par le peroxyde d'hydrogène ;
- dispersion des argiles par le sodium hexamétaphosphate (HMP) ;
- agitation pendant deux heures ;

- tamisage des fractions supérieures à 20 μ ;
- prélèvement au cours de la sédimentation à une profondeur précise de 10cm des éléments non tamisables au moyen de la pipette de Robinson ;
- pesage du résidu solide de chaque prélèvement après évaporation à l'étuve ;
- estimation du pourcentage de chaque échantillon.

2.5.2. Densité apparente

La méthode de mesure a consisté à utiliser un cylindre métallique de 100cm³. Le cylindre est enfoncé délicatement et de façon horizontale sur la façade d'une fosse de 30 cm préalablement ouverte sur chaque parcelle élémentaire (annexe 1). Les couches concernées pour la détermination de la densité apparente sont les suivantes : 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm. Le sol est récupéré minutieusement dans la couche correspondante de façon à minimiser le remaniement. Cent vingt-six (126) échantillons ont été ainsi prélevés dans les quarante-deux parcelles élémentaires pour la densité apparente dans la première quinzaine de juin. Les échantillons de sol, prélevés sur chaque parcelle élémentaire en début de campagne ont été mis dans des boîtes à tare. Ils ont été par la suite séchés à l'étuve pendant 48 heures à 105°C pour déterminer la masse sèche. La densité apparente pour chaque échantillon est déterminée par la formule : $D_a \text{ (g/cm}^3\text{)} = M \text{ (g)}/V \text{ (cm}^3\text{)}$, avec, M = la masse à sec de l'échantillon, V = Volume de l'échantillon.

2.5.3. Taux de terre fine

La terre fine est la fraction de terre qui reste lorsqu'on retire les éléments grossiers (> 2 mm au tamis). Le taux de terre fine a été déterminé pour chaque échantillon de sol, après séchage et tamisage à 2mm en vue de séparer la fraction grossière de l'échantillon. Le poids de terre fine = (poids échantillon – poids éléments grossiers). Le taux de terre fine (en %) est obtenu par la formule : $T_f \text{ (}\% \text{)} = (\text{Poids terre fine} / \text{poids échantillon}) \times 100$.

2.5.4. Détermination du carbone organique

C'est la méthode Walkey-Black modifié par Grahm (1948) qui a été utilisée pour la détermination du carbone organique. Le protocole d'analyse des teneurs en C associé est présenté à l'annexe 4. Le carbone organique est oxydé par du potassium dichromate (K₂Cr₂O₇) en milieu sulfurique. L'oxydation du carbone entraîne la réduction du chrome en Cr³⁺ dont la couleur verte est utilisée comme mesure directe de la quantité de CO₂ oxydé. Cette quantité de CO₂ proportionnelle à la teneur en carbone est déterminée en colorimétrie à 650 nm.

2.5.5. Détermination de l'azote total du sol et les caractéristiques chimiques des composts

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la teneur de l'azote. Au BUNASOLS, la méthode Kjeldahl (1883) a été utilisée pour déterminer la teneur de l'azote total des échantillons du sol et les autres caractéristiques chimiques des composts. La teneur de l'azote du sol est déterminée après minéralisation de l'échantillon (annexe 5). L'échantillon est traité à chaud avec un mélange d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) et d'acide salicylique ($C_6H_7O_3$). L'acide sulfurique détruit, par son action oxydante les matières organiques et libère ainsi l'azote sous forme d'ammonium (NH_4^+) qui est aussitôt fixé sous forme de $(NH_4)_2SO_4$ et $(NH_4)HSO_4$. Les nitrates (NO_3^-) et traces de nitrites (NO_2^-) présents dans les échantillons sont d'abord fixés par l'acide salicylique pour être par la suite réduits en ammoniacque par le sodium thiosulfate. La minéralisation est accélérée par l'emploi d'un catalyseur (sélénium) et par l'augmentation de la température en ajoutant d'hydrogène peroxyde (H_2O_2). Au terme de la minéralisation, l'azote est dosé en spectrométrie à 420 nm.

2.5.6. Stocks de carbone

La détermination des quantités de C et N apportées ont été faite par calcul à partir des teneurs en Ct et Nt présentées à l'annexe 3. Pour calculer les stocks de carbone la formule de Blanchart et Bernoux (2005) a été adoptée. Les stocks de carbone C ou N (en $t\ ha^{-1}$) d'un horizon de sol d'épaisseur "e" en (dm), à teneur en "C" (en $mg\ g^{-1}$ de sol), et dont la densité apparente est "da" (en $g\ cm^{-3}$) l'équation suivante est utilisée :

$$\text{Stock C, N (t ha}^{-1}\text{)} = \text{C, N (mg g}^{-1}\text{ de sol)} \times \text{da (g cm}^{-3}\text{)} \times \text{e (dm)} \times \text{taux de terre fine.}$$

2.5.7. Détermination de taux de levée et mesure de la croissance des plantes

Le taux de levée a concerné toutes les lignes des parcelles élémentaires et a consisté d'abord en un comptage du nombre de poquets contenant au moins un pied de sorgho à 10 jours après semis. Le taux de levée est ensuite obtenu en faisant le rapport entre le nombre de poquets contenant au moins une plante sur le nombre total de poquet semé ramené à 100.

La mesure de croissance a consisté à mesurer la croissance en hauteur des plants à l'aide d'un bâton gradué. Les 3 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire ont fait l'objet de cette mesure, les 2 lignes se trouvant à l'extrémité étant exclues. Cette opération a été faite deux semaines à partir de la première mesure et à douze jours pour la mesure suivante.

2.6. ANALYSE STATISTIQUE

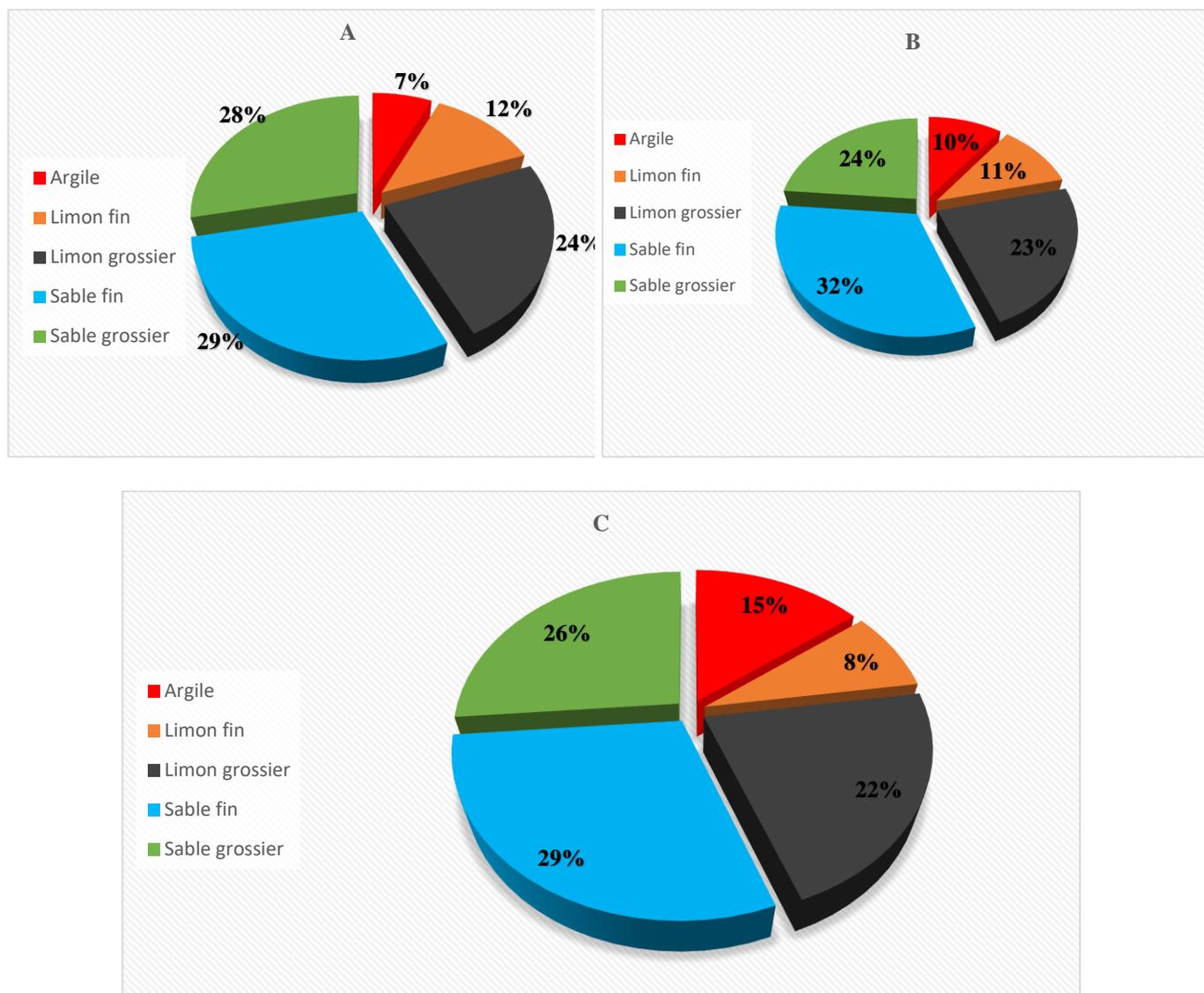
Les données collectées ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) à un facteur en utilisant le test des moindres carrés de Fischer (LSD) pour comparer les moyennes des différents paramètres sous divers composts. Le seuil de significativité est défini à $P < 0,05$. Les comparaisons sont faites selon les différents traitements de composts avec le témoin. Le tableur Excel v 15.0 (2013) a été utilisé pour la saisie des données brutes et le calcul des moyennes. Les logiciels XLSTAT 2015 v 5.01 et R v 3.0.2 ont été utilisés pour l'analyse de variance, le tracé des graphes et pour établir la corrélation entre les stocks d'azote et la croissance des plantes.

CHAPITRE 3: RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. RÉSULTATS

3.1.1. Granulométrie du sol

L'analyse granulométrique a permis de déterminer les différentes fractions granulométriques des sols de l'essai pour les trois couches, notamment 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm. Les résultats sont illustrés par la figure 6. Ils montrent une prédominance de limon grossier, de sable fin et de sable grossier sur les trois couches considérées. La couche de surface a enregistré le plus faible taux d'argile suivi de la couche 10-20cm et enfin la dernière couche (20-30cm).



A : couche 0-10cm B : couche 10-20cm C : couche 20-30cm

Figure 6 : Analyse granulométrique

3.1.2. Densité apparente

Les densités apparentes, quel que soit le traitement considéré, fluctuent entre 1,47 à 1,63 (Tableau III). Les minima de ces valeurs sont observés respectivement dans les couches 0-10cm et les maxima dans les couches 10-20cm et 20-30cm. D'une manière générale les densités apparentes des sols ont varié en fonction des horizons. Elles sont plus faibles en surface (0-10cm) et légèrement élevées dans les deux autres couches. Les analyses statistiques n'ont pas révélé de différence significative en fonction des modalités d'apports (épandage ou localisation). Cependant, les moyennes par couche investiguée ont révélé des différences significatives entre les couches 0-10cm et 10-20cm mais aussi entre 0-10cm et 20-30cm ($p < 0,001$). La comparaison des traitements par paire était plus significative entre certains traitements là où les composts ont été épandus. De façon globale, les traitements témoins ont enregistré des valeurs plus importantes quelle que soit la modalité d'apport du compost. Par ailleurs, des différences significatives ont été observées entre Te et C1 ($p = 0,001$) ; Te et C4 ($p = 0,004$) ; Te et C3 ($p = 0,01$) ; Te et C5 ($p = 0,02$) Te et C2 ($p = 0,03$) et entre C6 et C1 ($p = 0,04$) où les composts étaient épandus (0-10cm).

Tableau II : Densité apparente du sol en fonction des traitements (moyenne \pm écart type ; n = 3)

Profondeur	0-10cm		10-20cm		20-30cm		
	AL	EP	AL	EP	AL	EP	
Traitements	C1	1,49a \pm 0,01	1,47c \pm 0,02	1,62a \pm 0,02	1,62a \pm 0,04	1,60a \pm 0,01	1,58a \pm 0,01
	C2	1,52a \pm 0,02	1,51bc \pm 0,03	1,63a \pm 0,02	1,62a \pm 0,03	1,61a \pm 0,05	1,60a \pm 0,05
	C3	1,50a \pm 0,02	1,49bc \pm 0,03	1,62a \pm 0,04	1,60ab \pm 0,06	1,61a \pm 0,05	1,59a \pm 0,05
	C4	1,48a \pm 0,05	1,48bc \pm 0,05	1,53b \pm 0,01	1,56b \pm 0,01	1,59a \pm 0,04	1,58a \pm 0,02
	C5	1,51a \pm 0,01	1,50bc \pm 0,04	1,60ab \pm 0,02	1,61ab \pm 0,02	1,58a \pm 0,01	1,63a \pm 0,02
	C6	1,53a \pm 0,02	1,52ab \pm 0,02	1,59ab \pm 0,05	1,61ab \pm 0,02	1,60a \pm 0,02	1,62a \pm 0,03
	Te	1,54a \pm 0,02	1,56a \pm 0,01	1,63a \pm 0,03	1,63a \pm 0,02	1,63a \pm 0,02	1,63a \pm 0,02
Moyenne/MA	1,512*	1,506*	1,60**	1,61**	1,60**	1,60**	

AL : Apport localisé, **EP** : Épandage ; **MA** : Modalité d'apport ; **Te** : Témoin

- Les moyennes/MA ayant le même nombre d'étoile ne sont pas statistiquement significatives au seuil de 5% (Test de Fisher, LSD),
- Les moyennes dans la même colonne qui ont la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Fisher, LSD),
- C1 à C6 : Compost 1 à Compost 6

3.1.3. Taux de terre fine

Les résultats du taux de terre fine sont consignés dans le tableau IV. Ils montrent que l'apport des composts a eu un effet sur le taux de terre fine, en particulier dans la couche 0-10cm là où les composts ont été épandus. De façon générale, les témoins présentent les plus faibles taux quelle que soit la modalité d'apport ou le site de prélèvement (interligne ou poquet).

Le taux de terre fine n'a pas varié de façon significative en fonction des sites de prélèvement ou de la modalité d'apport (apport localisé ou épandage). Par contre, en épandage et dans la couche 0-10cm, les différences étaient statistiquement significatives entre Te et C6 ($p= 0,03$) ; Te et C4 ($p= 0,04$) ; Te et C1 ($p= 0,04$) et entre C6 et C5 ($p= 0,04$). En apport localisé, les différences ont été statistiquement significatives sous poquets. Ces différences ont concerné la couche 10-20cm entre Te et C1 ($p = 0,03$) et entre Te et C6 ($p = 0,04$) puis la couche 20-30cm entre Te et C6 ($p = 0,04$).

3.1.4. Analyses chimiques des composts

Les teneurs en éléments chimiques des composts ont varié d'un compost à l'autre (Tableau IV). Les analyses ont révélé des différences statistiquement significatives entre les composts pour ce qui est des variables analysées. En terme de teneur en éléments chimique notamment en Ct les composts suivants ont obtenu des teneurs par ordre croissant de teneur en C ($C4 < C5 < C1 < C3 < C2$ et C6). En termes de composition en substrats, les composts 3 et 4 présentent des proportions les plus équilibrées. Ce qui explique qu'en termes de biodégradabilité ces composts seraient plus facilement biodégradable.

Tableau III : Taux de terre fine en % (Moyenne \pm écart type)

MA	Épandage			Apport localisé						
	SP	Interligne			Interligne			Poquet		
		0-10cm	10-20cm	20-30cm	0-10cm	10-20cm	20-30cm	0-10cm	10-20cm	20-30cm
Traitements	C1	99,06ab \pm 0,35	99,56a \pm 0,14	99,52a \pm 0,24	99,04a \pm 0,51	99,19a \pm 0,55	98,88a \pm 0,95	99,00a \pm 0,35	99,23a \pm 0,44	98,65ab \pm 0,17
	C2	98,59abc \pm 1,38	99,17a \pm 0,72	99,49a \pm 0,13	99,07a \pm 0,65	98,08a \pm 1,81	98,40a \pm 1,37	98,33a \pm 0,64	98,12ab \pm 0,74	98,23ab \pm 0,92
	C3	98,94abc \pm 0,73	99,29a \pm 0,45	99,53a \pm 0,16	98,79a \pm 0,50	99,39a \pm 0,15	98,70a \pm 1,36	99,10a \pm 0,62	98,95ab \pm 1,07	99,33ab \pm 0,32
	C4	99,13ab \pm 0,48	99,10a \pm 0,37	98,68a \pm 0,97	98,73a \pm 0,87	99,01a \pm 0,45	98,67a \pm 0,70	98,85a \pm 0,23	98,76ab \pm 0,62	98,61ab \pm 1,36
	C5	97,73bc \pm 1,16	98,82a \pm 0,62	98,50a \pm 1,56	99,24a \pm 0,54	99,12a \pm 0,63	98,80a \pm 0,39	99,01a \pm 0,24	99,05ab \pm 0,84	99,02ab \pm 1,13
	C6	99,28a \pm 0,40	98,37a \pm 1,12	98,59a \pm 0,86	98,90a \pm 0,90	98,18a \pm 0,92	98,53a \pm 0,36	99,00a \pm 0,88	99,19a \pm 0,06	99,46a \pm 0,47
	Te	97,57c \pm 0,81	98,21a \pm 1,09	98,70a \pm 1,53	98,38a \pm 0,25	98,08a \pm 1,13	98,28a \pm 0,50	98,22a \pm 0,74	97,92b \pm 0,63	97,58b \pm 1,82

MA : modalité d'apport ; SP : Site de prélèvement ; TTF : Taux de terre fine Te : Témoin

- Les moyennes dans la même colonne qui ont la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Fisher, LSD).

Tableau IV: Caractéristiques des composts (moyenne \pm écart types n= 3

	Compost 1	Compost 2	Compost 3	Compost 4	Compost 5	Compost6
MS(%)	60,93b \pm 4,29	68,50a \pm 8,52	67,00ab \pm 9,30	69,39a \pm 3,69	72,05a \pm 6,84	45,87c \pm 6,90
Ct (g kg ⁻¹)	363,85cd \pm 9,60	391,10b \pm 20,10	366,75c \pm 7,30	335,10e \pm 10,10	343,90de \pm 12,90	415,10a \pm 7,10
Nt (g kg ⁻¹)	21,80ab \pm 9,70	25,80a \pm 0,60	26,00a \pm 3,80	21,50ab \pm 5,80	21,10ab \pm 1,00	16,10b \pm 3,30
C/N	16,69ab \pm 8,63	15,17b \pm 1,08	14,28b \pm 1,75	15,50b \pm 5,10	16,34b \pm 1,41	25,78a \pm 6,24
Pt (g kg ⁻¹)	1,85a \pm 0,37	1,73a \pm 0,11	1,83a \pm 0,06	1,98a \pm 0,33	1,81a \pm 0,18	0,89b \pm 0,17
Kt (g kg ⁻¹)	5,86c \pm 0,54	7,16c \pm 0,29	13,68a \pm 2,41	7,16c \pm 0,72	10,09b \pm 1,07	7,82c \pm 0,90
Ca (g kg ⁻¹)	19,22d \pm 0,86	22,53c \pm 3,07	28,12b \pm 2,26	35,39a \pm 0,64	33,53a \pm 0,51	27,92b \pm 1,27
Mg (g kg ⁻¹)	2,12c \pm 0,10	2,62b \pm 0,46	2,95ab \pm 0,15	2,66b \pm 0,24	3,13a \pm 0,18	3,01ab \pm 0,26
pH eau	8,60ab \pm 0,40	8,80a \pm 0,20	8,10b \pm 0,20	8,40ab \pm 0,30	8,50ab \pm 0,40	8,30ab \pm 0,30

La matière sèche est exprimée en % du produit frais ; C : Carbone ; N azote. Les autres analyses sont exprimées par rapport au poids sec des composts. Ct : Carbone total ; Nt : Azote total ; Pt : Phosphore total ; Kt : Potassium total ; Ca : Calcium ; Mg : Magnésium.

Les moyennes sur la même ligne qui ont la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Fischer, LSD)

3.1.5. Teneur en C

L'application des différents composts a eu un effet sur la teneur en carbone organique du sol (Tableau V). Les résultats consignés dans ce tableau montrent que de façon générale, la teneur en C a varié en fonction des modalités d'apport de compost ainsi que de la couche considérée. En apport localisé, des différences statistiquement significatives ont été observées seulement dans la couche de surface notamment sur la profondeur 0-10cm aussi bien sous poquet qu'en interligne. En interligne, deux composts notamment C1 ($p = 0,001$) et C5 ($p = 0,005$) étaient statistiquement différents par rapport au témoin (Te). Sous les poquets, trois composts, notamment C1 ($p = 0,017$), C2 ($p = 0,006$) et C5 ($p = 0,03$) étaient statistiquement significatifs par rapport au témoin. Par ailleurs les autres traitements étaient statistiquement différents entre eux. En épandage, à l'exception de la couche 20-30cm, des différences statistiquement significatives ont été observées entre les traitements pour les couches 0-10cm et 10-20cm. L'effet des traitements sur la teneur en C a révélé des variations positives des teneurs comparativement au témoin. Dans les trois couches, notamment 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm, ces variations ont fluctué de +23 à +80%, de +1 à +15% et de +12 à +36% en interligne puis de +15 à +51%, +17 à +39 et de +1 à +21% sous poquet en ce qui concerne l'apport localisé. Là où les composts étaient épandus, les variations étaient respectivement de +15 à +71%, de +15 à 54% et de +1 à +37% pour les horizons 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm. De façon générale, les témoins ont présenté de plus faibles teneurs et les améliorations étaient plus importantes en surface qu'en profondeur.

Tableau V : Teneur en C (mg g⁻¹ du sol) du sol selon les modalités d'apport (moyenne ± écart type)

A : ÉPANDAGE										
Traitements	0_10cm			10_20cm			20_30cm			% V/Te
			% V/Te			% V/Te			% V/Te	
C1	0,64a	±0,05	71	0,59a	±0,03	54	0,55a	±0,15	22	
C2	0,43bc	±0,07	15	0,44ab	±0,07	15	0,62a	±0,29	37	
C3	0,50b	±0,04	34	0,42ab	±0,00	10	0,48a	±0,05	6	
C4	0,43bc	±0,05	17	0,50ab	±0,16	30	0,47a	±0,07	4	
C5	0,49b	±0,10	32	0,49ab	±0,13	28	0,48a	±0,12	7	
C6	0,45bc	±0,09	22	0,47ab	±0,10	23	0,46a	±0,07	1	
Te	0,37c	±0,02	0	0,38b	±0,05	0	0,45a	±0,04	0	

B : APPORT LOCALISÉ																		
Traitements	0-10cm				10-20cm				20-30cm									
	Interligne	% V/Te	Poquet	% V/Te	Interligne	% V/Te	Poquet	% V/Te	Interligne	% V/Te	Poquet	% V/Te						
C1	0,55a	±0,03	80	0,45ab	±0,07	42	0,43a	±0,04	15	0,47a	±0,03	39	0,39a	±0,05	12	0,36a	±0,03	6
C2	0,38bc	±0,03	23	0,48a	±0,06	51	0,43a	±0,08	14	0,47a	±0,05	37	0,41a	±0,14	17	0,41a	±0,13	21
C3	0,39bc	±0,06	27	0,37bc	±0,02	15	0,38a	±0,01	1	0,40ab	±0,08	17	0,44a	±0,04	27	0,40a	±0,12	16
C4	0,42bc	±0,12	36	0,39abc	±0,02	24	0,38a	±0,07	1	0,40ab	±0,05	18	0,41a	±0,16	18	0,35a	±0,02	1
C5	0,49ab	±0,07	59	0,43ab	±0,12	37	0,42a	±0,06	10	0,44ab	±0,08	31	0,44a	±0,09	27	0,39a	±0,01	14
C6	0,38bc	±0,06	25	0,39abc	±0,02	23	0,40a	±0,03	6	0,44ab	±0,10	28	0,48a	±0,16	36	0,37a	±0,03	7
Te	0,31c	±0,05	0	0,32c	±0,05	0	0,38a	±0,06	0	0,34b	±0,05	0	0,35a	±0,03	0	0,34a	±0,03	0

- Les moyennes dans la même colonne qui ont la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Fisher, LSD).

- %V/Te = Pourcentage de variation des traitements par rapport au témoin

3.1.6. Teneur en N

Les teneurs en N sont également variable selon les traitements et cela quelle que soit la modalité d'apport et la profondeur considérée (Tableau VI). La modalité d'apport a eu un effet sur la teneur en N. En apport localisé, des valeurs inférieures au témoin ont été obtenues dans la couche 10-20cm (interligne) par C3 et C6 puis dans la couche 20-30cm par C3 et C4. Par ailleurs, le tableau VI indique que les variations ont été plus significatives en surface. Les traitements en apport localisé ont présenté une dynamique semblable en interligne qu'en poquet. Des différences statistiquement significatives ont été enregistrées (Tableau VI). En épandage, le témoin a présenté des valeurs inférieures pour l'ensemble des trois couches. Les teneurs ont varié de 0,033 (couche 0-10cm) à 0,059 mg g⁻¹ de sol (couches 0-10cm et 10-20cm).

Tableau VI : Teneur en N (mg g⁻¹ de sol) selon les modalités d'apport (moyenne ± écart type)

A : ÉPANDAGE						
0-10cm			10-20cm		20-30cm	
C1	0,059a	±0,003	0,054ab	±0,003	0,052a	±0,012
C2	0,040bc	±0,006	0,041bc	±0,004	0,055a	±0,021
C3	0,049ab	±0,006	0,043bc	±0,002	0,045a	±0,006
C4	0,043bc	±0,008	0,059a	±0,014	0,043a	±0,008
C5	0,042bc	±0,011	0,043bc	±0,011	0,044a	±0,013
C6	0,040bc	±0,006	0,043bc	±0,010	0,044a	±0,008
Te	0,033c	±0,003	0,037c	±0,008	0,043a	±0,002

B : APPORT LOCALISÉ												
Traitements	0-10cm				10-20cm				20-30cm			
	Interligne		Poquet		Interligne		Poquet		Interligne		Poquet	
	C1	0,054a	±0,003	0,042a	±0,004	0,043a	±0,004	0,042a	±0,004	0,036a	±0,002	0,034b
C2	0,034b	±0,003	0,037ab	±0,001	0,040a	±0,006	0,043a	±0,004	0,038a	±0,011	0,043a	±0,008
C3	0,037ab	±0,008	0,035ab	±0,002	0,033a	±0,003	0,035a	±0,004	0,041a	±0,004	0,031b	±0,004
C4	0,037ab	±0,012	0,036ab	±0,004	0,035a	±0,009	0,035a	±0,006	0,039a	±0,015	0,032b	±0,002
C5	0,042ab	±0,005	0,040a	±0,009	0,039a	±0,005	0,040a	±0,006	0,039a	±0,007	0,038ab	±0,001
C6	0,034b	±0,007	0,037ab	±0,001	0,035a	±0,004	0,040a	±0,006	0,042a	±0,013	0,037ab	±0,001
Te	0,030b	±0,003	0,031b	±0,006	0,036a	±0,006	0,034a	±0,004	0,032a	±0,002	0,034b	±0,007

- Les moyennes dans la même colonne qui ont la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Fisher, LSD).

3.1.7. Stocks de C

La variation des stocks de carbone entre les traitements comprenant des apports et le témoin était plus importante dans la couche 0-10cm. Les stocks de carbone du sol ont varié en fonction de la modalité d'apport, de la profondeur et du type de compost (figure 7). La figure 7 permet de constater que le témoin présentait les plus faibles valeurs quelles que soient la modalité d'apport et la profondeur. En outre, les résultats montrent que des différences statistiquement significatives existent dans les couches 0-10cm et 10-20cm. Par ailleurs, le cumul des stocks sur les 30 premiers centimètres du sol a montré des différences plus nettes sur les stocks de C du sol en fonction des modalités d'apports du compost (Figure 8). Cette figure indique des variations de stocks plus élevées en épandage qu'en apport localisé.

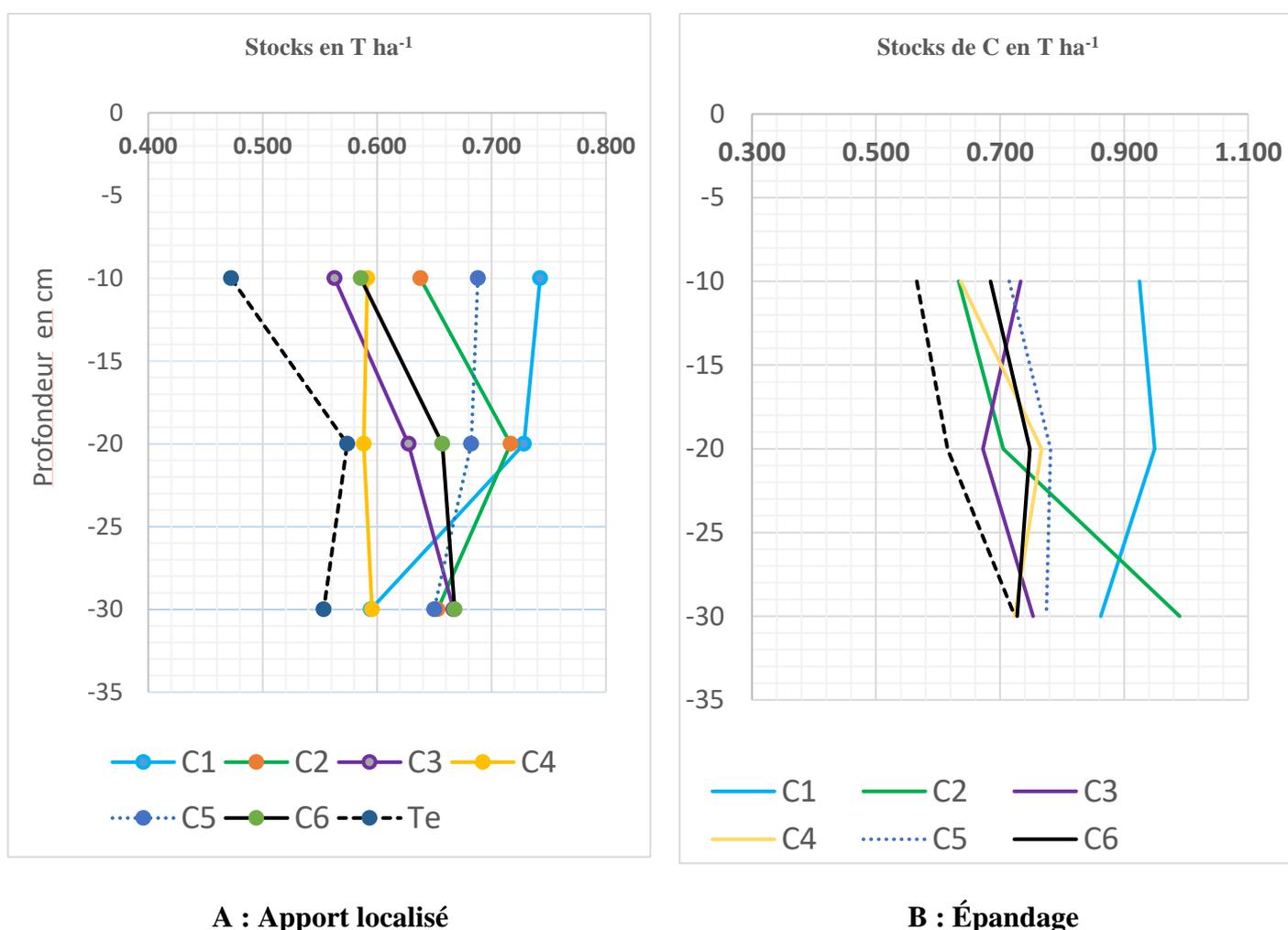


Figure 7 : Stocks de C en fonction des traitements

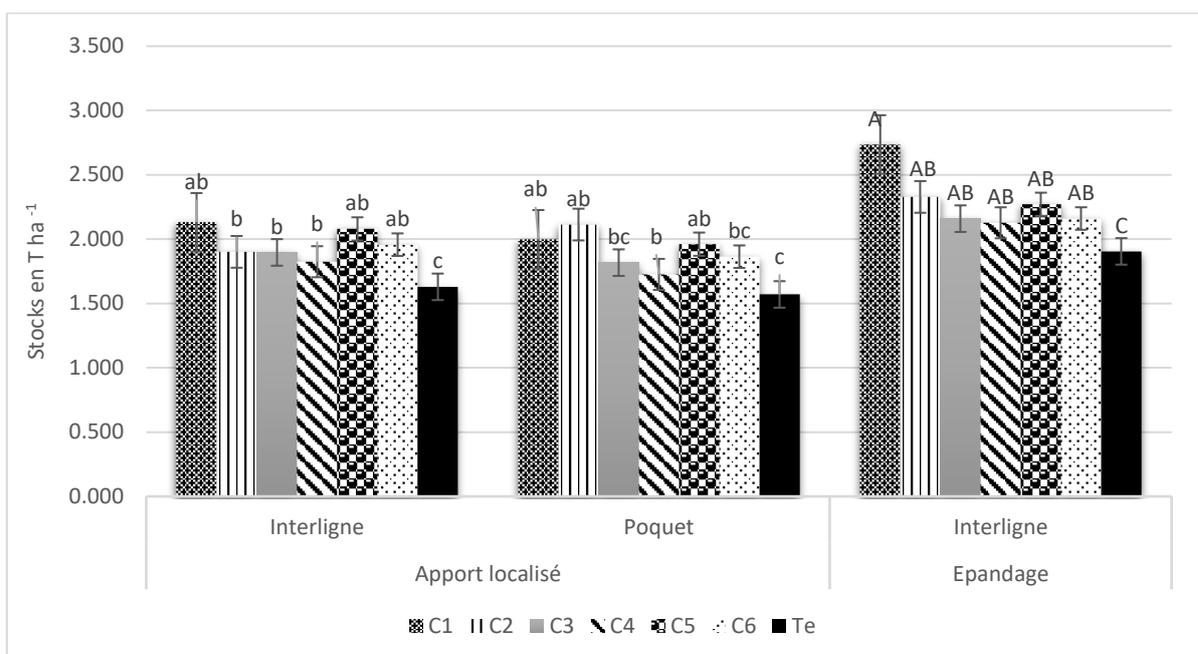


Figure 8 : Stocks cumulés de C sur les 30 premiers cm
 Les groupes d'histogrammes surmontés des lettres identiques indiquent des différences non significatives ($p > 0,05$)

3.1.8. Influence des traitements sur la levée

Les taux de levée du sorgho par traitement sont représentés par la figure 9. Les plus fortes levées ont été observées sous le traitement C1 et le témoin (Te) respectivement en apport localisé et épandage. Les plus faibles moyennes ont été enregistrées par le traitement C6. A l'exception du traitement C6, les composts n'ont pas eu une influence significative sur la levée.

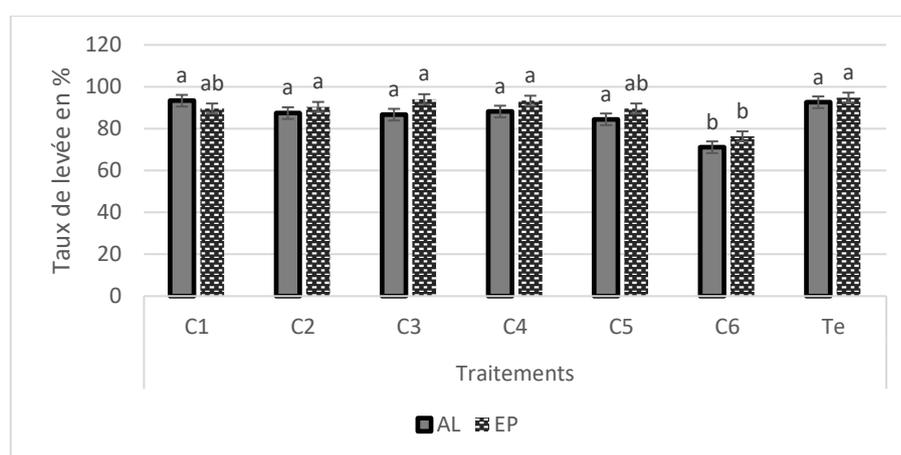


Figure 9 : Taux de levée

- Les paires surmontées de mêmes lettres indiquent que des moyennes ne diffèrent pas significativement ($p < 0,05$) (test de Fisher, LSD).

3.1.9. Influence des traitements sur la croissance du sorgho

Les modalités d'apport et le type de composts ont influencé de façon significative la croissance du sorgho (Figure 10). La croissance a été plus remarquable en apport localisé qu'en épandage. Elle a varié de 0 à 169,5cm en épandage contre 0 à 189cm en apport localisé. Les composts C3, C4 et C2 ont enregistré des meilleurs résultats quelle que soit la modalité d'apport. Dans les deux cas, la croissance a été faible chez le témoin.

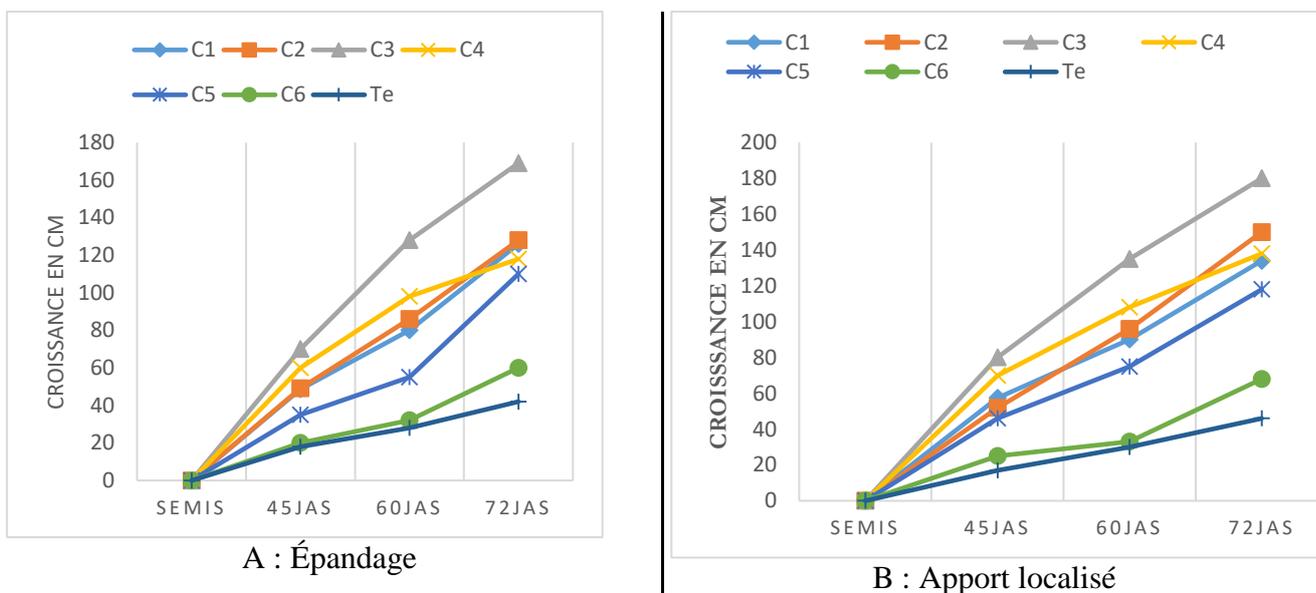
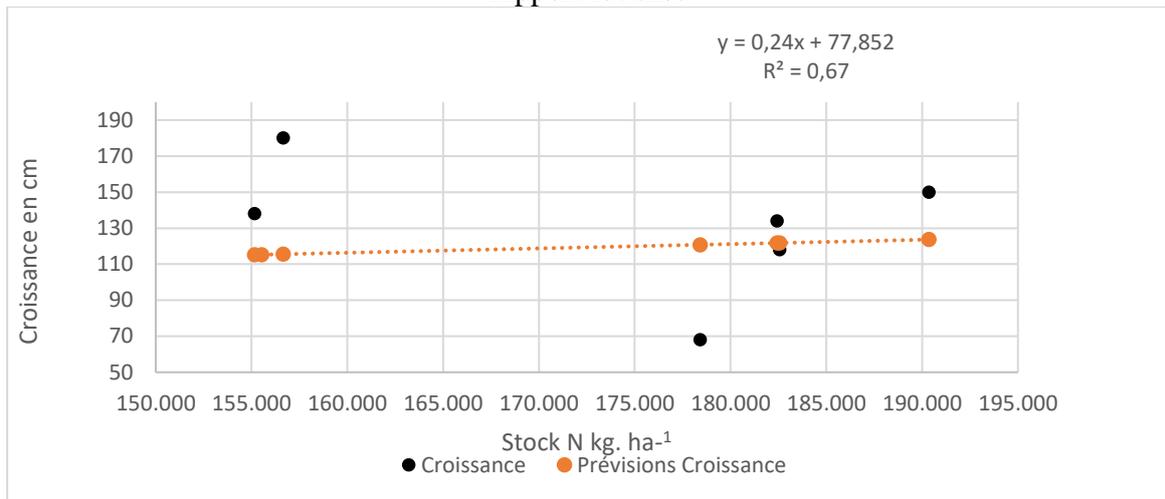


Figure 10 : Influence des traitements sur la croissance des plantes

3.1.10. Relation entre la croissance et le stock de carbone

La figure 11 traduit le lien entre la croissance du sorgho et les stocks en azote du sol. Cette figure montre des droites de régression légèrement ascendante (apport localisé) et ascendante (épandage) du point de vue croissance. Également, les équations affines linéaires qui sont présentées sur cette figure montrent qu'il y a un lien statistique positif entre les stocks en azote et la croissance des plantes. Les coefficients de détermination sont élevés pour les deux modalités d'apport.

Apport localisé



Épandage

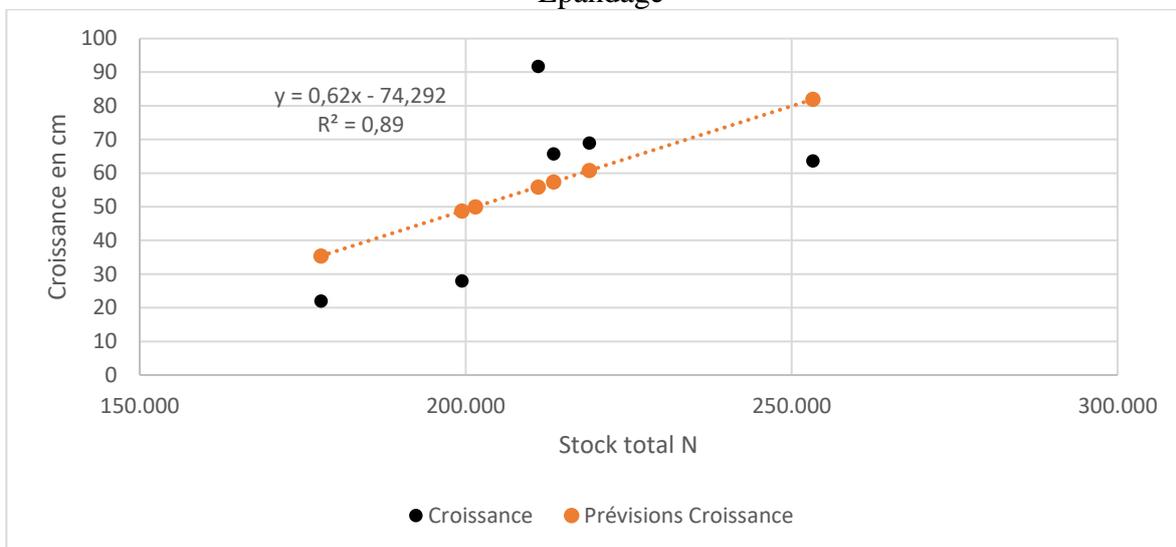


Figure 11 : Corrélation entre la croissance et les stocks de N

3.2. DISCUSSION

3.2.1 Variabilité de la densité apparente

Le test de Fisher utilisé pour la comparaison des valeurs de densités apparentes observées sous différents traitements comparativement au témoin (tableau III) a montré qu'à l'exception de la couche 0-10cm (épandage), le compost n'a pas eu d'effet significatif sur la densité apparente du sol au sein de la même couche. De façon générale, les densités apparentes augmentent avec la profondeur. Cette tendance à l'augmentation avait déjà été signalée par Raharimalala (2012) à Madagascar, par Nsanzimfura (2015) au Burkina Faso et par Bessah *et al.* (2016) au Ghana. Ces résultats seraient dues d'une part à certaines opérations culturales quotidiennes telles que le labour et à une forte activité biologique dans la partie superficielle du sol d'autre part. En effet, selon Marchao *et al.* (2009), l'horizon supérieur est la zone de concentration des débris végétaux qui constituent une importante source de matières organiques pour les organismes du sol, notamment la macrofaune. Ces derniers contribuent à la structuration et à l'amélioration de la porosité des sols. En dessous, le sol devient plus compact du fait de l'insuffisance de l'activité biologique et la rareté, voire l'absence de fragments organiques qui peuvent constituer des zones de fissuration. De plus, le fait que le sol soit labouré chaque année peut contribuer à augmenter sa porosité et influencer indirectement la densité apparente étant donné qu'elle tient compte des vides existant entre les éléments du sol. Belagrouz *et al.* (2016) dans leur investigation sur la « Conductivité hydraulique et la densité apparente sous labours de conservation du sol » ont indiqué que la densité apparente est un indicateur de qualité qui varie avec les techniques culturales.

Toutefois, bien que les mêmes quantités de matière organique aient été ajoutées au sol, les résultats obtenus pour la densité apparente du sol différaient entre les traitements, probablement en raison de la nature chimique des composts elle-même liées aux compositions initiales des substrats. Ces résultats sont en adéquation avec ceux trouvés par Tejada et Gonzalez (2008) puis ceux de Bambara *et al.* (2015) qui avaient trouvé des variations similaires avec ces six composts.

3.2.2 Variabilité du taux de terre fine

Le taux de terre fine est élevé dans les différentes parcelles quels que soient le mode d'apport et le type de compost, comparativement aux taux souvent observés dans les sols au Burkina Faso, notamment sur les glacis. Cela est certainement lié à la nature des roches mères, à l'évolution géomorphologique et à la nature granulométrique du sol. L'analyse granulométrique a révélé des proportions importantes de sable fin et de limon dans toutes les trois couches.

L'hypothèse que nous avançons pour expliquer le taux de terre fine plus élevé dans les traitements comportants des apports de composts est que la présence de MOS induirait une meilleure infiltration de l'eau de pluie d'où une moindre érosion pouvant entraîner les éléments fins notamment dans l'horizon de surface.

Nos résultats sont conformes à ceux de Bambara *et al.* (2015) qui avaient trouvé une augmentation de la granulométrie fine suite à un apport de composts produits à partir des déchets urbains au sol sur une durée de trois ans.

3.2.3. Variabilité des teneurs en C et N

L'application des six composts au sol a entraîné une augmentation des teneurs en C organique dans le sol par rapport au témoin sans fertilisation. Cette variabilité serait liée à la nature des composts. En effet, la nature de la matière organique influence le rythme de croissance des microorganismes. Il est connu que les matières organiques facilement minéralisables augmentent et diversifient la microflore du sol et par conséquent le taux de décomposition de la MO. De plus, le rapport C/N est un critère biochimique qui permet d'apprécier l'état d'évolution des MOS. Lorsque le rapport C/N ou que la teneur en lignine ou polyphénols des ressources organiques est élevée, leur application conduit à des risques d'immobilisation des nutriments du sol pour permettre la couverture des besoins des organismes en présence en éléments minéraux. Par contre lorsque le rapport C /N est très bas, il y a également des risques de libération de nutriment très rapide et surtout non synchronisée avec les besoins de la plante. Les rapports C/N des composts utilisés étaient variables d'un compost à l'autre, par conséquent leur apport au sol entrainerait un effet différentiel du point de vu teneur en élément chimique, notamment en N. Par ailleurs, les parcelles sous apports révèlent une tendance générale à l'augmentation des teneurs en azote et en carbone du sol par rapport au témoin. Toutefois, les teneurs obtenues dans les parcelles de Gampèla restent faibles voire très faibles par rapport aux normes internationales (Calvet et Villemin 1986) et par rapport à ceux trouvés par Hien (2004). En revanche, les résultats trouvés sont légèrement supérieurs à ceux trouvés par Bambara *et al.* (2015). Sur le plan agronomique, une teneur élevée en carbone n'indique pas toujours un sol fertile, mais plutôt un sol où les conditions de transformation de la matière organique sont difficiles (sols acides, sols trop humides, etc.). Quant à l'azote, la fourniture de cet élément aux plantes dépend plus des conditions de minéralisation (fonction de la température, de l'humidité, de la nature du sol) que du stock global sous forme organique.

3.2.4. Variabilité des stocks en C

Plusieurs facteurs peuvent contribuer à expliquer la variabilité des stocks de carbone par rapport aux modalités d'apport et aux types de composts. Premièrement, la nature du compost à influencer les paramètres tels que la densité apparente, le taux de terre fine et la teneur en C organique du sol. Le mode de calcul des stocks en C du sol prend en compte ces paramètres. Le fait que les stocks de COS ne soient pas exprimés pour une masse équivalente mais plutôt pour une profondeur équivalente peut également introduire des incertitudes dans l'analyse des résultats. La nature du sol pourrait être un troisième élément fondamental influençant les stocks de C. En effet, la description d'une fosse pédologique située à proximité de l'essai (annexe 2) a montré que le sol à une structure massive et une texture déséquilibrée, notamment dans les horizons de surface. Cela peut provoquer des problèmes d'infiltration avec pour conséquences l'érosion pouvant entraîner les éléments fins qui se trouvent en surface.

Plusieurs auteurs, Aholoukpè *et al.* (2016) ; Bessah *et al.* (2016) ; Razafimbelo *et al.* (2018), ont évalué les stocks de carbone en Afrique sur les 30 premiers centimètres du sol et ont trouvé des résultats variables d'une région à l'autre. Ces variations étaient attribuées aux climats, à la méthode utilisée et aux types de sols. Les stocks de carbone en fonction des types d'intrants organiques sont rares au Burkina Faso.

Hien *et al.* (2006) ont trouvé des valeurs de stocks de C de l'ordre de 16 t ha^{-1} dans l'horizon 0-30cm dans une parcelle sous culture continue pendant 13 ans sous apport du fumier à la dose de 2 t MS ha^{-1} au Sud-Ouest du Burkina Faso. À Saria, sur un essai comportant des apports de fumures organo-minérales des stocks de carbone variant entre $26,04$ et $11,04 \text{ t ha}^{-1}$ avaient été obtenus après 42 ans de culture continue en fonction des traitements (Hien, 2004). Ces valeurs sont très élevées par rapport à nos résultats. En réalité, le bilan entre les entrées et les sorties présenté en annexe 3 peut contribuer à expliquer ces écarts. Au regard de ce tableau présenté en annexe 3, les pertes varient d'un compost à l'autre avec un taux de variation de 79 à 85% (épandage) et de 84 à 87% (apport localisé). Plusieurs facteurs pourraient expliquer ces résultats. D'abord les différences constatées par rapport aux autres résultats peuvent être attribuées aux conditions pédoclimatiques différentes et à la nature des intrants organiques apportés. Ensuite, selon Houot *et al.* (2004), les températures élevées entraînent une minéralisation rapide du C organique. Ils ont montré que les substrats organiques se minéralisent rapidement lorsque les températures atteignent 28°C . Janssen (2011) a indiqué que le potentiel de minéralisation est plus élevé dans les sols amendés avant d'ajouter que lorsque les résidus de cultures sont totalement exportés, il est important d'augmenter les apports des intrants organiques à 10 t MS ha^{-1} pour avoir un effet très significatif sur les stocks de carbone sur une période moyenne de 6 à 14,9 ans.

De plus, des travaux récents ont abouti à la conclusion que la qualité et la quantité des intrants organiques affectent de façon significative les stocks de carbone du sol (Razafimbelo *et al.*, 2018 ; Fujisaki *et al.*, 2018a). Selon Fujisaki *et al.* (2018b), la monoculture n'induit pas une augmentation importante de stocks de C dans les sols. En effet, la rotation et la diversification des cultures peut fournir des apports en C plus importants grâce à la biomasse racinaire et aux exsudats que la monoculture. L'environnement physique et biotique spécifique créé par les systèmes racinaires supplémentaires peut sélectionner une communauté microbienne distincte avec de rétroaction pour le cycle de carbone. La biomasse des racines ainsi que la rhizodéposition constituent une source importante de stocks de COS.

Aussi, le fait que l'évolution de la MOS soit sous la dépendance de la biologie du sol peut être un facteur explicatif (Bernard *et al.*, 2012). La dynamique de la MOS dans ces zones sèches peut être influencée par la macrofaune notamment les termites à travers la bioérosion (Hien, 2004). Paul (2016) a fait valoir que les stocks de COS sont contrôlés par l'équilibre entre les apports en C, la biomasse végétale et les pertes en C dues au catabolisme hétérotrophe.

Cette étude a montré que l'application des composts a eu un effet positif sur les stocks de carbone sur les 30 premiers centimètres du sol. En effet, les stocks de C ont été plus importants dans les parcelles sous apports de composts. Cela permet de confirmer les deux hypothèses de départ. Les composts ayant le plus induit une augmentation des stocks de carbone sur les 30 premiers centimètres étaient le compost 1, le compost 2 et le compost 5. Leur rapport C/N était respectivement 16,69 ; 15,17 et 16,34. À l'exception du compost 6, ce sont les composts ayant les plus grands rapports C/N.

Par ailleurs, la corrélation établie entre le stock de N et la croissance montre des liens positifs entre le stock de N et la croissance du sorgho. Néanmoins, l'observation de la dispersion des points de croissance autour de la droite de régression montre que la relation entre les stocks d'azote et la croissance reste à élucider. Deux hypothèses peuvent être avancées (i) la minéralisation de l'azote dans ces sols poserait problème (ii) l'azote ne serait pas le seul facteur handicapant de la productivité des sols à Gampéla. Il paraît nécessaire de penser au phosphore et à certains éléments mineurs trop souvent négligés dans l'évaluation de la fertilité des sols au profit de NPK. La figure 10 montre en effet une croissance notable (apport localisé) alors que le coefficient de détermination R^2 reste faible selon la figure 11.

N'Dayegamiye *et al.* (2007) ont tenté de mettre en relief la corrélation entre l'azote et la croissance. Selon eux, bien que l'azote soit indispensable à la croissance des plantes, l'utilisation de l'azote minéralisable du sol par les plantes dépend de l'espèce considérée et de la saison.

Comme le taux de minéralisation dépend de la température et de l'humidité, la minéralisation peut varier à cause de la variabilité des conditions climatiques au cours de la saison de végétation.

De ce fait, les cultures ayant de courte saison de végétation comme les céréales peuvent ne pas bénéficier de ce potentielle de minéralisation. De plus, ils ont fait valoir que la demande en azote de la plante peut varier au cours la saison de végétation selon l'effet des conditions climatiques et des précipitations sur la disponibilité en eau du sol. Au regard donc de la variabilité des pluies au cours de la saison (pluviosité abondante pour les mois de juillet et août (annexe 6)) ; cela peut contribuer à expliquer l'éloignement des points de croissances avec la droite de régression et les coefficients de détermination constatés. Ces hypothèses contribuent à expliquer la relation entre les stocks mais ne peuvent en elles seules justifier les variations trouvées avec les différents paramètres considérés. Il existerait encore d'autres déterminants et verrous de la fertilité de ces sols à élucider.

CONCLUSION

Cette étude a porté sur les stocks de carbone dans un sol de Gampèla sous l'influence d'apports de composts urbains. Elle a montré que l'apport des composts a une influence sur les propriétés physiques et chimiques du sol, notamment la densité apparente, le taux de terre fine, la teneur en C et en N du sol. Néanmoins, les stocks obtenus sur les 30 premiers cm restent très faibles. Cette influence était plus marquée dans la couche de surface et cela en fonction de chaque type de compost. Trois composts ont été meilleurs par rapports aux autres. La relation établie entre les stocks de N et la croissance de sorgho a montré que l'azote est un facteur déterminant de la croissance des plants de sorgho. L'apport d'intrants organiques comme le compost contribue à la gestion de la fertilité des sols au Burkina Faso. La variabilité des stocks de carbone dans les agrosystèmes en lien avec le climat et le type de sol nécessite qu'il ait des études locales pour bien discuter des résultats au niveau local. La démarche adoptée a permis d'aboutir à des résultats permettant la confirmation des hypothèses émises.

La poursuite de l'étude est indispensable pour mieux appréhender l'influence de ces composts sur les autres propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Le dosage du phosphore, du potassium et de certains éléments mineurs pourrait permettre d'élucider plus précisément les problèmes de fertilité de ces sols. De plus, l'étude a été conduite dans un type de sol précis et les stocks estimés en profondeur équivalente, il serait important donc de prendre en compte d'autres types de sol dans les expérimentations futures et estimer les stocks de carbone en masse équivalente de sol plutôt qu'à profondeur équivalente. Aussi, il est nécessaire de conduire l'étude jusqu'au rendement en vue d'établir une corrélation entre la modalité d'apport, le type de compost et le rendement. Enfin, une étude pourrait aborder le bilan des apports annuels de ces composts en quantifiant les pertes par minéralisation, par érosion ou par lessivage.

Au regard des faibles fertilités des sols et des facteurs limitants la production des composts à l'échelle locale couplé à l'augmentation des déchets urbains, nous recommandons :

- l'appui à la production semi-industrielle des composts de déchets urbains dans les grandes villes ;
- les soutiens et encouragements à la collecte et le traitement des ordures étrangères par des Groupement d'Intérêt Économique en association (GIE) ;
- au Ministère en charge de l'agriculture de mettre à la disposition des chercheurs des agents de vulgarisation.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Aholoukpè H. N. S., Amadji G. L., Blavet D., Chotte J-L., Deleporte P., Dubos B., Flori A. et Jourdan C., 2016.** Effet de la gestion des feuilles d'élagage du palmier à huile sur le stock de carbone et les propriétés physico-chimiques du sol dans les palmeraies villageoises du Bénin. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 20(2), 171-182
- Arrouays D., 2008.** Changement climatique et évolution du stockage de carbone dans les sols : Enjeux et incertitudes. *Environnement* 15 : 1-3
- Bado B. V., 2002.** Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèses de doctorat (Ph. D.), Faculté des études supérieures de l'Université Laval. 197p.
- Balesdent J. et Chenu C. 2000.** "Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage." *Soil and Tillage Research: Tillage, mineralization and leaching:* 215-230.
- Bambara D., Thiombiano A. et Hein V., 2015.** Composts de déchets urbains et dynamiques du carbone du sol à Donsin, Burkina Faso. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* 109 (1) : 89 -108
- Banville J. L., 2009.** Caractérisation des stocks de carbone de 5 types de formations végétales dans un secteur du bassin versant de la rivière Eastmain, *BAIE JAMES*, 161p.
- Belagrouz A., Chennafi H., Hakimi M., Soualili N., Razem R., Boutalbi W., et Ferras K., 2015.** Conductivité hydraulique et densité apparente sous labours de conservation du sol. *Revue Agriculture Numéro spécial 1* : 100-105
- Bernard I., Chapuis-Lardy L., Razafimbelo T., Razafindrakoto M., Pablo A., Legname E., Poulain J., Brüls T., O' Donohue M., Brauman A., Chotte J.L. et Blanchart E., 2012.** Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. *ISME J.* 6: 213-222
- Bernoux M. et Chevallier T., 2013.** Le carbone dans les sols des zones sèches. Des fonctions multiples indispensables. Les dossiers thématiques du CSFD. N°10. *Agropolis International*, 40p.
- Bessah E., Bala A., Agodzo S. K. et Okhimamhe A. A., 2016.** Dynamics of soil organic carbon stocks in the Guinea savanna and transition agro-ecology under different land-use systems in Ghana. *Cogent Geoscience*, 2: 1-11
- Blanchart E. et Bernoux M., 2005.** Déterminants des stocks de carbone des sols des petites Antilles (Martinique, Guadeloupe). Alternatives de séquestration du carbone et spatialisation des stocks actuels et simulés. MEDD. France. 104p.

- Bouajila K., Ben Jeddi F., Taamallah H., Jedidi N. et Sanaa M., 2014.** Effets de la composition chimique et biochimique des résidus de cultures sur leur décomposition dans un sol Limono-Argileux du semi-aride. *J. Mater. Environ. Sci.*, 5(1) : 159-166.
- BUNASOLS, 1988.** Étude pédologique de la Station Expérimentale de Gampéla. Rapport technique n°59. Ministère de l'agriculture et de l'élevage, Burkina Faso. 46p.
- Calvet G. et Villemin P., 1986.** Interprétation des analyses de terre. Édit. SCPA., France, 24 p
- Chenu C., Klumpp K., Bispo A., Angers D., Colnenne C. et Metay A., 2014.** Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France. *Innovations Agronomiques*, 37 : 23-37
- CILSS, 2015.** Potentiel de séquestration de carbone dans les sols des zones sèches d'Afrique Sub-saharienne, 18p.
- CNS, 2014.** Catalogue national des espèces et variétés agricoles du Burkina Faso, 81p.
- CPCS, 1967.** Classification des sols. Paris Grignon : Laboratoire de géologie-pédologie de l'ENASA 70p.
- Dembélé A., 2014.** Réponse du maïs (*Zea mays* L.) au compost ou au fumier sur des sols amendés avec les rameaux fragmentés de *Piliostigma reticulatum* (D. C.) Hochst., 64p.
- FAO, 2015.** Les sols contribuent à lutter contre le changement climatique et à s'adapter à ses effets. 4p.
- FAO, 2017.** Carbone organique du sol : une richesse invisible. FAO, Rome, Italie, 90p.
- Feller C., Bernoux M., Eschenbrenner V., Barthès B. et Blanchart E., 2004.** Effet de séquestration du carbone au niveau global : approche historique et état actuel 13p.
- Feller C., Fritsch E., Poss R. et Valentin C., 1991.** Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferralitiques (Afrique de l'ouest, en particulier). *Pédol.*, 26 (1) : 25-36
- Fujisaki K., Chevallier T., Lydie C-L., Albrecht A., Razafimbelo T., Masse D., Ndour Y. B. et Chotte J-L., 2018b.** Soil carbon stocks changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: A synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 259: 147-158.
- Fujisaki K., Lydie C., Alain A., Razafimbelob T., Chottea J L. et Chevallier T., 2018a.** Data synthesis of carbon distribution in particle size fractions of tropical soils: Implications for soil carbon storage potential in croplands. *Geoderma* 313: 41-51
- Ganry F. et Thuriès L., 2010.** Fonction des matières organiques apportées au sol : enjeu et contraintes en situation de sécheresse, CIRAD 1-7.
- Henry M., 2010.** Carbon stocks and dynamics in Sub Africa. Doctorate school on Forest Ecology. *Ecosystem* 433p.

- Henry M., Valentini R., et Bernoux M., 2009.** Soil carbon stocks in ecoregions of Africa. *Biogeosciences Discuss.*, 6, 797–823,
- Herfurth D., 2015.** Impact des pratiques de gestion sur le stockage du Carbone dans le sol des écosystèmes prairiaux. *Sciences agricoles*. 221p.
- Hien E., 2004.** Dynamique du carbone dans un Acrisol ferrugineux du Centre Ouest Burkina Faso : Influence des pratiques culturales sur le stock et la qualité de la matière organique. Thèse de Doctorat en Sciences du Sol. 138p.
- Hien E., Ganry F., Hien V. et Oliver R., 2006.** Dynamique du carbone dans un sol de savane du Sud-Ouest Burkina sous l'effet de la mise en culture et des pratiques culturales, 207-219
- Houot S., Francou C., Vergé-L. C., Michelin J., Bourgeois S., Linères M., Philippe M., Parnaudeau V., Bissonnais Y. L., Dignac M., Dumat C., Cheib A. et Poitrenaud M., 2004.** Valeur agronomique et impacts environnementaux de composts d'origine urbaine : variation avec la nature du compost. *AGREDE* : 107-124
- INRA, 2002.** Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? 323p.
- Janssen, B.H., 2011.** Simple models and concepts as tools for the study of sustained soil productivity in long-term experiments. I. New soil organic matter and residual effect of P from fertilizers and farmyard manure in Kabete, Kenya. *Plant Soil* 339, 3–16.
- Kaboré W T. T., 2010.** Amélioration de la valorisation agricole des déchets urbains après compostage : influence de la nature et des proportions des substrats initiaux sur les valeurs amendante et fertilisante des Composts. Thèse Unique : Université de Ouagadougou 248p.
- Kagambèga W., 2006.** Etudes floristique et phytosociologique de la station expérimentale de Gampéla (zone nord-soudanienne du Burkina Faso). DEA soutenu à l'Université de Ouagadougou 116p.
- Kay B. D., Da Silva P. A. et al., 1997.** Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: Prediction using pédotransfert functions. *Canadian Journal of Soil Science*, 77 655-667
- Kjeldahl, J ; 1883.** Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Z. Anal. Chem.* 22 : 366-382
- Koull N. et Halilat M.T., 2016.** Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie), *Étude et Gestion des Sols*, 23 : 9-19
- Marchao L., Becquer T., Brunet D., Balbino C., Vilela L., et Brossard M., 2009.** Provided for non-commercial research and education use. *Soil and Tillage Research*, 103: 442-450.

- Matus F., Lusk C. H. et Maire C. R., 2008.** « Effects of soil texture, carbon input rates, and litter quality on free organic matter and nitrogen mineralization in Chilean rain forest and agricultural soils ». *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 187-201.
- Musadji N.-Y., 2013.** Structure et dynamique du carbone mobile dans le sol. Thèse Chimie organique, minérale, industrielle. UNIVERSITÉ DE POITIERS UFR des sciences fondamentales et appliquées Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers, 263p.
- N'Dayegamiye A., Giroux M. et Gasser O. M., 2007.** La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la MO : facteurs climatiques et régions influençant les taux de minéralisation de l'azote. Colloque de l'azote, 1-28
- Nsanzimfura T., 2015.** Étude de la densité apparente et de la porosité du sol dans le dispositif expérimental crop-news de Kamboinsin
- Ozias K.L. Hounkpatina F., Aymar Y., Gerhard W. et Wulf A., 2018.** Soil organic carbon stocks and their determining factors in the Dano catchment (Southwest Burkina Faso). *Catena*, 166 : 298-309.
- Paul E.A., 2016.** The nature and dynamics of soil organic matter: plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. *Soil Biol. Biochem.* 98, 109–126.
- Raharimalala N. D., 2012.** Évaluation des stocks de carbone et de phosphore total dans différents types de sols à Madagascar. DEA. 93p.
- Razafimbelo T.M., Andry A. Rafolisy T., Razakamanarivo H., Masse D., Blanchart E., Falinirima M-V., Bernard L., Ravonjjarison N. et Albrecht A., 2018.** Impact de l'agriculture climato-intelligente sur les stocks de carbone organique du sol à Madagascar. *EDP Sciences 27* : 1-8
- Savadogo I., 2011.** Évaluation de l'efficacité agronomique du compost de déchets urbains séchés de la ville de Ouagadougou 72p.
- Some D., Hien E., Assigbetse K., Drevon J. J. et Masse D., 2015.** Dynamique des compartiments du carbone et de l'azote dans le sol cultivé en niébé et sorgho dans le système zai en zone Nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(2) : 954-969
- Tejada M. et Gonzalez J.L., 2008.** Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma* 145: 325-334.
- Walkey A. et Black I.A., 1934.** An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37: 29-38.

ANNEXES

Annexe 1 : Protocole de détermination de la densité apparente

A ←

B ←

C ↓

1 →

2 ←

A : Prélèvement des sols sur 0-10cm
B : Prélèvement des sols sur 10-20cm
C : Prélèvement des sols sur 20-30cm

1 : Passage des échantillons sur des boîtes d'humidité préalablement tarées puis pesage sur une balance de précision

2 : Passage des boîtes contenant les échantillons dans une étuve à 105° pendant 48h

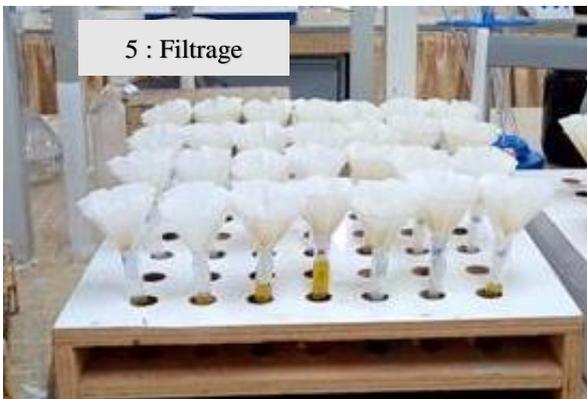
Annexe 2 : Fiche de description de la fosse pédologique	
DATE DE DESCRIPTION	: 21 septembre 2018
AUTEUR (S)	: Edmond HIEN et Souleimane SANA
CLASSIFICATION CPCS (1967)	: Sol Ferrugineux Tropical Lessivé à taches et concrétions
CLASSIFICATION TECHNIQUE	: S2
ENVIRONNEMENT DU PROFIL	
Localisation	: Gampèla (Goden)
Coordonnées géographiques	12°24'37.5''N 001°21'06.20 Z = 278m
Végétation et/ou utilisation	: Savane arbustive à arborée à <i>Piliostigma reticulatum</i> , <i>Vitellaria paradoxa</i> , <i>Acacia nilotica</i> , <i>Sclerocaria birrea</i> , <i>Guiera senegalensis</i> , <i>Terminalia macroptera</i> , <i>Calotropis procera</i> , <i>Azadirachta indica</i> , <i>Pterocarpus erinaceus</i> , plus tapis herbacé à <i>Andropogon</i> et <i>Pennisetum</i>
Position géomorphologique	: Glacis pente moyenne
Microtopographie	: Présence de quelques termitières
Topographie environnante	: Quasi plat
Pente	: 1 à 2%
État hydrique : frais	: Drainage : normal à modéré
Nappe phréatique : non atteinte	Matériau parental : Migmatites et granites indifférenciés
Type d'érosion : érosion en nappe	Influence humaine : essai agronomique
DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU SOLUM	
0-7cm : couleur brun jaunâtre foncé (10YR4/4) à l'état humide ; sable-limoneux ; Structure faiblement développée en éléments grossiers moyens et fins polyédriques subangulaires ; consistance friable ; nombreux pores très fins et fins ; nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique bien développée, limite distincte.	
7-21cm : couleur brun jaunâtre foncé (10YR4/6) à l'état humide ; limon argilo-sableux ; structure massive ; consistance ferme ; peu nombreux pores très fins et fins ; peu nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique faiblement développée, limite distincte.	
21-40cm : couleur brun clair (7.5YR6/4) à l'état humide ; limon-argileux ; structure massive ; présence de quelques graviers ferrugineux, consistance très dure ; pores peu nombreux très fins et fins ; peu nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique faiblement développée, limite graduelle.	
40-67cm : couleur brun clair (7.5YR6/4) à l'état humide ; limon argileux ; structure massive ; présence de quelques graviers ferrugineux, consistance ferme ; peu nombreux pores très fins et fins ; présence de quelques taches gris rosâtre, peu nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique assez bien développée, limite graduelle.	
67-95cm : couleur brun vif (7.5YR5/6) à l'état humide ; argile limoneuse ; structure massive ; présence de quelques graviers ferrugineux ; consistance tendre ; pores peu nombreux très fins et fins ; présence d'environ 10% de taches gris rosâtre et environ 10% d'éléments grossiers ; peu nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique assez bien développée, limite graduelle.	
95-120cm : couleur brun vif (10YR6/4) à l'état humide ; argile limoneuse ; structure massive ; présence de quelques concrétions ferrugineuses, consistance tendre ; pores rare très fins ; présence d'environ 10% de taches gris rosâtre et environ 20% de concrétions ferrugineuses, peu nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique assez bien développée.	
Notes additionnelles : quelques poches de coprolithes dans les 4 ^e et 5 ^e horizons ; présence de quelques placages de termites au 3 ^e , 4 ^e et 5 ^e horizon	

Annexe 3 : Quantité de Ct et Nt apportés (en g Kg⁻¹ MS)

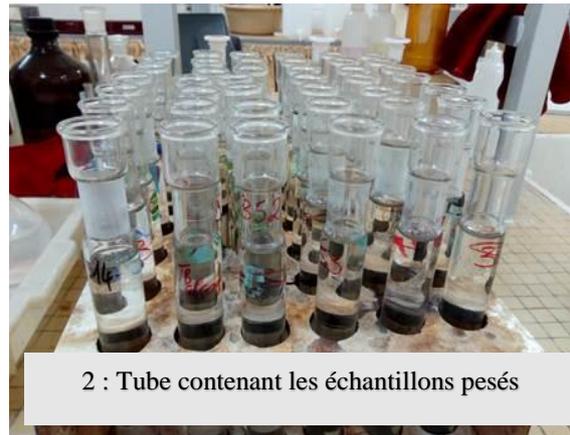
	Compost1	Compost2	Compost3	Compost4	Compost5	Compost6
Quantité de C (g /Kg de MS)	363,85	391,10	366,75	335,10	343,90	415,10
Apport annuel de MS	3,675	3,675	3,675	3,675	3,675	3,675
Apport annuel en C	1337,15	1437,29	1347,81	1231,49	1263,83	1525,49
Total de C (g) apporté en 12 ans	16045,79	17247,51	16173,68	14777,91	15165,99	18305,91
Stocks (0-30cm) de C (g) actuel (EP)	3352,08	2851,91	2644,94	2605,54	2781,75	2646,30
Stocks (0-30cm) de C (g) actuel (AL)	2448,69	2588,81	2226,19	2114,61	2401,96	2282,92
Bilan actuel (Stock-apport) EP	-12693,71	-14395,60	-13528,74	-12172,37	-12384,24	-15659,61
% Perte	-79,11	-83,46	-83,65	-82,37	-81,66	-85,54
Bilan actuel (Stock-apport) EP	-13597,09	-14658,70	-13947,48	-12663,30	-12764,03	-16022,99
% Perte AL	-84,74	-84,99	-86,24	-85,69	-84,16	-87,53

AL : Apport localisé EP : Épandage MS : Matière sèche

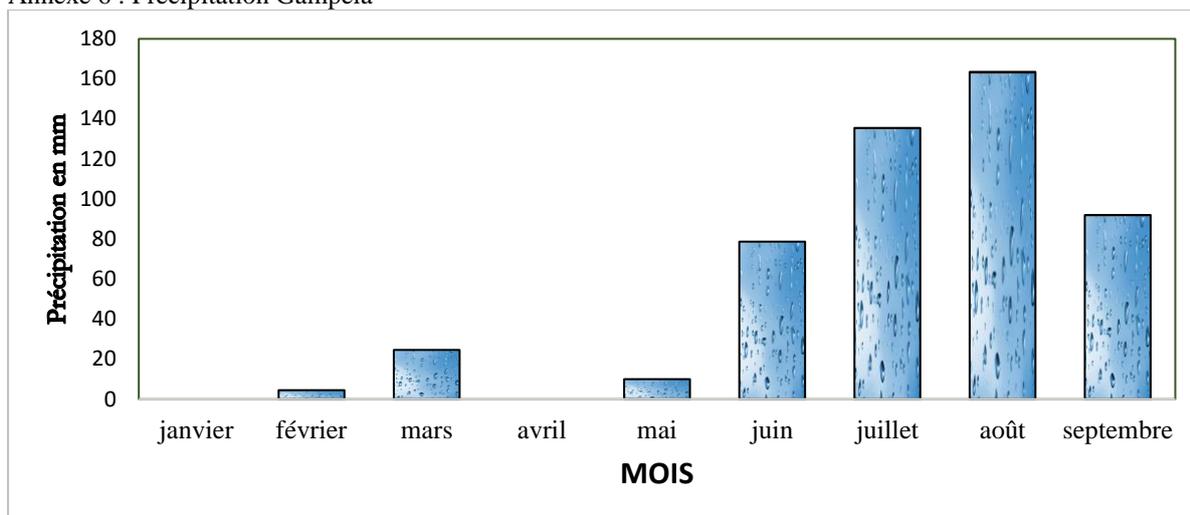
Annexe 4 : Protocole d'analyse de C organique



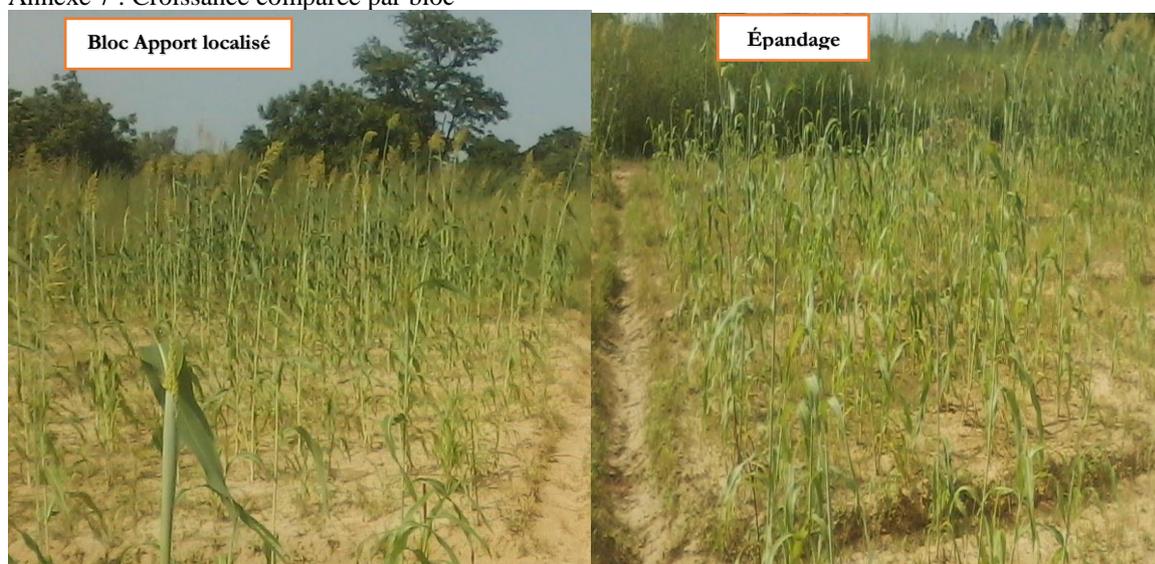
Annexe 5 : Protocole d'analyse de l'azote total



Annexe 6 : Précipitation Gampèla



Annexe 7 : Croissance comparée par bloc



Annexe 8 : Stocks d'azote ($T\ ha^{-1}$) par compost

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Apport localisé	0,182	0,190	0,157	0,155	0,183	0,178
Épandage	0,253	0,213	0,211	0,219	0,201	0,199