

BURKINA FASO

.....
Unité- Progrès- Justice

.....
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)**

.....
UNIVERSITE NAZI BONI (UNB)

.....
INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : Agronomie

Thème

**Evaluation des paramètres physico-chimiques des composts à
base des résidus de mangue dans le village de samagan, Bobo-
Dioulasso (Burkina Faso)**

Présenté par : BICABA Lalaïssa Franceline Dofinihan

Maître de stage et Co-directeur de Mémoire : Dr Mamadou TRAORE

Directeur de mémoire : Pr Hassan Bismarck NACRO

N :.....2017/AGRO

Juillet 2017

TABLE DES MATIERES	Pages
DEDICACE.....	v
REMERCIEMENTS.....	vi
SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	ix
RESUME.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCTION.....	1
I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. La production des résidus de mangue et de l’anacarde et leur utilisation au Burkina Faso.....	3
1.1.1. La production et utilisation des résidus de mangue	3
1.1.2. Les modes de valorisation des déchets de la mangue	4
1.1.3. La production et utilisation des résidus de l’anacarde.....	4
1.1.4. Les modes de valorisation des résidus d’anacarde	5
1.2. Généralité sur le compostage	6
1.2.1. Définition du compostage	6
1.2.2. Les facteurs de réussite du compostage aérobie.....	7
1.2.2.1. L’aération et l’humidité	7
1.2.2.2. La température.....	7
1.2.2.3. La composition biochimique de départ.....	8
1.2.3. Les différentes phases du processus de compostage	8
1.2.3.1. La phase mésophile	8
1.2.3.2. La phase thermophile.....	9
1.2.3.3. La phase de refroidissement	9
1.2.3.4. La phase de maturation.....	9

1.2.4. La microbiologie du compostage	10
1.2.5. Les sources de matière organique valorisables en agriculture	11
1.2.5.1. L'utilisation des activateurs	12
1.2.5.1.1. L'activateur« compost plus».....	12
1.2.5.1.2. Le fumier.....	12
1.2.6. L'importance du compostage.....	12
1.2.7. L'importance du compost dans l'amélioration des propriétés du sol.....	13
1.2.7.1. L'Effet du compost sur les propriétés physiques du sol.....	13
1.2.7.2. Les effets du compost sur les paramètres chimiques du sol.....	13
1.2.7.3. Les effets du compost sur les propriétés biologiques du sol	14
1.2.8. Les contraintes liées au compostage au Burkina Faso	14
1.2.9. La qualité du compost	15
1.2.9.1. Les paramètres physiques.....	16
1.2.9.2. Les caractéristiques chimiques classiques	16
1.2.9.2.1. Le pH.....	16
1.2.9.2.2. Le rapport C/N.....	16
1.2.9.2.3. Les teneurs en éléments traces métalliques (ETM)	17
1.2.9.2.4. Les teneurs en éléments fertilisants des composts	17
1.2.9.3. Les paramètres biologiques : Test respirométrique.....	18
1.2.9.4. La phytotoxicité.....	18
II. PRESENTATION DU SITE DE COMPOSTAGE ET METHODOLOGIE	19
2.1. Présentation du site de compostage.....	19
2.2. Matériel	20
2.2.1. Le principal matériel de compostage	20
2.2.2. Les activateurs et produits améliorants du compost	20
2.2.3. Matériel de mesure	20
2.3. Méthodologie	21
2.3.1. Mise en fosse des résidus de mangue avant le compostage	21

2.3.2. La préparation des matériaux avant l'édification du tas.....	21
2.3.3. Les matériaux entrant dans la composition du compost.....	21
2.3.3.1. Edification des tas de compost.....	22
2.3.4. L'apport d'eau	23
2.3.5. Le retournement des tas	24
2.3.6. La collecte des données sur les différents types de compost.....	24
2.3.6.1. La variation de la température.....	24
2.3.6.2. L'évaluation de la valeur fertilisante des composts.....	25
2.3.7. La détermination des paramètres physico-chimiques	25
2.3.7.1. Le taux d'humidité des composts à l'état sec	25
2.3.7.2. La valeur agronomique des composts.....	25
2.3.7.2.1. La préparation des échantillons	26
2.3.7.2.2. La détermination du taux de matière organique	26
2.3.7.2.3. La détermination du carbone total contenu dans les différents échantillons.....	27
2.3.7.2.4. La détermination de l'azote total, du phosphore total et du potassium total	28
2.3.7.2.5. La détermination du rapport C/N.....	28
2.3.7.2.6. La détermination du calcium total et du magnésium total.....	29
2.3.7.2.7. La mesure du pH.....	29
2.3.8. Analyse statistique	29
III. RESULTATS ET DISCUSSION.....	30
3.1. Résultats	30
3.1.1. Les paramètres physiques des composts.....	30
3.1.1.1. Evolution de la température des composts en fonction du temps.....	30
3.1.1.2. Variation du taux d'humidité des composts à l'état sec	31
3.1.2. Les paramètres chimiques des composts.....	32
3.1.2.1. Evolution de la teneur en MO et du carbone total des composts en fonction du temps.	32
3.1.2.2. Evolution de la teneur en azote total.....	33

3.1.2.3. Variation de la teneur en phosphore total.....	34
3.1.2.4. Variation de la teneur en potassium total	35
3.1.2.5. Variation du rapport C/N des différents types de compost.....	36
3.1.2.6. Variation de la teneur en calcium total.....	37
3.1.2.7. Variation de la teneur en magnésium total des différents composts.....	38
3.1.2.7. Variation du pH eau des composts.....	39
3.1.3. Classification des composts obtenus et leurs comparaisons aux normes internationales .	40
3.2. Discussion.....	41
3.2.1. Les paramètres physiques	41
3.2.2. Les paramètres chimiques des composts.....	43
3.2.2.1. Evolution de la matière organique (MO) des composts.....	43
3.2.2.2. Les teneurs en éléments minéraux des composts	44
3.2.2.3. Evolution du rapport C/N	47
3.2.2.4. Variation du pH.....	48
3.3. Classification des composts et leurs comparaisons aux normes internationales	49
CONCLUSION GENERALE	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	53
ANNEXES.....	A
Annexe 1: Composition chimique du Burkina phosphate de Kodjari en pourcentage	A
Annexe 2: Tas de compost C1 édifié	A
Annexe 3: Tas de compost C2 édifié	B
Annexe 4:Tas de compost C3 édifié	B
Annexe 5: Aspect du compost C1 après 60 jours de compostage	B
Annexe 6: Aspect du compost C2 après 60 jours de compostage	C
Annexe 7: Aspect du compost C3 après 60 jours de compostage	C

DEDICACE

- *A mes défunts parents : BICABA
Telespore et TRAORE Kadidia qui
aimeraient me voir réussir dans la vie.*
- *A mon oncle TRAORE Mamadou et ma
tante TRAORE Maïmouna qu'ils
trouvent en ce mémoire le fruit de leur
effort et affection.*
- *A mes chers cousins et ma chère
cousine qui m'ont soutenu durant tout
mon parcours scolaire.*

REMERCIEMENTS

Au terme de notre travail, nous remercions :

Tout le corps enseignant de l'Institut du Développement Rural (IDR) pour notre formation.

Monsieur David HEUBI, l'ancien directeur de gebana afrique et madame Linda DOERIG l'actuelle directrice générale de gebana afrique pour nous avoir accueillie au sein de leur structure et pour nous avoir octroyé une bourse de soutien pour nos activités de recherche.

Notre maître de stage, le Dr Mamadou TRAORE, Enseignant Chercheur à l'Université Nazi Boni pour sa contribution à la réalisation de ce mémoire et pour avoir accepté la tutelle scientifique de ce document.

Notre Directeur de mémoire, le Pr Hassan Bismarck NACRO, Enseignant Chercheur à l'Université Nazi Boni, pour son apport à l'amélioration de la qualité scientifique de ce document et pour nous avoir accueillie au sein de son laboratoire.

Madame Assita HEUBI, la coordonnatrice du projet Partenariat Privé Public PAFASP-gebana afrique pour nous avoir acceptée comme stagiaire dans ce projet.

Monsieur Mohamadi Korbeogo, le responsable du site de compostage pour son encadrement.

Monsieur Ibrahima SORI, le Directeur du Laboratoire Eaux- Sols- Plantes- Engrais pour nous avoir acceptée au sein de son laboratoire comme stagiaire et pour ses multiples conseils.

Tout le personnel du Laboratoire d'Analyse, particulièrement, Mr Jean Marie Vianey OUEDRAOGO, Mr Saïdou Roger NIKIEMA, Mr yacouba BILA, Mr Jean SEBGO, Madame Zoïnaba OUEDRAOGO et madame Mariam SAMAKE pour nous avoir aidé pendant nos analyses.

Tout le personnel de gebana afrique pour sa collaboration, en particulier ceux du site de compostage de Samagan, Marcel Bangré, Ardiouma Ouattara, Dieudonné Ouattara et Sylvain Hylli pour nous avoir aidé pendant la période de production du compost.

Adama TRAORE, pour sa compréhension, ses multiples soutiens tout au long de notre stage.

Mes camarades de classe pour leurs soutiens et leurs apports à la réalisation de ce document.

SIGLES ET ABREVIATIONS

ADEME: Agence de l'Environnement de la Maitrise et de l'Energie

AFNOR : Association Française de Normalisation

ANATRANS : Société de Transformation de l'Anacarde

BP: Burkina Phosphate

BUNASOLS: Bureau National des Sols

C/N: Rapport Carbone sur azote

CNSL : Cashew Nut Shell Liquid

FAO: Organisation mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture

FNADE: Fédération Nationale des Activités de la Dépollution et l'Environnement

IDR: Institut du Développement Rural

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

MO: Matière Organique

PAFASP: Projet d'Appui aux Filières Agro -Sylvo-pastorales

pH: Potentiel hydrogène

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Quantité de matériaux entrant dans la fabrication des différents types de compost.....	21
Tableau 2 : Variation de la teneur en MO (%) des composts en fonction du temps	33
Tableau 3 : Variation de la teneur en carbone total (%) des composts en fonction du temps	33
Tableau 4 : Variation de la teneur en azote total (%) des composts en fonction du temps	34
Tableau 5 : Variation de la teneur en phosphore total (mg/kg) des composts en fonction du temps	35
Tableau 6 : Variation de la teneur en potassium total (mg/kg) des composts en fonction du temps.....	36
Tableau 7 : Variation du rapport C/N des composts en fonction du temps	37
Tableau 8 : Variation de la teneur en calcium total (mg/kg) des composts en fonction du temps	38
Tableau 9 : Variation de la teneur en magnésium total (mg/kg) des composts en fonction du temps ..	39
Tableau 10 : Caractéristiques chimiques des différents composts	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Résumé du processus lors d'un compostage aérobique	6
Figure 2 : Evolution théorique de la température et du pH au cours du compostage d'après Mustin (1987)	10
Figure 3: Localisation du village de Samagan	19
Figure 4: Edification de la 1ère couche du compost C1	22
Figure 5: Edification de la 1ère couche du compost C2.....	23
Figure 6: Edification de la 1ère couche du compost C3.....	23
Figure 7: Le processus de retournement.....	24
Figure 8: Evolution de la température des différents types de compost en fonction du temps	31
Figure 9 : Variation du taux d'humidité des composts en fonction du temps.....	32
Figure 10 : Evolution du pH des composts en fonction du temps	40

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1 : A- thermomètre utilisé pendant le compostage et B : Kits de compostage.....	20
Photo 2 : Point d'ancrage des tas de compost.....	22
Photo 3 : Phase de broyage et de séchage des échantillons de compost.....	26
Photo 4 : Phase de pesage et de calcination des échantillons de compost au four	27
Photo 5 : Phase de minéralisation des échantillons de compost et détermination des minéraux à l'auto-analyseur et au photomètre à flamme	28
Photo 6 : Détermination du Ca total et du Mg total au spectrophotomètre à absorption atomique.....	29
Photo 7 : Lecture du pH au pH-mètre	29

RESUME

La transformation de la mangue et de l'anacarde génèrent des quantités importantes de déchets. Ces déchets sont des sources importantes de matière organique moins onéreuses pouvant être valorisées en agriculture. Toutefois, la connaissance de la qualité chimique de ces déchets est capitale pour une utilisation optimale de ceux-ci comme amendement organique en agriculture. Pour ce faire une étude de compostage a été conduite à Samagan (Burkina Faso) dans le but de déterminer la qualité chimique de ces sous-produits en fonction des différentes compositions et du temps de compostage. Pour cela trois types de composts tous à base de résidus de mangues ont été produits. Il s'agit des composts C1 (Sciure de bois + résidus de mangue + bouse de vache), C2 (Paille d'*Andropogon gayanus* + Burkina phosphate+ compost plus+ résidus de mangue) et C3 (Pellicule d'anacarde + résidus de mangue+ bouse de vache). Cinq tas de chaque type de compost ont été édifiés au cours de l'essai. Les paramètres mesurés sur les composts étaient la température des tas de compost et les teneurs en nutriments. Pour évaluer la teneur en nutriments des différents composts, cinq (5) séries d'échantillonnage ont été effectuées. Ainsi, des échantillons de compost de chaque tas ont été prélevés à l'édification du tas de compost (0 jour), à 15 jours, 30 jours, 45 jours et à 60 jours après l'édification des tas et séchés à la température ambiante avant la détermination des teneurs en nutriments. Les résultats obtenus ont montré que la phase oxydation minéralisation des tas de composts C1 va de l'édification du tas de compost au 30^{ème} jour après le compostage suivie de la phase maturation refroidissement du 30^{ème} jour au 60^{ème} jour après compostage. Au niveau de C2 et C3, leur phase oxydation minéralisation va du 45^{ème} jour après compostage suivie de la phase de maturation refroidissement du 45^{ème} au 60^{ème} jour après compostage. Il ressort de l'étude qu'à la maturité la teneur moyenne en matière organique est plus élevée dans les composts C1 (41,20 %) et C3 (34,68 %) par rapport aux composts C2 (15,82 %). Le pH des composts C1, C2 et C3 demeuraient légèrement acide allant de 5,49 à 6,28 et leurs rapports C/N respectifs sont de 19, 14 et 15. La somme des éléments fertilisants (N+ P₂O₅ + K₂O) des tas de compost C1 (6,05 %) et C3 (6,28 %) est < 7 % sauf celle des tas C2 (7,49 %) qui est légèrement supérieure à 7%. Cela confirme que les trois types de composts ont des teneurs idéales en élément minéraux qui permettent leur utilisation comme amendement organique conformément à la norme NFU44051.

Mots clés : matière organique, amendement, phase oxydation, qualité chimique, Burkina Faso.

ABSTRACT

The processing of mango and cashew nuts generates significant quantities of waste. These wastes are important sources of organic matter that are less costly and can be used in agriculture. However, knowledge of the chemical quality of these wastes is crucial for the optimal use of these as an organic amendment in agriculture. To do this, a composting study was conducted in Samagan (Burkina Faso) to determine the chemical quality of these by-products according to the different compositions and the composting time. For this purpose three types of composts all based on mango residues were produced. These are composites C1 (sawdust + mango residues + cow dung), C2 (*Andropogon gayanus* straw + Burkina phosphate + compost plus + mango residues) and C3 (Cashew film + mango residues + dung cow). Five piles of each type of compost were built during the test. The parameters measured on the compost were the temperature of the compost piles and the nutrient contents of the compost. To evaluate the nutrient content of the different compost, five (5) sampling series were carried out. Compost samples from each pile were taken from the compost pile (0 days), 15 days, 30 days, 45 days, and 60 days after pile-up and dried at room temperature before the determination of nutrient levels. The results obtained showed that the oxidation phase mineralization of compost heaps C1 goes from the compost heap building to the 30th day after composting followed by the cooling maturation phase from the 30th day to the 60th day after composting. At the level of C2 and C3, their mineralization oxidation phase goes from the 45th day after composting followed by the cooling maturation phase from 45th to 60th day after composting. The study shows that the average organic matter content is higher in composts C1 (41.20 %) and C3 (34.68 %) compared with compost C2 (15.82 %). The pH of the C1, C2 and C3 composts remained slightly acidic ranging from 5.49 to 6.28 and their respective C / N ratios were 19, 14 and 15. The sum of the fertilizer elements (N + P₂O₅ + K₂O) Compost C1 (6.05 %) and C3 (6.28 %) is < 7 % except that of C2 piles (7.49 %) which is slightly above 7 %. This confirms that the three types of composts have ideal mineral content that allow them to be used as an organic amendment in accordance with NFU44051.

Key words: organic matter, amendment, oxidation phase, chemical quality, Burkina Faso.

INTRODUCTION

Le Burkina Faso à l'instar de tous les pays de la zone soudano-sahélienne, est confronté au problème crucial du faible niveau de fertilité des sols. En effet, l'agriculture burkinabè à caractère extensif est pratiquée sur des sols pauvres en matière organique et en éléments nutritifs assimilables par les plantes (BUNASOLS, 1985; Sérémé et Mey, 2007; Compaoré et Nanéma, 2010). A cela s'ajoutent le faible recyclage des résidus de récolte et des sous-produits agro-industriels dans les systèmes de production agricole Kiendrébéogo *et al.* (2013). Cet état de fait entraîne une dégradation physico-chimique des sols se traduisant par des faibles productivités agricoles du point de vue quantitatif et/ou qualitatif. Parmi les effets directs de la dégradation des ressources en sols, on a la stagnation, voire la diminution des rendements (Segda *et al.*, 2001; Youl *et al.*, 2011).

De ce fait, la gestion durable de la fertilité des sols devient une préoccupation pour le Burkina Faso. Des paquets technologiques pour la gestion/restauration des sols à l'échelle des parcelles et des bassins versants ont été développés mais, leur mise en œuvre est confrontée à des problèmes d'ordre socio-économiques dont la pénibilité du travail et la disponibilité de la matière à composter Roose (1993).

Par ailleurs, plusieurs études ont révélé que la restauration de la fraction organique des sols est indispensable pour le maintien de la fertilité des sols et l'amélioration de la productivité des terres (Pieri, 1989; Sedogo, 1993). Malgré son importance avérée, la production de cette matière organique en quantité et en qualité est limitée au niveau des exploitations agricoles (Lompo *et al.*, 2009). Les coûts élevés des engrais minéraux, la faible disponibilité de la matière organique et la nécessité de compenser les exportations minérales militent en faveur de la valorisation agricole d'autres substrats organiques disponibles et à faible coût par le compostage (Segda *et al.*, 2001; Useni *et al.*, 2013).

Pourtant le climat du Burkina Faso est favorable à la production de certains fruits tropicaux (Nacro *et al.*, 2009) tels que la mangue et l'anacarde qui connaissent une activité économique importante (Ouedraogo, 2002). La transformation de ces fruits conduit à une multiplication des unités de transformation de la mangue et d'anacarde dont l'exportation vers les pays de la sous-région, de l'Europe et de l'Asie constitue une source d'entrée notable de devises pour l'économie burkinabè.

La valorisation des fruits sous forme de produits séchés, concentrés, congelés génère une gamme variée de résidus présentement mal gérés conduisant à des problèmes de nuisance.

A titre indicatif l'unité de séchage de gebana afrique a produit lors de la campagne 2013 (Juin-Juillet) : 15000 kg d'épluchure de mangue, 25000 kg de mangue entière impropre au séchage et 26292 kg de pellicules d'anacarde (Zoungana, 2013). Au vu de ce qui précède, ces résidus pourraient constituer une source intéressante de fertilisant organique si un processus de compostage adéquat est mis en place. Le développement d'un processus adéquat de compostage de ces résidus agro-industriels permettra non seulement de résoudre la question de nuisance qu'ils posent dans leur environnement immédiat (Grigoras, 2012), mais aussi, il permettra de résoudre la question de compost à laquelle sont confrontés les systèmes de production agricole à base de manguiers et anacardiens.

Dans un tel contexte, la valorisation de ces résidus par le compostage est capitale pour une gestion rationnelle de ces derniers comme source de matière organique (MO). Toujours dans le souci de la durabilité, la connaissance des qualités chimiques des composts produits à base de ces déchets et le processus de dégradation ou de libération des nutriments issus de ces déchets s'avèrent nécessaires pour leur utilisation efficiente comme amendement organique en agriculture. C'est dans cette optique que l'« **Evaluation des paramètres physico-chimiques des composts à base des résidus de mangue dans le village de Samagan, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)** » a fait l'objet de la présente investigation. Elle a été réalisée dans le cadre d'un projet de partenariat privé public en collaboration avec gebana afrique.

L'objectif global assigné à cette étude était d'évaluer les paramètres physico-chimiques des composts des résidus de mangue en vue de permettre une meilleure valorisation agricole de ces résidus et de créer un cadre hygiénique autour des unités de transformation. Il s'est agi plus spécifiquement de :

- comparer l'évolution de la température des substrats au cours du processus de compostage ;
- évaluer la qualité chimique des composts produits ;
- Formuler des recommandations d'utilisation du compost produit.

Ce mémoire est subdivisé en trois parties : la première partie fait le point sur la filière mangue et la filière anacarde au Burkina Faso et traite des généralités sur le compostage, la deuxième partie décrit l'ensemble des matériel et méthodes utilisés et la troisième partie présente les résultats et discussion.

I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. La production des résidus de mangue et de l'anacarde et leur utilisation au Burkina Faso

1.1.1. La production et utilisation des résidus de mangue

Au Burkina Faso, la production fruitière est dominée par la mangue qui occupe 58 % des vergers et représente 56 % de la production fruitière nationale (PAFASP, 2011). Elle représente l'un des secteurs clés de l'économie Burkinabè. Les productions annuelles de mangues ont connu une importante évolution ces dernières années passant de 160 000 tonnes en 2009 à plus de 404 000 tonnes en 2014 (Bakouan, 2015).

La filière mangue occupe un très grand nombre d'acteurs qui sont : les producteurs, les transformateurs, les commerçants et les exportateurs. Cependant seule une faible quantité de la mangue produite est séchée ou commercialisée à l'état frais pour le marché international.

Aussi, avec la poussée des agents pathogènes, de grandes quantités de mangues pourrissent dans les principales zones de production au Burkina Faso. Parmi ces agents pathogènes, la mouche de fruit engendre des pertes de l'ordre de 30 à 100 % (Ouedraogo, 2002). A ces pertes, s'ajoutent d'importantes quantités de mangues déclassées de la transformation à l'usine pour cause d'avaries et des déchets (peau, noyau et pulpe) issus de la transformation représentant 20 à 40 % des quantités transformées. Pour une production nationale annuelle de 160 000 tonnes de mangues, en plus des pertes économiques (en amont et en aval), il se pose d'importants problèmes de nuisance et de gestion des déchets Kiendrébéogo *et al.* (2013).

En 2010 par exemple, sur 530 tonnes de mangue achetée par la coopérative agricole du Kéné Dougou (COOPAKE), environ 108 tonnes ont été avariées soit près de 30 % de pertes. Cette perte sur la matière première qui est de 5,5 millions de FCFA, va créer un manque à gagner de 12 à 13 millions de FCFA sur le bilan de la campagne Kiendrébéogo *et al.* (2013). L'unité de séchage de Gebana Afrique a produit en 2013, 15000 kg d'épluchure de mangue, 25000 kg de mangue entière impropres au séchage. La biomasse végétale accumulée constitue une source de déchets biologiques pouvant engendrer la nuisance.

1.1.2. Les modes de valorisation des déchets de la mangue

L'utilisation des sous-produits dans l'alimentation des animaux est une pratique courante, pour pallier certaines situations de carence alimentaire.

Dans la périphérie de Bobo-Dioulasso, ville située à l'Ouest du Burkina Faso, les éleveurs de porcs font recours à une gamme variée d'aliments de bétail dont ceux non conventionnels comme la mangue. L'étude de Kiendrébéogo *et al.* (2013) a montré que le séchage au soleil de provendes obtenues par mélange de déchets de mangue (peau et pulpe) et de son (absorbant) permettait de mieux valoriser ces déchets et les rendre plus disponibles pour l'alimentation des animaux d'élevage, en particulier les porcs.

Par ailleurs, la biotransformation de ces résidus de mangues constituerait donc une voie de valorisation de la production des fruits (mangues) au Burkina Faso, à travers la production de divers solvants (bioéthanol) ou de biocombustibles (biogaz, biocarburants) Somda (2012). Selon cet auteur, les résidus issus de différentes pertes et transformations industrielles sont susceptibles de servir de matières premières en biotechnologie.

1.1.3. La production et utilisation des résidus de l'anacarde

Les noix d'anacarde produisent en moyenne 21 % d'amande, 73 % de coques brutes et 6 % de pellicules (Tagutchou et Naquin, 2012).

En effet, les coques d'anacarde ligneuses représentant environ 73 % de la masse des noix brutes sont abondantes et encombrantes et constituent des déchets polluants, corrosifs, nocifs et toxiques (Tagutchou et Naquin, 2013). L'augmentation du nombre d'usines a entraîné une production abondante de ces coques. A titre d'exemple l'ANATRANS, société de transformation de noix de cajou basée à Bobo-Dioulasso dans la région des Hauts Bassins au Burkina Faso, transforme en moyenne 3000 tonnes de noix de cajou brute par an. Cela génère 2190 tonnes de coques de noix de cajou (déchets) soit 73 % de noix brute transformée et constitue une quantité énorme de déchets à évacuer Doba (2016). Les études de Godjo *et al.* (2015) révèlent qu'au Bénin 10959 tonnes de coques d'anacarde ont été produites en 2013 au sein des unités de transformation de la noix de cajou.

1.1.4. Les modes de valorisation des résidus d'anacarde

Le décorticage des coques nécessite des opérations coûteuses en énergie. Près de 95 % des noix sont exportées sous forme brute, principalement vers l'Inde, ce qui fait perdre une part importante de la valeur ajoutée que l'on aurait pu tirer de la transformation locale.

A l'échelle artisanale ou semi-industrielle, comme par exemple dans la région de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso, la réglementation interdit la combustion des coques d'anacarde dans les usines, entraînant l'usage du bois et/ou du gaz comme source d'énergie, ou le développement de filières alternatives de valorisation énergétique des coques. Aussi pour créer de la valeur ajoutée à leur activité de transformation, certaines unités de transformation telle que l'ANATRANS valorise les coques de noix de cajou par extraction du CNSL (Cashew Nut Shell Liquid) Doba (2016).

Par ailleurs dans certains pays comme le Bénin, pour faire face aux difficultés d'accès à l'énergie et de gestion des déchets issus de la transformation des noix d'anacarde, les coques stockées dans les usines de transformation sont directement utilisées comme combustibles. Elles sont ainsi brûlées dans des fours ou dans des chaudières pour fournir l'énergie nécessaire à la fragilisation des noix, l'étuvage et le séchage des amandes. Cette combustion non contrôlée génère d'importantes nuisances car l'huile, le CNSL (Cashew Nut Shell Liquid) qui est un mélange de molécules phénoliques imbibe ces coques en produisant des fumées âcres et irritantes pour les yeux (Tagutchou et Naquin, 2012). Pour pallier ce problème au Bénin des pyrolyseurs sont utilisés pour valoriser les coques d'anacarde en gaz et charbon Godjo *et al.* (2015). Les coques d'anacarde sont aussi valorisable par le compostage. C'est le cas de la recherche menée par Sakinah *et al.* (2013) qui ont montré que les coques de noix de cajou peuvent être valorisées en compost. Le temps de dégradation des coques généralement long a été réduit grâce à une technique de bio-activation en utilisant des bactéries (*Trichoderma spp* et les bactéries cellulolytiques) et un broyage des coques. Les résultats de cette étude ont montré qu'un sachet de 50 g du compost de noix cajou peut remplacer un sachet de 100 g de fumier de chèvre pour accroître les pépinières d'anacardier avant leur transplantation sur le terrain. De plus le compost enrichi de *Trichoderma spp* a révélé une influence significative pour la résistance contre l'attaque des agents pathogènes tels que la *Ridigoporus lignosus* qui cause la maladie de champignon des racines.

1.2. Généralité sur le compostage

1.2.1. Définition du compostage

Selon la FAO (2005) le compostage est un processus naturel de «dégradation» ou de décomposition de la matière organique par les micro-organismes dans des conditions bien définies. Selon la nature du processus de décomposition le compostage est subdivisé en deux catégories :

- Le compostage anaérobie où la décomposition se produit quand l'oxygène (O) est absent ou présent en quantité limitée. Dans ce processus, les micro-organismes anaérobies dominent. Les produits de la décomposition sont des composés intermédiaires comme du méthane, des acides organiques, du sulfure d'hydrogène et d'autres substances.
- Le compostage aérobie où la décomposition a lieu en présence d'un excès d'oxygène. Au cours de ce processus, les micro-organismes aérobies décomposent la matière organique et produisent du gaz carbonique (CO₂), de l'ammoniac, de l'eau, de la chaleur et de l'humus, qui est le produit organique final relativement stable.

La Figure 1 schématise le processus de compostage aérobie selon (Douma, 2013)

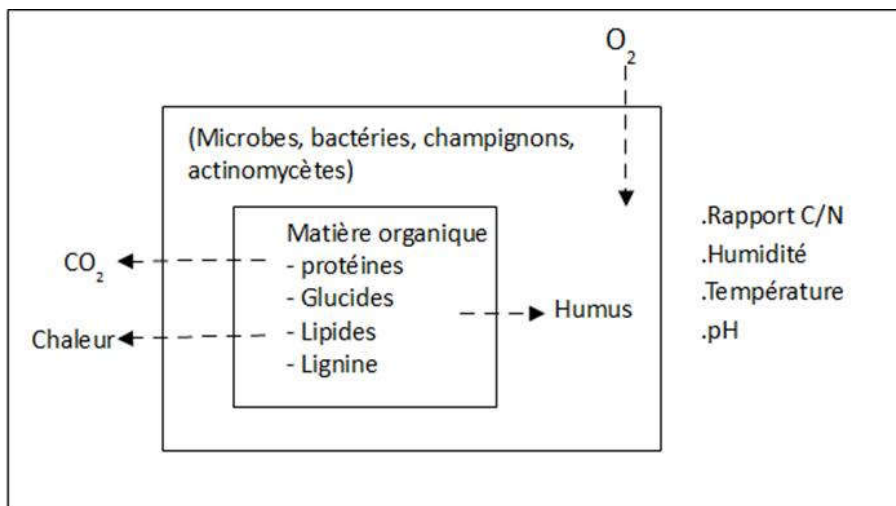


Figure 1 : Résumé du processus lors d'un compostage aérobie

Source : Itävaara *et al.* (1995) cité par Douma (2013)

1.2.2. Les facteurs de réussite du compostage aérobie

Quatre facteurs principaux concourent à la réussite du compostage: l'aération, l'humidité du produit, la température, la nature et l'état des matières à composter (Mustin, 1987 ; Znaïdi, 2002).

1.2.2.1. L'aération et l'humidité

L'aération permet d'apporter l'oxygène nécessaire pour oxyder les matières au cours de la fermentation aérobie. Ce besoin est maximal au départ et diminue progressivement au cours du temps. Si la fermentation se fait avec insuffisance d'oxygène, le compostage dégage des odeurs désagréables. C'est pourquoi il faut régulièrement retourner les tas pour les remettre en contact avec l'air et aussi ne pas trop tasser les tas pour maintenir une bonne porosité qui favorise la circulation de l'air (FAO, 2005).

L'eau est un facteur important pour l'activité des micro-organismes. Ainsi, l'humidité contenue dans les déchets mis en compostage est nécessaire à la vie des micro-organismes (Mustin, 1987). Pendant le processus du compostage, la teneur en eau peut augmenter à cause des réactions chimiques d'oxydation et de combustion, elle peut diminuer simultanément par évaporation à cause de l'augmentation de la température pendant les deux premières phases du compostage ou par l'aération (retournement). L'humidité optimale doit être comprise entre 40 et 65 % de la masse totale (Mustin, 1987; Beauchamp, 2014). Selon Willson (1989); Richard *et al.* (2002) cités par Francou (2003) le taux d'humidité optimal se situerait cependant entre 50-80 %.

1.2.2.2. La température

La température est un paramètre capital pendant le compostage. Les températures optimales étant celles qui permettent d'atteindre les objectifs recherchés : hygiénisation, dégradation rapide, évaporation de l'eau, humification (Douma, 2013). Le compostage met en œuvre deux gammes de température: mésophile et thermophile. La température idéale pour la phase initiale de compostage est de 20 à 45°C et par la suite, les organismes thermophiles ayant pris le contrôle des étapes ultérieures, une température située entre 50 et 70°C est idéale. Les températures élevées caractérisent les processus de compostage aérobie et sont les indicateurs d'une activité microbienne importante. Les pathogènes sont en général détruits à 55°C et plus, alors que le point critique d'élimination des graines d'adventices est de 62°C. Le retournement et l'aération peuvent être utilisés pour réguler la température (Albrecht, 2007).

Les valeurs maximales de température atteintes durant la phase thermophile sont déterminées par les caractéristiques du milieu (nature des matières premières, taille des particules, dimensions et conformation du tas, humidité, aération, etc.) (Godden, 1986 cité par Znaïdi, 2002).

1.2.2.3. La composition biochimique de départ

Cette composition se caractérise par deux paramètres: le pH et le rapport C/N.

L'activité des micro-organismes produit des acides organiques et du gaz carbonique qui ont tendance à acidifier la masse du compostage. Si le substrat est déjà acide au départ, un ralentissement d'évolution peut se produire. On peut y remédier par une diversification des matériaux et par un amendement calcaire ou calco-magnésien ou phosphaté. Alors le substrat de départ doit être moins acide et le pH favorable au compostage doit se situer entre 6-8 (Mustin, 1987) et 5,5 à 9 (Beauchamp, 2014).

Le rapport C/N est un autre critère pratique. Au cours du compostage, celui-ci diminue, car les matières organiques perdent plus vite leur carbone (oxydé et dégagé sous forme de gaz carbonique) que leur azote (sous forme de gaz volatile comme l'ammoniac par exemple).

Des rapports C/N compris entre 25 et 40 sont favorables au développement des micro-organismes et à une humification active (Francou, 2003; Beauchamp, 2014). C'est donc intéressant d'avoir le rapport C/N de départ élevé supérieur ou égal à 25.

1.2.3. Les différentes phases du processus de compostage

Au cours du processus de compostage, la température traduit l'activité de la succession de populations microbiennes. Son évolution permet de distinguer quatre phases (Znaïdi, 2002).

1.2.3.1. La phase mésophile

C'est la phase initiale du compostage. Les matières premières sont envahies par les microorganismes mésophiles (bactéries et champignons essentiellement), absorbant les molécules simples (sucres simples, acides aminés, alcools...) et transformant une partie des polymères (protéines, acides nucléiques, amidon, pectines, hémicellulose, cellulose,...). Leur activité engendre une montée en température (de 10-15 °C à 30-40 °C), un dégagement important de CO₂ (d'où la diminution du rapport C/N) ainsi qu'une acidification. La dégradation de la cellulose durant cette phase est responsable de plus de 75 % de la perte de poids sec.

1.2.3.2. La phase thermophile

Elle est atteinte au centre du tas à des températures élevées (de l'ordre de 60 à 70 °C pour les composts agricoles), auxquelles ne résistent que des micro-organismes thermo-tolérants ou thermophiles (arrêt de l'activité des champignons, développement des actinomycètes et des bactéries thermophiles). Les pertes en azote, minéralisé sous forme ammoniacale (NH_4^+), qui peut être volatilisé sous forme d'ammoniac (NH_3) dans certaines conditions, ainsi que l'évaporation d'eau, sont plus importantes au cours de cette phase. La libération de dioxyde de carbone (CO_2) peut entraîner à la fin des phases thermophiles, jusqu'à 50 % de perte en poids sec. Les hautes températures caractérisant la phase thermophile ne concernent que le centre du tas.

1.2.3.3. La phase de refroidissement

Elle est la phase intermédiaire entre la phase thermophile et la phase de maturation. Elle prend fin avec le retour à la température ambiante. Le milieu est colonisé de nouveau par des micro-organismes mésophiles. Ils dégradent les polymères restés intacts en phase thermophile et incorporent l'azote dans des molécules complexes.

1.2.3.4. La phase de maturation

Elle est la phase qui présente peu d'activité microbiologique mais est adaptée à la colonisation par la macrofaune, en particulier les lombrics lorsque ceux-ci sont présents dans l'environnement du tas. Les matières organiques sont stabilisées et humifiées par rapport aux matières premières mises à composter. A ce stade le pH tend à s'équilibrer vers la neutralité. Les phases initiales mésophile et thermophile, pendant lesquelles les réactions de dégradation des produits simples sont prédominantes, constituent la phase oxydative (Mustin, 1987). Par suite, la phase de refroidissement sera une phase transitive entre cette phase oxydative et la phase de maturation. La figure 2, tirée de (Mustin, 1987), présente la succession des différentes phases au cours du compostage ainsi que le comportement de la température et du pH.

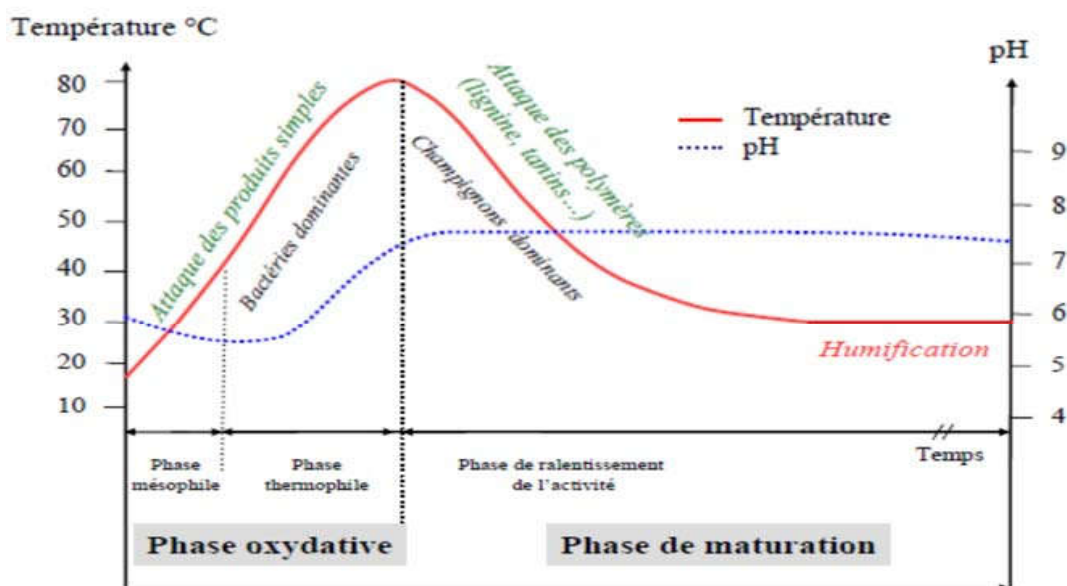


Figure 2 : Evolution théorique de la température et du pH au cours du compostage d'après Mustin (1987)

1.2.4. La microbiologie du compostage

L'évolution de la matière organique en compost est régie essentiellement par les microorganismes et leur action enzymatique. Le compostage possède à ce niveau de nombreuses similitudes avec le processus d'évolution naturel des matières organiques sur le sol mais il s'en distingue aussi par le fait essentiel que cette évolution est contrôlée pour l'orienter vers un enrichissement en matières organiques, par l'intermédiaire de certains paramètres fondamentaux.

Au cours du processus de compostage, les bactéries sont déjà présentes en grande quantité dans tous les substrats destinés à être compostés. Le processus de compostage démarre donc généralement tout seul, sauf cas particuliers de substrats stériles ou de conditions de milieu défavorables (trop sec ou trop acide). Elles oxydent les composés organiques afin de récupérer le carbone qui les compose (Franco, 2003). La prolifération de ce type de bactéries reflète de façon directe l'état d'activité du tas de compost (Albrecht, 2007).

Les champignons mycètes agissent surtout sur les matières qui résistent aux bactéries. Ils ont donc un rôle capital en tant qu'agents de décomposition. Les champignons ne résistent pas à des températures supérieures à 50 °C, ce qui explique qu'on les retrouve plus particulièrement en périphérie du compost. Ils dégradent des matières organiques complexes en substances organiques simples et en molécules inorganiques. De cette façon, le carbone, l'azote, le phosphore et d'autres constituants essentiels des organismes vivants se retrouvent libérés et disponibles pour d'autres organismes.

Les champignons du sous-groupe des actinomycètes ont une grande importance au sein du compost. Ce sont des bactéries à filaments multicellulaires qui apparaissent pendant la phase thermophile et la phase de maturation. Les actinomycètes tolèrent des pH légèrement basiques mais leur croissance est lente. Ils peuvent cependant dégrader la cellulose et la lignine tout en tolérant des températures et un pH plus élevé que les champignons. Les genres *Streptomyces* et *Nocardia* représentent plus de 90 % de leur biomasse (Mustin, 1987).

1.2.5. Les sources de matière organique valorisables en agriculture

Le compostage est recommandé avec des matières organiques végétales ou animales. On distingue à cet effet, les sous-produits animaux et végétaux et d'autres substrats utilisés pour enrichir le compost et accélérer la décomposition de la MO.

Les sous-produits animaux représentent l'ensemble des MO récupérables dans les fermes d'élevage comme le fumier, le lisier, le purin, la fiente de volaille, etc. (Segda et Bonzi, 2005). On y trouve également les MO issues des filières d'abattage et les sous-produits de la pêche.

Les résidus végétaux et agricoles regroupent l'ensemble des parties de la production végétale qui ne font pas l'objet principal de la production. Il s'agit des tiges de céréales (maïs, mil, sorgho), des résidus de battage (glumes de céréales, coque d'arachide), des copeaux et sciures de bois, des déchets agro-industriels et de certains déchets urbains. Parmi ces substrats utilisables, les pailles de céréales sont les principales sources de matières premières au Burkina Faso.

Les activateurs sont des substrats utilisés pour accélérer la décomposition de la MO et enrichir le compost. Il s'agit du compost plus, des déjections animales, des cendres et l'urée. En plus des activateurs, des substances comme le Burkina Phosphate (BP) et la dolomie sont utilisées pour enrichir le compost produit. Certains auteurs (Bado, 1985 ; Bonzi, 1989 ; Sedogo *et al.*, 1989 cités par Lompo, 1993) rapportent que l'apport de phosphates naturels en début de compostage permet d'accélérer la décomposition des substrats compostés et d'augmenter les quantités de phosphore soluble à l'eau. Les études menées sur les composts améliorés avec les cendres et la dolomie indiquent un effet favorable sur la biodégradation et la qualité de ces composts. Cela montre que ces produits enrichissent non seulement le compost final produit, mais aussi accélèrent le processus de décomposition de la matière à composter.

1.2.5.1. L'utilisation des activateurs

1.2.5.1.1. L'activateur« compost plus»

C'est un produit biologique composé d'une souche de bactérie lignivore isolée, cultivée et conditionnée sous forme de granulation dans des sachets de 2,5 kg. Il est utilisé comme inoculum lors de la transformation des résidus de culture et pour ensemercer une fosse de 9 m³ (3m x3m x1m) de dimension, un sachet de 2,5 kg est nécessaire. Ce produit aurait un effet positif sur la vitesse de décomposition des résidus de culture ainsi que sur la maturation du compost obtenu. D'après Diallo (2006), 500 g de « compost plus» permet de décomposer au bout de 2 à 3 mois une tonne de tiges de sorgho et l'utilisation de ce compost induit une amélioration de 57 % du rendement du sorgho.

1.2.5.1.2. Le fumier

Il présente des caractéristiques chimiques (Ca, Mg, K, N, C) et biochimiques très intéressantes pour le sol ce qui en fait une source de référence pour les différentes expérimentations sur la matière organique (Lompo, 1993). Cependant, sa production pose des problèmes dont la disponibilité du bétail et son intégration dans les systèmes de production. Il se pose également une difficulté liée à sa collecte et à son transport. Sa faible teneur en phosphore (reflet de la déficience des sols du pays en cet élément) est également un problème du reste mineur.

1.2.6. L'importance du compostage

Le compost comme une solution à la gestion des déchets présente un certain nombre d'avantages qui justifient sa mise en œuvre. Selon Francou (2003), le compostage permet de transformer un matériau en fin de vie, le déchet en un produit utilisable le compost dont l'intérêt premier est d'être un amendement organique permettant d'améliorer la fertilité des sols. Aussi, l'utilisation des composts en agriculture permet de lutter contre l'effet de serre additionnel en séquestrant le carbone dans le sol (Houot, 2002 cité par Francou, 2003). Cependant selon Zeman *et al.* (2002) cités par Francou (2003), cet effet positif pourrait être contrebalancé par l'émission de gaz à effet de serre durant le compostage. Le compostage en anaérobie de la filière biogaz quant à elle peut être une alternative de lutte contre l'effet de serre additionnel car étant cité par plusieurs auteurs comme un processus permettant de récolter le biogaz produit (Sedogo *et al.*, 1989; Farinet et Niang, 2005 cités par Soma, 2008). Pour Houot *et al.* (2003), les micropolluants organiques sont en partie dégradés au cours du compostage. A la fin de la maturation des composts Attrassi *et al.* (2005) cités par Albrecht

(2007), notent une disparition totale des coliformes fécaux. L'influence du compostage sur les phytopathogènes ne se limite pas à leur destruction (Larbi, 2006). Pendant ces processus, une population de microorganismes antagonistes peut s'y développer, ce qui confère au compost la capacité de protéger les plantes contre les maladies telluriques.

1.2.7. L'importance du compost dans l'amélioration des propriétés du sol

Le compostage permet une amélioration de la valeur fertilisante des résidus organiques par une réduction des masses et des volumes, une baisse du rapport C/N de la matière organique, une hygiénisation des matières initiales par la destruction des germes pathogènes et des graines de mauvaises herbes, etc, Francou (2003).

1.2.7.1. L'Effet du compost sur les propriétés physiques du sol

L'importance du compost dans l'amélioration des propriétés physiques du sol découle de ses effets positifs sur la stabilité des agrégats du sol, la capacité de rétention en eau du sol, la porosité et l'aération du sol Fuchs *et al.* (2004). Les composts livrent au sol de la matière organique plus ou moins stabilisée suivant le degré de maturité du produit. Environ la moitié du carbone organique ainsi apporté est intégrée de manière durable dans le sol et forme ce que l'on appelle l'humus stable. Grâce à cet humus, la structure du sol et sa porosité sont améliorées Larbi, (2006). Ceci influence positivement la régulation hydrique des parcelles ayant été amendées, diminue les effets de l'érosion et améliore l'aération du sol (Diabagaté, 2006 et Fuchs, 2009).

1.2.7.2. Les effets du compost sur les paramètres chimiques du sol

La plupart des essais de Fuchs *et al.* (2004) et Larbi (2006) montrent que l'application de compost en agriculture ou en horticulture a conduit à une augmentation de la teneur en carbone organique (Corg) et de l'azote total (Ntot) dans l'horizon supérieur du sol. Cette augmentation est observable pendant de nombreuses décennies, jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint. La plupart des composts ont un pH relativement élevé (8) et possèdent de grandes quantités de substances tampon (Diez et Krauss, 1997; Khale et Belau, 1998, landes *et al.* 2002 cités par Larbi, 2006). De ce fait, l'apport de compost conduit généralement à une élévation du pH des sols cultivés (Beauchamp, 2014). On observe également une augmentation du taux de saturation basique (Ca, K, Na) en rapport avec l'élévation du pH et de la capacité d'échange cationique (CEC). Cela favorise l'apport en oligoéléments essentiels

pour l'équilibre des plantes (Fuchs, 2009). Les amendements en matière organique stable augmentent le pouvoir tampon et la capacité d'échange cationique des sols (à texture sableuse, surtout à faible capacité d'absorption), deux paramètres qui conditionnent la nutrition minérale des plantes (Mustin, 1987). De plus l'incorporation de composts permet de réduire l'acidité du sol et de diminuer ainsi les risques d'exportation des métaux vers les plantes (Bolan *et al.*, 2003; Albrecht, 2007; Muladji, 2011; Kitabala *et al.*, 2016). Le compost libère également des acides organiques divers lors de la minéralisation de la matière organique qui contribuent à la solubilisation des minéraux insolubles notamment les phosphates tricalciques et augmente la mise à disposition rapide du phosphate à la plante (Mustin, 1987) d'où l'intérêt de l'addition des phosphates naturels au compostage.

1.2.7.3. Les effets du compost sur les propriétés biologiques du sol

La biologie du sol est principalement influencée de deux manières (Fuchs, 2009). D'une part, le compost livre aux microorganismes telluriques du substrat sur lequel certains peuvent se développer. Plus le compost est jeune, plus cet effet est important, les substances facilement dégradables y étant en plus grandes quantités. D'autre part, l'activité et l'équilibre microbien du sol peuvent être influencés par les microorganismes apportés par le compost (Larbi, 2006). Si le compost a été produit selon les règles de l'art, sa microflore est bénéfique, les agents pathogènes sont en effet dégradés pendant la phase thermophile du processus tandis que des agents antagonistes se développent pendant la phase de maturation. L'augmentation des teneurs en carbone et en azote du sol par apport de compost peut entraîner une prolifération des micro-organismes et une stimulation de leur activité de même que la croissance racinaire au niveau de la rhizosphère (Janssen, 1993 cité par Fuchs, 2009). De ce fait, à la mort de ces organismes du sol, leur biomasse va constituer une source d'azote et de carbone pour les plantes (Larbi, 2006). L'augmentation de la biomasse des organismes du sol par apport de compost peut améliorer la fertilité du sol à long terme.

1.2.8. Les contraintes liées au compostage au Burkina Faso

Malgré les multiples avantages du compost, de nombreuses difficultés limitent sa production. En effet, plusieurs producteurs ne réussissent pas à respecter les normes d'un bon compostage au niveau des exploitations à cause de la faible disponibilité des résidus de récolte (Lompo *et al.*, 2009). Une compétition s'opère dans l'utilisation des résidus de récoltes entre le compostage et l'alimentation du bétail ou comme sources d'énergie Somda (2010).

Sanon (2009) relève que dans les régions du Nord et de l'Est, 63 à 65 % des résidus de récolte exportés hors des champs sont utilisés dans l'alimentation du bétail et 24 % sont utilisés comme source d'énergie dans le Nord.

Toutefois, les résidus utilisés dans l'alimentation des animaux reviennent sous forme de fumier au champ mais pas forcément là où ils ont été prélevés. Cependant, la production de ce fumier pose des problèmes dont la disponibilité du bétail et son intégration dans les systèmes de production. Il se pose également une difficulté liée à sa collecte et à son transport (Lompo, 1993). Par ailleurs, la contrainte de main d'œuvre, le faible niveau d'équipements pour la confection des fosses, le retournement, l'arrosage du compost, le transport des résidus des champs vers les concessions où sont généralement construites les fosses et le besoin en eau élevé (Karambiri, 2007) rendent difficile cette production du compost. A cet effet, Somda (2010) souligne le manque d'eau pour les activités agricoles du à la mauvaise répartition des pluies dans le temps et dans l'espace. Selon Sanon (2009), cela entraîne une concurrence dans l'utilisation de l'eau entre le compostage et les usages des ménages. En outre il ya le temps de travail trop élevé du à la durée de compostage (MAHRH, 2008 cité par Sanon, 2009), la faible disponibilité et le coût élevé des activateurs (Karambiri, 2007 et Sanon, 2009).

1.2.9. La qualité du compost

Plusieurs paramètres influencent la qualité du compost (les conditions atmosphériques, la maîtrise de la technique utilisée, les conditions de développement des microorganismes, la nature et les proportions des matériaux utilisés, le degré de maturation du compost, etc.). Mais le degré de maturation du compost peut être considéré comme le principal paramètre déterminant sa qualité. Selon ADEME (2007), un bon compost est un produit dont les constituants organiques ont subi une conversion biologique en des substances moins agressives et plus stables. Les critères de la qualité d'un compost sont très importants pour une utilisation de ce dernier comme amendement et source de nutriments pour les plantes. D'après Albrecht (2007), quelques indicateurs permettent d'apprécier cette qualité.

1.2.9.1. Les paramètres physiques

Dans un bon compost, le taux d'humidité ne doit pas dépasser 50 % (Mustin, 1987).

Il doit être de couleur noire, décomposé, c'est-à-dire les particules végétales se défont à la pression des doigts; il est exempt de microorganismes pathogènes et de graines de mauvaises herbes. Un compost mûr doit avoir une température basse, granuleux, foncé et sent la terre fraîche et non l'odeur d'ammoniac (Albrecht, 2007).

1.2.9.2. Les caractéristiques chimiques classiques

L'étude de Douma (2013) montre que pour évaluer le degré de maturité du compost de nombreux travaux de recherche se basent sur les caractéristiques chimiques telles que :

1.2.9.2.1. Le pH

Les pH acides caractérisent les composts instables, donc immatures tandis que les composts mûrs sont caractérisés par des pH compris entre 7 et 9 (Albrecht, 2007). Le pH varie lors du compostage pour se stabiliser à la neutralité dans beaucoup de cas à la fin du processus. Le pH n'est pas une mesure précise pour déterminer la maturité du compost. C'est pourquoi, un pH bas peut indiquer une aération déficiente plutôt qu'un stade précis du processus. Mais, selon Albrecht (2007), le pH a été l'un des premiers indicateurs de la maturité des composts.

1.2.9.2.2. Le rapport C/N

Le rapport Carbone organique/Azote organique est généralement mesuré pour évaluer la maturité des composts. Le C/N diminue au cours du compostage, ce qui se traduit par la dégradation du carbone qui est libéré sous forme de CO₂. En fin de compostage, deux situations peuvent se présenter :

Le C/N du compost est élevé (20-15): la matière organique évoluera lentement dans le sol et la libération des minéraux sera faible, par contre le compost donnera des substrats durables qui contribueront au renforcement de la structure du sol. Un C/N important caractérise donc un compost stable à haut pouvoir amendant.

Le C/N du compost est faible (< 10) : la matière organique évoluera rapidement dans le sol et la minéralisation et l'ammonification seront optimales. Un C/N faible caractérise donc un compost instable et pauvre en composés humifères. Le C/N dans les composts est comparé au rapport C/N, proche de 10 des sols humiques (Charnay, 2005).

1.2.9.2.3. Les teneurs en éléments traces métalliques (ETM)

L'accumulation de grande teneurs en éléments traces métalliques dans les sols présente un risque de pollution à long terme. S'il n'y a pas de tri des déchets à la source, les composts produits de ces déchets peuvent contenir des teneurs importantes en ETM. La teneur des ETM dans les composts est un critère de qualité si cette dernière ne dépasse pas les normes préconisées. Certains éléments traces sont indispensables aux processus biologiques donc, à la production agricole végétale et animale : ce sont les oligoéléments (Zn, Cu, Cr, Mo, B). D'autres éléments (Cd, Pb, Ni, Hg, Sn) ne jouent aucun rôle utile. Mais, ils sont tous potentiellement polluants. Cela dépendra de leur concentration dans le milieu considéré (sols, air, eau, sédiments) mais surtout, de leur forme chimique. Les métaux des apports anthropiques sont sous des formes assez réactives (par exemple liées aux matières organiques) et entraînent éventuellement des dangers.

1.2.9.2.4. Les teneurs en éléments fertilisants des composts

La valeur agronomique des composts peut être définie comme l'aptitude des composts à améliorer la fertilité du sol. En effet, les composts sont des produits riches en matières organiques et en composés minéraux (N, P, K et oligo-éléments) susceptibles d'améliorer la fertilité du sol (Soumaré *et al.*, 2003). Plusieurs auteurs ont mis en évidence l'augmentation de la production de certaines cultures occasionnée par l'application des composts sur le sol cultivé sans ou avec d'autres engrais minéraux (Jimenez et Alvarez, 1993; N'Dayegamiye *et al.*, 1997; Mamo *et al.*, 1999 cités par Douma, 2013). La fonction des composts est comparable à celle des engrais chimiques quant à leur aspect fertilisant, en enrichissant le sol en N, P, K mais, leur principal effet est en tant qu'amendement organique, ils agissent sur la stabilité physique, biologique et chimiques des sols (Bertoldi *et al.*, 1983 cités par Douma, 2013). Les composts sont des sources d'éléments minéraux comme le phosphore, le potassium, le magnésium, et le calcium et ils peuvent tous être apportés par le compost de déchets urbains (Charnay, 2005 ; Douma, 2013).

1.2.9.3. Les paramètres biologiques : Test respirométrique

Les méthodes respirométriques reposent sur le principe selon lequel, un compost enfin de maturation présente une activité réduite qui peut être mesurée soit par sa consommation en oxygène soit par sa production de dioxyde de carbone. Cette activité respiratoire des micro-organismes présents dans le compost dans des conditions spécifiques d'incubation (humidité, température) est évaluée par le test respirométrique. D'après (Charnay, 2005), un compost non mûr a une demande en oxygène (O₂) et un taux de production de dioxyde de carbone (CO₂) importants, dus à une intense activité microbienne provoquée par la biodégradabilité du substrat.

1.2.9.4. La phytotoxicité

Les tests de phyto-toxicité sont des tests de germination et de croissance (Hirai *et al.*, 1986; Garcia *et al.*, 1992 ; Helfrich *et al.*, 1998 ; Wu *et al.*, 2000 cités par Douma, 2013). Ces tests sont réalisés sur des cultures sensibles (maïs, tomate, laitue, cresson...etc.). Les tests de germination et les tests de croissance s'avèrent nécessaires pour l'évaluation de la toxicité.

Les composts mûrs ne doivent pas présenter de substances empêchant la germination des graines et la croissance des plantes. L'acide acétique est probablement l'acide organique libéré par les composts immatures, le plus préjudiciable bien qu'il existe également d'autres composés (acétaldéhyde, éthanol, acétone, éthylène, etc.) contribuant aux effets phytotoxiques (Jimenez et Garcia, 1989 cités par Douma, 2013). Des concentrations élevées en sels et la libération d'acide sont également corrélées à l'inhibition de la germination et de la croissance. Un indice de germination (IG) de 50 % et un taux de germination de plus de 50 % sont reconnus comme étant ceux d'un compost sans effet phytotoxique (Chikae *et al.*, 2007 cités par Douma, 2013).

II. PRESENTATION DU SITE DE COMPOSTAGE ET METHODOLOGIE

2.1. Présentation du site de compostage

La production du compost a été réalisée à Samagan, dont les coordonnées géographiques sont : la latitude est de 12°31' 881'' nord et la longitude est de 03°50'792'' ouest. Le village de Samagan est situé à une dizaine de kilomètres de la ville de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo Dioulasso-Orodara (Burkina Faso).

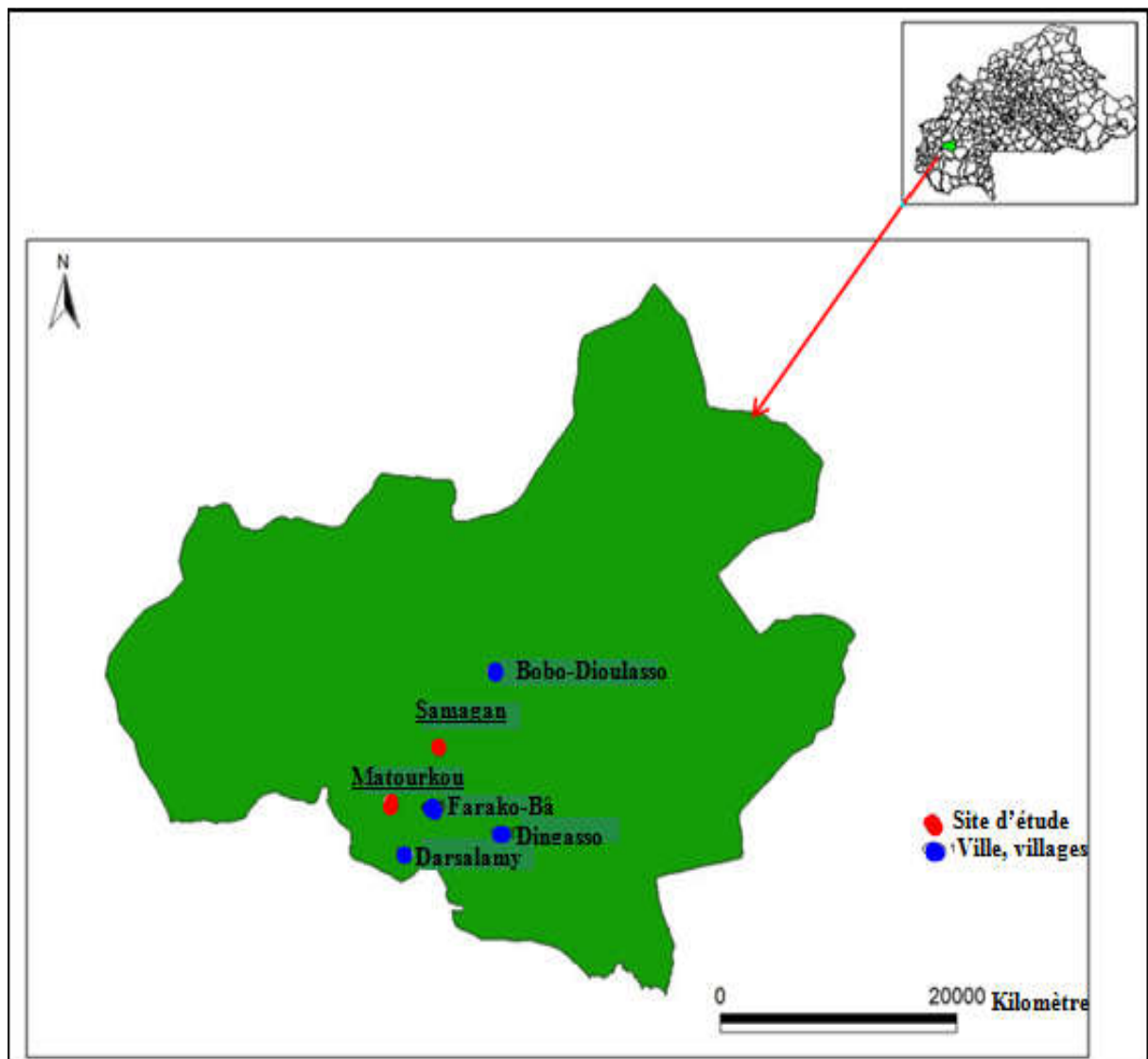


Figure 3: Localisation du village de Samagan

2.2. Matériel

2.2.1. Le principal matériel de compostage

Le matériel principal à composter était les résidus de mangue constitués des épluchures de mangue, des noyaux de mangue et des mangues avariées au séchage. Ils proviennent de l'unité de séchage de gebana afrique. En fonction du type de compost, des éléments structurants ont été utilisés. Il s'agit des pellicules d'anacarde, de copeaux de bois, et de la paille d'*Andropogon gayanus*. Les pellicules d'anacarde ont été obtenues à partir du blanchiment des amandes d'anacarde dans l'unité de séchage de gebana afrique. Pour ce qui est des sciures de bois et de la paille d'*Andropogon gayanus*, elles ont été respectivement collectées chez les menuisiers en ville, et fauchées à Samagan.

2.2.2. Les activateurs et produits améliorants du compost

En fonction du tas de compost, l'un des activateurs « compost plus » ou la bouse de vache ont été utilisés comme inoculum pour le compostage des substrats. Afin d'améliorer la valeur agronomique du compost final, le Burkina Phosphate a été utilisé sur certains tas.

2.2.3. Matériel de mesure

Pour les prises de température des composts, le thermomètre à compost a été utilisé. Il en est de même pour la bascule, des brouettes pour mesurer les différentes quantités des substrats.

En plus de ce matériel de mesures, les outils de creusage tels que les pelles, râteaux et pioches ont été utilisés pour creuser les points d'ancrage et la vidange des fosses (Photo 1)



Photo 1 : A- thermomètre utilisé pendant le compostage et B : Kits de compostage

2.3. Méthodologie

2.3.1. Mise en fosse des résidus de mangue avant le compostage

Les résidus de mangues obtenus immédiatement après épluchage étaient trop humides pour être compostés directement. C'est pourquoi nous avons mis ces résidus de mangue dans deux fosses de 60 m³ (10m * 6m * 1m) afin d'ajuster la teneur en eau avant le processus de compostage. Environ douze tonnes de résidus de mangue ont été mis en fosse.

2.3.2. La préparation des matériaux avant l'édification du tas

Cette opération a pour but de faciliter l'accès des substrats organiques aux micro-organismes et le démarrage rapide pour une décomposition de la matière organique. Pour ce faire, les pailles d'*Andropogon gayanus* ont été découpées en morceau de 15 cm pour faciliter la décomposition. Par ailleurs les 100 kg du Burkina Phosphate ont été divisés en trois fractions de 33,33 kg chacune et les 2,5 kg de l'activer compost plus ont été divisés en trois fractions de 0,83 kg chacune. Les points d'ancrage n'ont pas été humidifiés compte tenu de la période à laquelle les activités de compostage ont débuté vu que le compostage a eu lieu en période sèche.

2.3.3. Les matériaux entrant dans la composition du compost

La technique de compostage effectuée est le compostage en tas. Trois types de tas de composts (C) différenciés par les substrats de départ ont été édifiés. Le tableau 1 résume la quantité de matériaux entrant dans la fabrication des différents types de compost.

Tableau 1 : Quantité de matériaux entrant dans la fabrication des différents types de compost

Type de compost	Quantité de substrat(kg)						
	Résidus de mangue	Pellicule d'anacarde	Sciure de bois	Compost plus	Burkina phosphate	Paille d' <i>Andropogon gayanus</i>	Fumier
Compost C1	2280	0	1152	0	0	0	900
Compost C2	2280	0	0	2,5	100	3	0
Compost C3	2280	900	0	0	0	0	900

C1 : Sciure de bois + résidus de mangues + bouse de vache comme activateur

C2 : paille + Burkina Phosphate (BP) + l'activer compost plus+ résidus de mangues

C3 : pellicule d'anacarde+ résidus de mangues + bouse de vache comme activateur.

2.3.3.1. Edification des tas de compost

Chaque type de compost a été produit cinq fois avec 60 jours de durée de compostage et quatre retournements périodiques effectués toutes les deux semaines. Chaque tas a été édifié en trois couches dans un point d'ancrage de 3m de long, 3m de large sur une hauteur de 0,5 m (photo 2). Les quantités de substrats mesurés ont été estimées par nombre de brouette.



Photo 2 : Point d'ancrage des tas de compost

La composition de départ de chaque type de compost est résumée dans les Figures 4, 5 et 6

Edification des tas de compost 1 (C1)

Le mélange est constitué de 30 % de sciure de bois + 50 % de résidus de mangue +20 % de la bouse de vache dans lequel 1152 kg de sciure de bois disposés en trois couches de 384 kg sont appliqués, 2280 kg de résidus de mangue disposés en trois couches de 760 kg sont appliqués et 900 kg de la bouse de vache disposés en trois couches de 300 kg sont appliqués (figure 4).

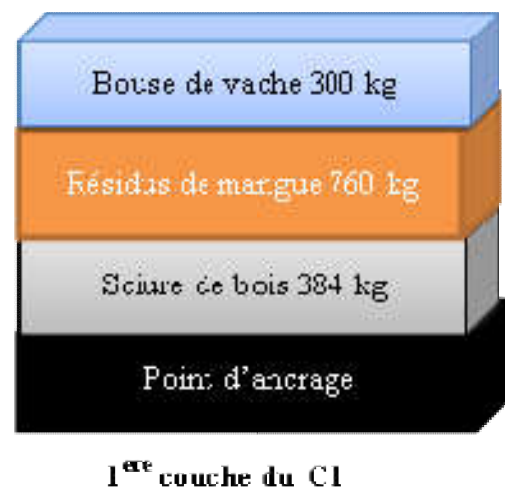


Figure 4: Edification de la 1ère couche du compost C1

Edification des tas de compost 2(C2) :

Le mélange est constitué de 20 % de la paille d'*Andropogon gayanus* + 30 % (de BP et du compost plus) +50 % de résidus de mangue dans lequel 3 kg de la paille d'*Andropogon gayanus* ont été disposés en trois couches de 1 kg. Ensuite 100 kg de Burkina phosphate et 2,5 kg de compost plus ont été disposés (épanché) respectivement en trois couches de 33,33 kg et 0,83 kg suivi d'un arrosage. Et 2280 kg de résidus de mangue disposés en trois couches de 760 kg ont été appliqués. (figure 5)

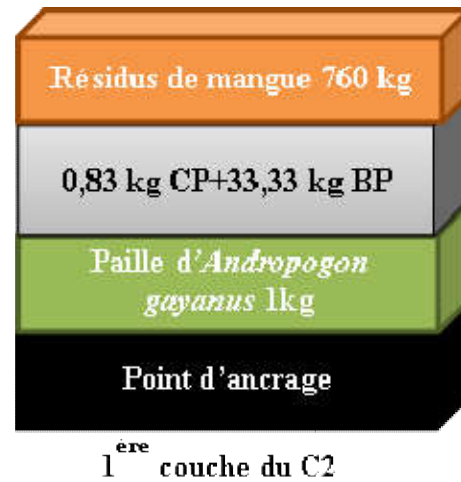


Figure 5: Edification de la 1ère couche du compost C2

Edification des tas de compost 3 (C3)

Le mélange est constitué de 25 % de pellicule d'anacarde + 50 % de résidus de mangue +25 % de la bouse de vache dans lequel 900 kg de pellicules d'anacarde disposés en trois couches de 300 kg sont appliqués, 2280 kg de résidus de mangue disposés en trois couches de 760 kg sont appliqués et 900 kg de la bouse de vache disposés en trois couches de 300 kg sont appliqués (figure 6).

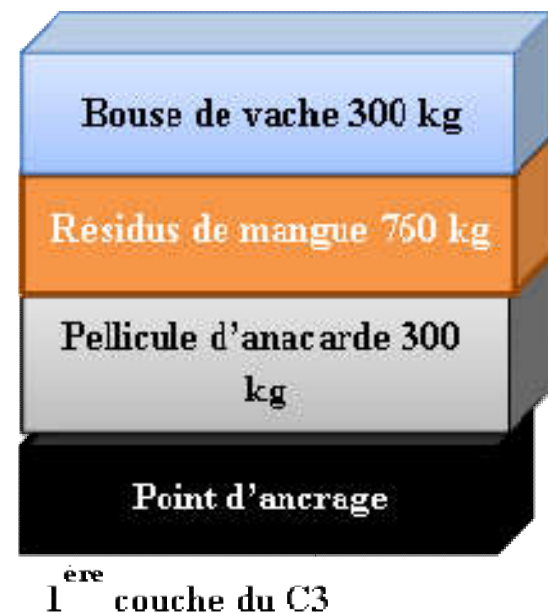


Figure 6: Edification de la 1ère couche du compost C3

Ensuite les tas ont été enveloppés avec des sachets plastiques afin de les protéger contre la pluie, éviter les pertes excessives de chaleur pour accélérer la décomposition.

2.3.4. L'apport d'eau

Les composts n'ont pas reçu de grande quantité d'eau au départ vu la teneur en eau des résidus de mangue qui était environ de 90 %. Ce taux d'humidité n'est pas ce qui est recommandé pour le compostage qui doit être compris entre 50 % et 60 % (Mustin, 1987; FNADE, 2002; Guene, 2002). Les quantités d'eau apportées au départ ont été déterminées par

pression des déchets pendant l'humidification. Si les déchets mouillent légèrement la main sans couler, on considère que la teneur en eau des déchets est bonne pour le compostage (Sangaré, 1993; Guene, 2002). Durant le processus de compostage quatre barriques de 200 L ont été apportées cinq fois soit au total 4000 L d'eau. Pour ce faire les tas étaient arrosés au besoin.

2.3.5. Le retournement des tas

Quatre retournements ont été effectués toutes les deux semaines (14 jours). Cette opération permet de mélanger intimement les substrats, de vérifier l'aération et l'humidité. De plus il a pour objectif de favoriser une décomposition homogène de l'ensemble du tas et consiste en un transfert de la masse à composte de telle sorte que les parties supérieures du tas reviennent en bas (Figure 7).

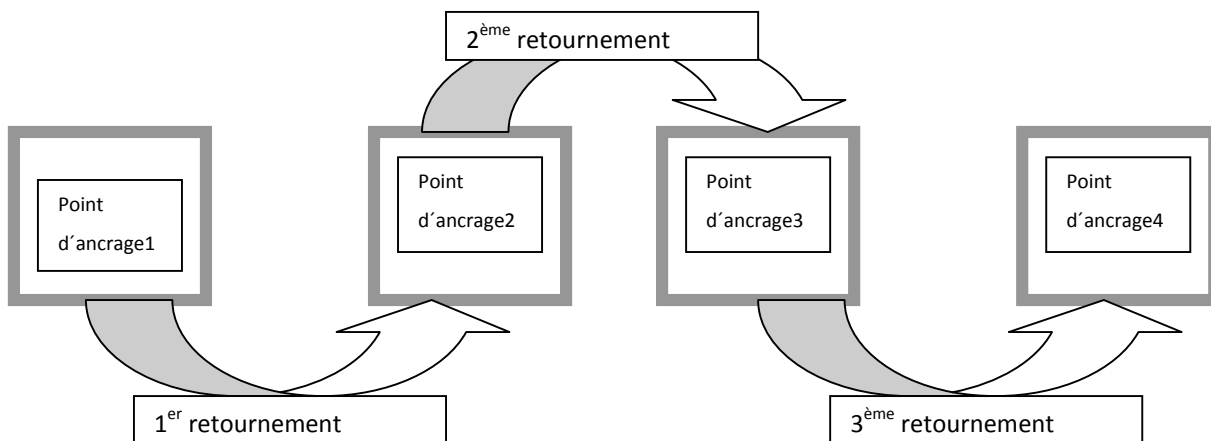


Figure 7: Le processus de retournement

2.3.6. La collecte des données sur les différents types de compost

2.3.6.1. La variation de la température

La température de chaque tas de compost a été mesurée chaque jour durant les quinze premiers jours de compostage et à chaque retournement durant tout le processus de compostage avec un thermomètre à compost de 80 cm de longueur, introduit complètement des différents côtés du tas de compost (six fois au total pour avoir la moyenne de la température).

2.3.6.2. L'évaluation de la valeur fertilisante des composts

L'évaluation a consisté à déterminer la variation des paramètres chimiques des composts. Ces paramètres considérés étaient : la variation de la teneur en azote total, en matière organique, en carbone total, le rapport C/N, le phosphore total, le potassium total, le calcium total, le magnésium total et le pH.

Ces paramètres ont été déterminés sur des échantillons de compost à 0 jour, 15 jours, 30 jours, 45 jours et 60 jours après édification des tas de compost.

2.3.7. La détermination des paramètres physico-chimiques

2.3.7.1. Le taux d'humidité des composts à l'état sec

Le taux d'humidité est déterminé par la méthode gravimétrique qui consiste à faire passer les échantillons de compost dans une étuve à 105°C pendant 24 heures. Avant le passage à l'étuve, le poids des cuvettes vides et le poids des cuvettes plus l'échantillon de compost ont été pesés. Après le séchage et le refroidissement sous vide, le poids des cuvettes plus l'échantillon séché à 105°C ont été pesés de nouveau. Le taux d'humidité est déterminé par la formule suivante :

$$H (\%) = \frac{P2 - P3}{P3 - P1} \times 100$$

P1 : Le poids de la cuvette vide en gramme

P2 : Le poids de la cuvette et de l'échantillons de compost en gramme

P3 : Le poids de la cuvette et poids de l'échantillons de compost séché à 105°C en gramme

2.3.7.2. La valeur agronomique des composts

Les analyses chimiques des composts ont été réalisées sur des échantillons composites à partir des prélèvements faits sur quatre points différents de chaque tas de compost à 0 jours, 15 jours, 30 jours 45 jours et 60 jours après compostage Cette disposition a été prise pour augmenter la représentativité de l'échantillon compte tenu de l'hétérogénéité surtout avant les premiers retournements de la masse de matières organiques. Au total 45 échantillons de compost ont été prélevés. Après le prélèvement, les échantillons de compost mis dans des pots en plastique ont été séchés au laboratoire (photo 5). Ils ont ensuite été conditionnés dans les sachets bien étiquetés et envoyés pour les analyses chimiques au Bureau National des Sols (BUNASOLS).

2.3.7.2.1. La préparation des échantillons

La préparation des échantillons a consisté en un broyage suivi du tamisage afin d'obtenir des échantillons homogènes dont la tailles des constituants est de 0,5 mm pour les analyses (photo 3).



A-Broyage des échantillons de compost



B-Séchage des échantillons de compost

Photo 3 : Phase de broyage et de séchage des échantillons de compost

2.3.7.2.2. La détermination du taux de matière organique

Le taux de matière organique est déterminé par la méthode de dosage de carbone des composts par voie sèche (BUNASOLS, 1987). Elle consiste à calciner les échantillons de compost à 500°C dans un four de marque « Eurotherm GLM 3 » pendant 3 heures (photo 4). Avant calcination, le poids de la coupole vide et le poids de la coupole plus les échantillons de compost ont été pesés. Après calcination le poids de la coupole et de l'échantillon de composts calciné ont été pesés de nouveau.

Ainsi le taux de matière organique est déterminé par la formule suivante :

$$\text{MO}(\%) = \left[\frac{(\text{PC+E}) - \text{P}_{500^\circ\text{C}}}{(\text{PC+E}) - \text{PC}_v} \right] \times 100$$

Avec:

MO : Matière organique

PC+E : Poids de la coupole et de l'échantillon

P_{500°C} : Poids de la coupole et de l'échantillon après calcination au four à 500°C

PC_v : Poids de la coupole vide



A-Pesage des échantillons de compost



B-Calcination des échantillons de compost

Photo 4 : Phase de pesage et de calcination des échantillons de compost au four

2.3.7.2.3. La détermination du carbone total contenu dans les différents échantillons

A partir de la proportion de matière organique ainsi déterminée, on calcule le pourcentage de carbone contenu dans les différents échantillons par la formule suivante :

$$C (\%) = \left[\frac{(PC+E) - P_{500^{\circ}C}}{(PC+E) - PC_V} \times 100 \right] \times \frac{1}{1,724}$$

2.3.7.2.4. La détermination de l'azote total, du phosphore total et du potassium total

Les échantillons de compost ont été soumis à une minéralisation avec l'acide H_2SO_4 – Se et l'acide salicylique ($C_7H_6O_3$) en présence de peroxyde (H_2O_2) selon la méthode de Kjeldhal (BUNASOLS, 1987). Pour ce faire du sélénium, un catalyseur a été dissous dans l'acide sulfurique (H_2SO_4) pour avoir une solution mixte H_2SO_4 – Se dans laquelle l'acide salicylique ($C_7H_6O_3$) a été dissous. Ensuite 5mL de la solution du mélange H_2SO_4 -Se- $C_7H_6O_3$ a été versé dans les tubes à minéralisation de 75mL contenant chacun 0,5g de compost. Après agitation, les tubes ont été placés dans le bloc à minéralisation.

La température a été portée à $100^\circ C$ pendant une heure trente, à $250^\circ C$ pendant deux heures avec ajout de peroxyde dans chaque tube et à $340^\circ C$ pendant deux heures quarante minutes (photo 5 : phase de minéralisation). Après minéralisation complète, le volume a été complété à 75mL. L'azote total et le phosphore total ont été déterminés directement à l'auto-analyseur (Photo 5).

Le potassium total a été déterminé dans le même minéralisât à l'aide du photomètre à flamme, « Model 410 Flamephotometer » (photo 5).

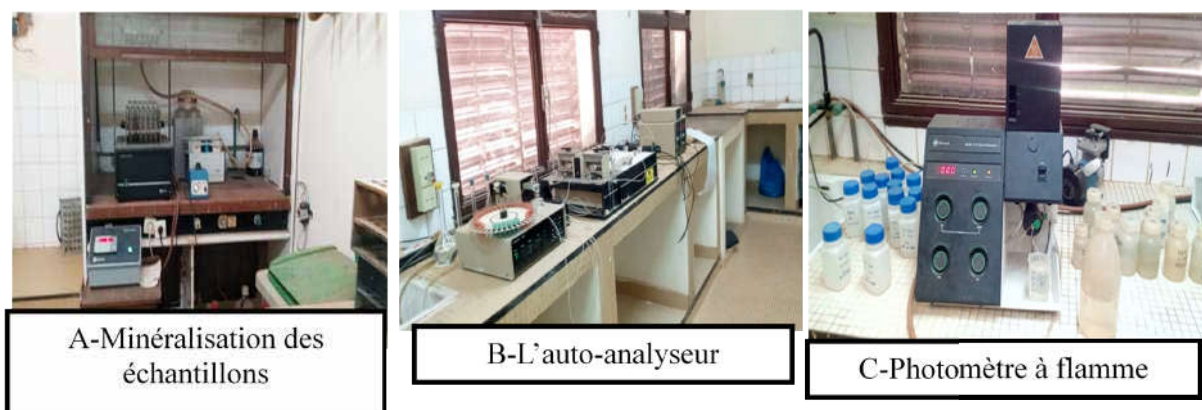


Photo 5 : Phase de minéralisation des échantillons de compost et détermination des minéraux à l'auto-analyseur et au photomètre à flamme

2.3.7.2.5. La détermination du rapport C/N

Le rapport C/N est établi par le carbone total contenu dans les différents échantillons sur l'azote total obtenu par la méthode de Kjeldahl (BUNASOLS, 1987).

2.3.7.2.6. La détermination du calcium total et du magnésium total

Les éléments totaux, calcium total et magnésium total (Ca total et Mg total) ont été déterminés dans le même minéralisât, $H_2SO_4-Se-C_7H_6O_3$ en utilisant le spectrophotomètre à absorption atomique de marque Perkin Elmer « PinAAcle 900H ». Pour ce faire, les échantillons de compost préalablement mis en solution ont été pulvérisés dans une flamme qui provoque le retour à l'état fondamental des atomes présents dans les échantillons (photo 6).



Photo 6 : Détermination du Ca total et du Mg total au spectrophotomètre à absorption atomique

2.3.7.2.7. La mesure du pH

Le pH eau est déterminé à l'aide d'un pH-mètre (photo 7). Le rapport compost/eau distillée est de 1/2,5. Le principe consiste à peser 10 g de compost avec ajout de 25mL d'eau distillée puis le mélange est agité pendant une heure et mis au repos pendant 30mn. Enfin la lecture se fait à l'aide d'un pH-mètre électronique.



Photo 7 : Lecture du pH au pH-mètre

2.3.8. Analyse statistique

Le logiciel Excel 2010 a été utilisé pour la saisie et l'organisation des données ainsi que la réalisation des graphiques. L'analyse des données a été réalisée avec le logiciel XLSTAT version 2015.4.01.33368. Les moyennes ont été comparées avec les tests de Student-Newman Keuls au seuil de 5 %.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Les paramètres physiques des composts

3.1.1.1. Evolution de la température des composts en fonction du temps

La figure 8 donne l'évolution de la température moyenne des tas de compost C1, C2 et C3 au cours du processus du compostage. Elle montre deux tendances majeures de la température indifféremment des tas de compost. Ces tendances correspondraient respectivement aux phases oxydation et minéralisation caractérisées par la croissance de la température et la maturation refroidissement caractérisée par une baisse continue de la température.

Pour les tas de compost C1, la phase oxydation et minéralisation a duré 30 jours après compostage, et la température a varié de 35,45°C à 38,8°C. Quant à sa phase de maturation refroidissement, elle est caractérisée par une diminution de la température qui est observée à partir du 30^{ième} jour au 60^{ième} jour après compostage.

La phase oxydation minéralisation des tas de compost C2 et C3 a durée 45 jours après compostage. Au cours de cette phase, leur température a augmenté respectivement de (35,23°C à 36,8°C) pour les tas de compost C1 et (35,55°C à 39,71°C) pour les tas de compost C3. Leur phase de maturation refroidissement va du 45^{ième} au 60^{ième} jour après compostage où la température va de 36,8°C à 33,73°C dans les tas C2 et de 39,71°C à 36,38°C dans le tas de compost C3.

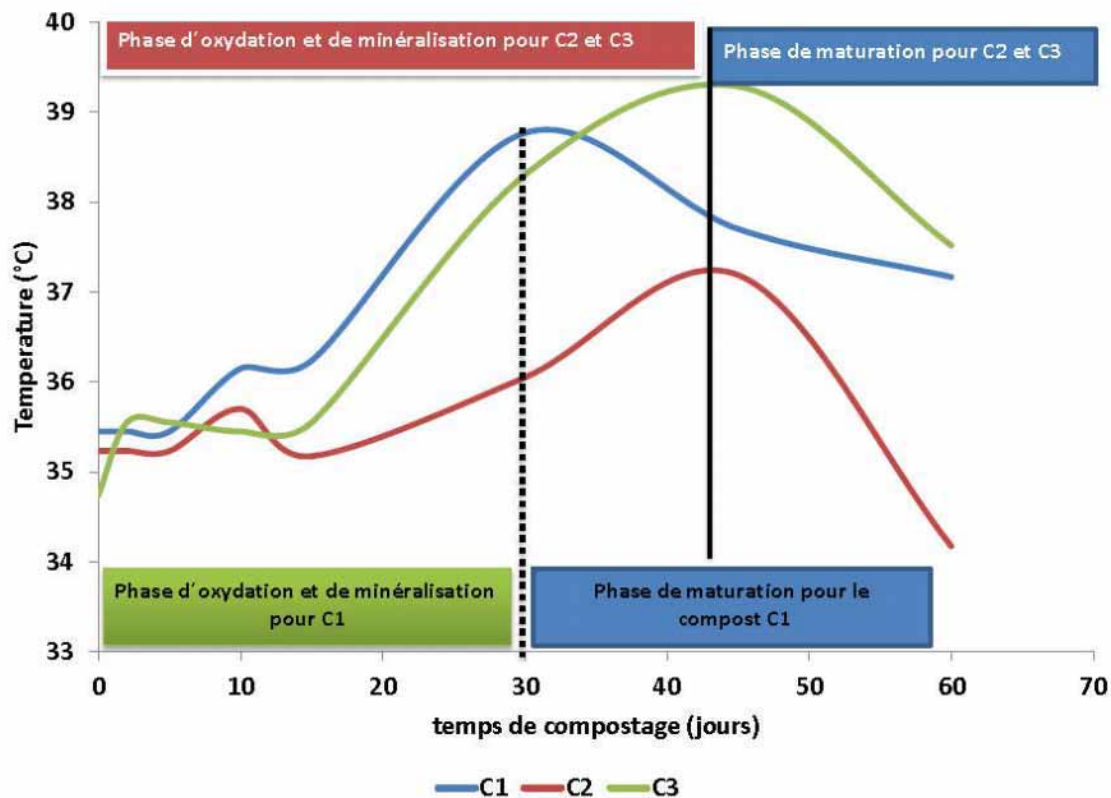


Figure 8: Evolution de la température des différents types de compost en fonction du temps

3.1.1.2. Variation du taux d'humidité des composts à l'état sec

La figure 9 illustre l'évolution du taux d'humidité à l'état sec des composts en fonction des temps de compostage.

Au 1^{er} jour de l'édification des tas de compost, le substrat C2 avait un taux d'humidité significativement faible (1,65 %) à $p = 0,003$ par rapport aux substrats C1 et C3 qui ne différaient pas significativement au regard de leur taux d'humidité respectif qui était de 4,25 % et 3,75 %. La même tendance a été observée du 15^{ème} au 30^{ème} jour après compostage. Le 45^{ème} jour après compostage est marquée par des variations non significatives du taux d'humidité des tas de compost C1, C2 et C3 à $p = 3,087$. A maturité, le substrat C2 avait significativement le taux d'humidité le plus faible (0,90 %) à $p = 0,001$ par rapport aux substrats C1 et C3 qui avaient les mêmes tendances avec des valeurs presque similaires (2,54 % et 2,50 %).

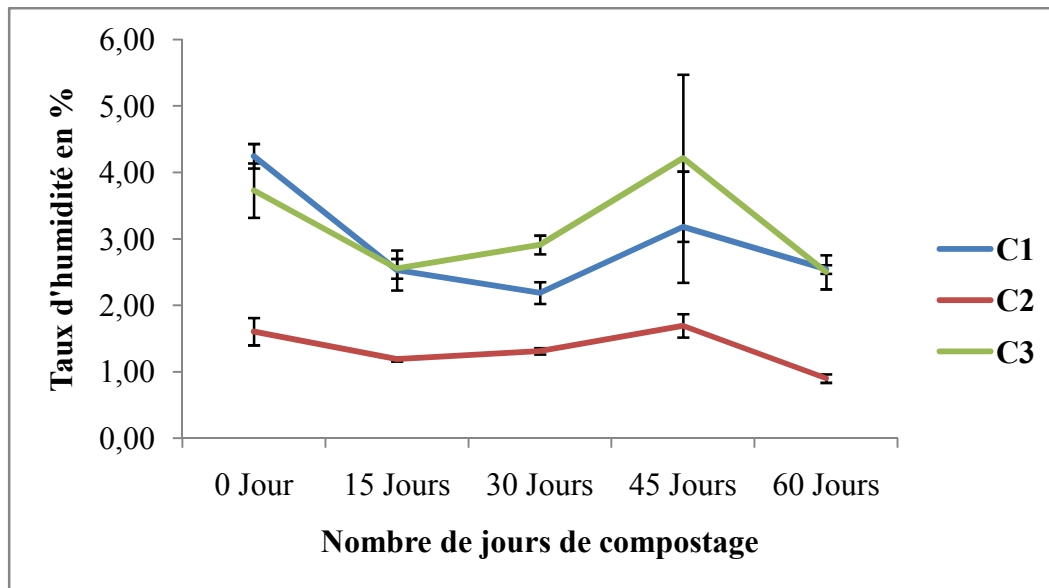


Figure 9 : Variation du taux d'humidité des composts en fonction du temps

3.1.2. Les paramètres chimiques des composts

3.1.2.1. Evolution de la teneur en MO et du carbone total des composts en fonction du temps.

Les tableaux 2 et 3 donnent la variation des teneurs en matière organique et en carbone total des trois types de compost en fonction du temps de compostage.

Les échantillons issus des différents tas de compost juste après l'édification de ceux-ci montrent que le substrat C1 (sciure de bois + résidus de mangue + bouse de vache) a la plus forte teneur en MO et en carbone total. Il est suivi par le substrat C3 (pellicules d'anacarde + résidus de mangue + bouses de vache). Malgré la tendance élevée de la teneur en matière organique et en carbone dans le substrat C1 et C3, aucune différence significative n'a été observée entre ces deux substrats (C1 et C3). C2 (paille d'*Andropogon gayanus* + compost plus + BP + résidus de mangue) avait une teneur en matière organique et en carbone total respectivement de 24,25 % et 14,07 %, significativement bas ($p = 0,008$) que les teneurs en MO et carbone total enregistrées en C1 (48,51 % et 28,14 %) et C3 (41,19 % et 23,89 %).

Du 15^{ème} au 45^{ème} jour, malgré les tendances élevées de la teneur en MO et en carbone total dans les composts C1 suivis de C3 et C2, aucune variation significative n'a été observée ($p = 0,15$ au 15^{ème} jour ; $p = 0,074$ au 45^{ème} jour).

A maturité, (du 45^{ème} au 60^{ème} jour) la teneur en matière organique et en carbone total étaient significativement faibles dans les composts C2 ($p = 0,002$). C1 et C3 ne différaient pas

significativement malgré la tendance élevée de la teneur en matière organique et en carbone total dans les tas de compost C1.

Tableau 2 : Variation de la teneur en MO (%) des composts en fonction du temps

Temps de compostage	Type de compost			Valeur de F	Probabilité	Signification
	C1	C2	C3			
0 Jour	48,51 ^a	24,25 ^b	41,19 ^a	11,855	0,008	HS
15 Jours	38,24 ^a	24,32 ^a	35,32 ^a	2,659	0,149	NS
30 Jours	36,40 ^a	25,29 ^a	34,68 ^a	3,85	0,084	NS
45 Jours	35,55 ^a	25,50 ^a	31,79 ^a	4,153	0,074	NS
60 Jours	41,2 ^a	15,82 ^b	34,60 ^a	21,002	0,002	HS

HS : Hautement significatif, NS : Non significatif.

NB : les valeurs marquées par une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student Newman Keuls au seuil de 5 %. Ceci est valable pour la suite du document.

Tableau 3 : Variation de la teneur en carbone total (%) des composts en fonction du temps

Temps de compostage	Type de compost			Valeur de F	Probabilité	Signification
	C1	C2	C3			
0 jour	28,14 ^a	14,07 ^b	23,89 ^a	11,855	0,008	HS
15 Jours	22,18 ^a	14,11 ^a	20,49 ^a	2,659	0,149	NS
30 jours	21,11 ^a	20,11 ^a	14,67 ^a	3,85	0,084	NS
45 Jours	20,62 ^a	14,79 ^a	18,44 ^a	4,153	0,074	NS
60 Jours	23,9 ^a	20,07 ^b	9,17 ^b	21,002	0,002	HS

HS : Hautement significatif, NS : Non significatif

3.1.2.2. Evolution de la teneur en azote total

Le tableau 4 donne la variation de la teneur en azote total des différents composts en fonction du temps de compostage.

Les échantillons issus des différents tas de compost montrent que le substrat C1 (sciure de bois + résidus de mangue + bouse de vache) a la plus forte teneur en azote total de 1,76 % suivi du substrat C3 (pellicules d'anacarde + résidus de mangue+ bouses de vache) qui a une teneur en azote de 1,36 %. Ensuite vient le substrat C2 (paille d'*Andropogon gayanus* + compost plus + BP + résidus de mangue) qui a une teneur en azote total faible de 0,81 %. Ainsi, l'analyse statistique montre une différence hautement significative entre les substrats ($p = 0,001$) au 1^{er} jour de l'édification des tas de compost.

Le 15^{ème} jour après compostage est caractérisé par des variations non significatives des teneurs en azote total malgré les tendances observées ($p = 0,355$). Pendant que, des variations significatives ont été observées entre le 30^{ème} et le 45^{ème} jour après compostage, $p = 0,011$, la même tendance continue pendant la phase de maturation refroidissement du compost (45^{ème} aux 60^{ème} jours), $p = 0,003$.

Tableau 4 : Variation de la teneur en azote total (%) des composts en fonction du temps

Temps de compostage	Type de compost			Valeur de		
	C1	C2	C3	F	Probabilité	Signification
0 Jour	1,76 ^a	0,81 ^c	1,36 ^b	27,75	0,001	HS
15 Jours	1,08 ^a	0,90 ^a	1,13 ^a	1,235	0,355	NS
30 Jours	1,04 ^a	0,72 ^b	1,31 ^a	10,583	0,011	S
45 Jours	1,04 ^a	0,72 ^b	1,13 ^a	22,333	0,002	HS
60 Jours	1,31	0,63 ^b	1,31 ^a	18,75	0,003	HS

HS : Hautement significatif, NS : Non significatif, S : Significatif

3.1.2.3. Variation de la teneur en phosphore total

Le tableau 5 donne la variation des teneurs en phosphore total (P_2O_5 total) des différents tas de composts en fonction du temps de compostage.

Les échantillons issus des différents tas de compost montrent que le 1^{er} jour de compostage est caractérisé par des variations significatives des teneurs en P_2O_5 total avec les tendances observées à $p = 0,005$ où le substrat C2 (paille d'*Andropogon gayanus*+ compost plus + BP + résidus de mangue) avait la plus forte teneur en P_2O_5 total (721,35 mg/kg) par rapport aux tas de compost C1 (sciure de bois + résidus de mangues + bouse de vache) et C3 (pellicules d'anacarde + résidus de mangue+ bouses de vache) qui avaient respectivement 412,2 mg/kg et 199,23 mg/kg de P_2O_5 total.

Le 15^{ème} jour après compostage est caractérisé par des variations non significatives de la teneur en P_2O_5 total des différents tas de composts à $p = 0,074$. Bien que des variations significatives aient été observées du 30^{ème} au 45^{ème} jour après compostage ($p = 0,036$), la même tendance continue durant le 45^{ème} au 60^{ème} jour après compostage ($p = 0,032$).

Tableau 5 : Variation de la teneur en phosphore total (mg/kg) des composts en fonction du temps

Temps de compostage	Type de compost			Valeur de F	Probabilité	Signification
	C1	C2	C3			
0 Jour	412,2 ^b	721,35 ^a	119,23 ^b	14,555	0,005	HS
15 Jours	212,97 ^a	528,99 ^a	116,79 ^a	4,14	0,074	NS
30 Jours	164,88 ^b	405,33 ^a	130,53 ^b	12,284	0,008	HS
45 Jours	144,27 ^b	370,98 ^a	116,79 ^b	6,124	0,036	S
60 Jours	164,88 ^b	370,98 ^a	109,98 ^b	6,439	0,032	S

HS : Hautement significatif, NS : Non significatif, S : Significatif

3.1.2.4. Variation de la teneur en potassium total

Le tableau 6 donne la variation de la teneur en potassium total (K₂O total) des tas de compost en fonction du temps de compostage.

Au 1^{er} jour de l'édification des tas de compost, la teneur en K₂O total des tas de compost C1, C2 et C3 diffèrent significativement ($p = 0,001$). Les tas de compost C1 (sciure de bois + résidus de mangue + bouse de vache) et C3 (pellicules d'anacarde + résidus de mangue + bouses de vache) avaient une teneur plus élevée en K₂O total respectivement de 781,24 mg/kg et 643,38 mg/kg par rapport aux tas de compost C2 (paille d'*Andropogon gayanus* + compost plus + BP + résidus de mangue) qui avaient une teneur de 544,90 mg/kg de K₂O total.

Du 15^{ème} au 30^{ème} jour après compostage, l'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre les substrats C1, C2 et C3 ($p = 0,326$ et $p = 0,056$) bien que les tas C1, C2 et C3 aient des teneurs respectives de 341,38 mg/kg; 354,51 mg/kg et 518,64 mg/kg de K₂O total.

Au 45^{ème} jour après compostage, le tas C3 avait une teneur en K₂O total plus élevée 400,47 mg/kg ($p = 0,0001$). Il est suivi des tas C1 et C2 qui avaient une teneur respectivement de 328,25 mg/kg et 256,04 mg/kg de K₂O total. L'analyse statistique montre une différence significative entre les substrats C1 et C2.

A maturité, le tas de compost C3 avait la plus forte teneur en K₂O total (387,34 mg/kg) suivit des tas C2 (315,12 mg/kg) et C1 (308,56 mg/kg). Malgré ces différences de valeur, l'analyse statistique ($p = 0,086$) ne montre aucune différence significative entre ces substrats à 60 jours.

Tableau 6 : Variation de la teneur en potassium total (mg/kg) des composts en fonction du temps

Temps de compostage	Type de compost			Valeur de F	Probabilité	Signification
	C1	C2	C3			
0 Jour	781,24 ^a	544,90 ^b	643,38 ^{ab}	5,945	0,038	S
15 Jours	433,30 ^a	393,90 ^a	466,12 ^a	1,358	0,326	NS
30 Jours	341,38 ^a	354,51 ^a	518,64 ^a	4,85	0,056	NS
45 Jours	256,04 ^c	328,25 ^b	400,47 ^a	45,375	0	HS
60 Jours	308,56 ^a	315,12 ^a	387,34 ^a	3,8	0,086	NS

HS : Hautement significatif, NS : Non significatif, S : Significatif

3.1.2.5. Variation du rapport C/N des différents types de compost

Le tableau 7 donne la variation du rapport C/N des différents types de compost au cours du processus du compostage.

Les échantillons issus de l'édification des tas de compost montrent que les tas de compost C1 (sciure de bois + résidus de mangue + bouse de vache) et C3 (pellicules d'anacarde + résidus de mangue+ bouses de vache) ont un rapport C/N respectif de 17 et 18 comparativement à ceux du substrat C2 (paille d'*Andropogon gayanus* + compost plus + BP + résidus de mangue) qui a un rapport C/N de 16. Malgré la tendance élevée du rapport C/N dans le substrat C1 (17), le substrat C3 (18) et le substrat C2 (16), aucune différence significative n'a été observée entre ces trois substrats C1, C2 et C3 ($p = 0,839$) au 1^{er} jour.

Le 15^{ème} jour après compostage est marqué par des variations significatives du rapport C/N des différents composts à $p = 0,023$ où le substrat C1 (sciure de bois + résidus de mangue + bouse de vache) a un C/N de 20. Il est suivi du substrat C3 (pellicules d'anacarde + résidus de mangue+ bouses de vache) et C2 (paille d'*Andropogon gayanus* + compost plus + BP + résidus de mangue) qui ont un C/N respectif de 18 et 16.

Du 30 au 60^{ème} jour après compostage, on note une légère diminution du rapport C/N dans tous les substrats. Cependant, le substrat C1 a le rapport C/N le plus élevé 19 par rapport aux substrats C3 et C2 qui ont respectivement un rapport C/N de 15 et 14. Malgré les tendances élevées des substrats C1, C2 et C3 aucune différence n'a été observée entre les tas de compost au 60^{ème} jour ($p = 0,171$).

Tableau 7 : Variation du rapport C/N des composts en fonction du temps

Temps de compostage	Type de compost			Valeur de		
	C1	C2	C3	F	Probabilité	Signification
0 Jour	17 ^a	16 ^a	18 ^a	0,18	0,839	NS
15 Jours	20 ^a	15 ^b	18 ^{ab}	7,53	0,023	S
30 Jours	20 ^a	20 ^a	16 ^a	3,861	0,084	NS
45 Jours	20 ^a	20 ^a	16 ^a	2,691	0,147	NS
60 Jours	19 ^a	14 ^a	15 ^a	2,409	0,171	NS

NS : Non significatif, S : Significatif

3.1.2.6. Variation de la teneur en calcium total

Le tableau 8 relatif à la variation de la teneur en calcium total (Ca total) des composts montre une diminution de la teneur en Ca total des différents composts tout au long du processus de compostage.

Les échantillons issus de l'édification des tas de compost C1, C2 et C3 au 1^{er} jour de compostage montrent que le tas de compost C2 avait une teneur en calcium total (Ca total) 10538,51 mg/kg significativement plus élevée ($P = 0,003$). Il est suivi du tas de compost C1 qui avait une teneur en Ca total élevée (6273,06 mg/kg) par rapport au tas de compost C3 dont la teneur en Ca total était de 2832,15 mg/kg. L'analyse statistique montre une différence significative entre les tas C1 et C3.

Du 15^{ème} au 45^{ème} jour après compostage, il y a une diminution de la teneur en Ca total des différents composts mais le substrat C2 a une concentration significativement élevée en Ca total de 6871,97 mg/kg ($p = 0,005$). Ensuite vient les substrats C3 et C1 qui ne diffèrent pas significativement malgré la teneur en Ca total du tas C3 (3262,22 mg/kg) plus élevée que celle du tas C1 (2494,08 mg/kg).

Au 60^{ème} jour après compostage, l'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre les substrats C2, C1 et C3 bien que la teneur en Ca total du substrat C2 (5142,62 mg/kg) soit élevée par rapport aux substrats C1 (2694,35 mg/kg) et C3 (2578,12 mg/kg).

Tableau 8 : Variation de la teneur en calcium total (mg/kg) des composts en fonction du temps

Temps de compostage	Type de compost			Valeur de F	Probabilité	Signification
	C1	C2	C3			
0 Jour	6273,06 ^b	10538,80 ^a	2832,15 ^c	16,85	0,003	HS
15 Jours	3402,29 ^b	10939,80 ^a	2731,45 ^b	35,93	0	HS
30 Jours	2645,13 ^b	6665,27 ^a	2921,87 ^b	14	0,005	HS
45 Jours	2494,08 ^b	6871,97 ^a	3262,22 ^b	14,58	0,005	HS
60 Jours	2694,35 ^a	5142,62 ^a	2578,12 ^a	3,107	0,119	NS

HS : Hautement significatif, NS : Non significatif

3.1.2.7. Variation de la teneur en magnésium total des différents composts

La variation de la teneur en magnésium total (Mg total) des différents composts en fonction du temps de compostage est donnée par le tableau 9.

Les échantillons issus de l'édification des différents substrats montrent qu'au 1^{er} jour de compostage les substrats C1 et C3 avaient la plus forte concentration en Mg total (476,59 mg/kg, pour le tas C1 et 432,57 mg/kg pour le tas C3) par rapport au tas de compost C2 (320,52 mg/kg). Malgré les tendances élevées, l'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre les substrats C1, C2 et C3 ($p = 0,437$).

Au 15^{ème} jour après compostage, le substrat C2 avait une teneur en Mg total significativement faible (215,74 mg/kg) à $p = 0,001$ tandis que les substrats C1 et C3 qui avaient respectivement des teneurs moyennes en Mg total élevées (386 mg/kg et 371,45 mg/kg) ne diffèrent pas significativement.

Du 30^{ème} au 45^{ème} jour après compostage bien que, la teneur en Mg total du compost C3 (417,29 mg/kg) était significativement élevée ($p = 0,002$), l'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre les substrats C1 et C2 au regard de leur teneur respective en Mg total qui était de 228,47 mg/kg et 187,73 mg/kg.

Au 60^{ème} jour après compostage, c'est-à-dire à la maturation, le substrat C3 avait une teneur en Mg total significativement élevée (363,81 mg/kg) à $p = 0,022$. Ensuite vient le substrat C1 qui a une teneur élevée en Mg total (211,01 mg/kg) par rapport au substrat C2 (124,42 mg/kg). Malgré les tendances élevées des substrats C1 et C2, l'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre eux.

Tableau 9 : Variation de la teneur en magnésium total (mg/kg) des composts en fonction du temps

Temps de compostage	Type de compost			Valeur de F	Probabilité	Signification
	C1	C2	C3			
0 Jour	476,59 ^a	320,52 ^a	432,57 ^a	0,952	0,437	NS
15 Jours	386 ^a	215,74 ^b	371,45 ^a	32,62	0,001	HS
30 Jours	222,29 ^b	187,73 ^b	473,31 ^a	49,83	0	HS
45 Jours	228,47 ^b	187,73 ^b	417,29 ^a	23,2	0,002	HS
60 Jours	211,01 ^b	124,42 ^b	363,81 ^a	7,69	0,022	S

HS : Hautement significatif, NS : Non significatif, S : Significatif

3.1.2.7. Variation du pH eau des composts

La figure 9 décrit l'évolution du pH eau des différents composts au cours du processus de compostage.

L'allure générale de la courbe d'évolution du pH des différents substrats montre une légère diminution du pH tout au long du processus de production du compost. La valeur initiale du pH des tas C1, C2 et C3 était compris entre 6,16 et 6,56. Malgré les tendances faibles, l'analyse statistique montre une différence significative entre les substrats C1, C2 et C3 ($p = 0,012$) au 1^{er} jour de l'édification des tas de compost.

Au 15^{ème} jour après compostage, l'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre les substrats C1 (5,87), C2 (6) et C3 (6,28) à $p = 0,111$.

Du 30^{ème} au 60 jour après compostage, le substrat C2 avait un pH eau (5,49) significativement faible à $p = 0,028$. Cependant l'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre les tas de compost C1 et C3 au regard de leur pH eau respectif qui était de 6,14 et 6,28 à 60 jours.

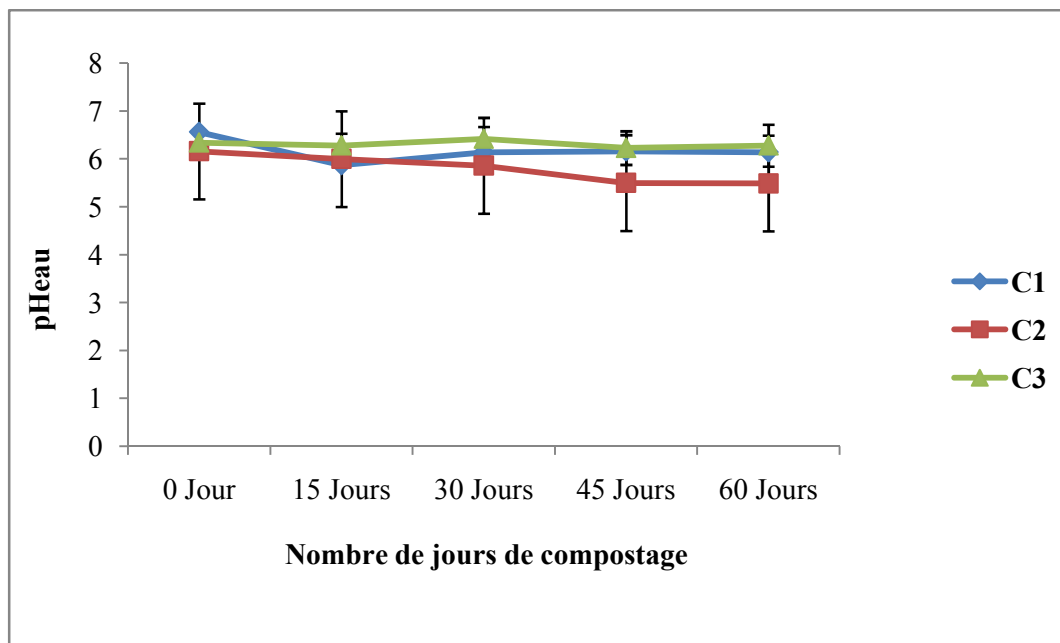


Figure 10 : Evolution du pH des composts en fonction du temps

3.1.3. Classification des composts obtenus et leurs comparaisons aux normes internationales

Tableau 10 : Caractéristiques chimiques des différents composts

Caractéristiques chimiques	C1	C2	C3	Norme	
				NF U 44051	Norme AFNOR
pH	6,14(2)	5,49 (3)	6,28 (1)		
MO (%)	41,20 (1)	15,82 (3)	34,60 (2)	≥20%	> 5%
C (%)	23,90 (1)	9,17 (3)	20,07 (2)		
N(%)	1,31 (1)	0,63 (2)	1,31 (1)	< 3%	> 0,25 %
C/N	19 (1)	14 (3)	15 (2)	< 20	< 20
P ₂ O ₅ total (%)	1,65 (2)	3,71 (1)	1,10(3)	< 3%	
K ₂ O total (%)	3,09 (3)	3,15 (2)	3,87 (1)	< 3%	> 1%
Ca total (%)	2,69 (2)	5,14 (1)	2,58 (3)		
Mg total (%)	0,21 (2)	0,12 (3)	0,36 (1)		

NB : les chiffres entre parenthèse indiquent le classement des composts selon leur teneur en éléments minéraux.

Le tableau 10 montre que le tas de compost C1 est classé le 1^{er} pour les teneurs en (MO, carbone total, en azote total et son rapport C/N) et le 2^{ème} en ce qui concerne le pH eau, le P₂O₅ total, le Ca total et le Mg total. Le tas de compost C3 semble le plus intéressant pour son pH eau, sa teneur en MO, en carbone total, azote total, P₂O₅ total et en Mg total. Le tas de compost C2 est classé en 3^{ème} position en ce qui concerne son pH eau, son rapport C/N, sa faible teneur en MO, Carbone total, azote total, et le K₂O total mais demeure le plus riche en P₂O₅ total et en Ca total. Le compost C2 a une teneur en MO qui est en accord avec la teneur de MO préconisée par la Norme NFU44051 tant que les composts C1 et C3 ont des teneurs en MO qui dépassent celle-ci. Hormis la teneur en K₂O total (> 3 %), les différents composts ont des teneurs idéales en azote total, en P₂O₅ total conformes aux normes NFU44051 et AFNOR.

3.2. Discussion

3.2.1. Les paramètres physiques

Nos résultats ont montré que la phase oxydation minéralisation des substrats C1 a duré 30 jours après compostage et celle des substrats C2 et C3 a duré 45 jours après compostage. Au début de cette phase, la température des différents substrats C1 (35,45°C), C2 (35,23°C) et C3 (35,55°C) étaient proche de la température de l'air ambiant. Cela veut dire que l'activité des micro-organismes dans les différents tas de compost n'avait pas encore bien débuté. En rapport avec les résultats des études effectuées sur le compostage, (Mustin, 1987; Attrassi *et al.*, 2005; Compaoré *et al.*, 2010; Sall, 2014) rapportent qu'au cours de cette phase, il y a une augmentation rapide de la température causée par l'activité microbienne liée à la dégradation des matières organiques facilement dégradables (sucres simples, amidon, protéines) par les microorganismes. Ces températures faibles observées dans notre étude s'expliqueraient par la nature des matériaux de départ en particulier les résidus de mangue qui ont une forte teneur en eau d'une part et d'autre part cela pourrait s'expliquer par l'absence ou l'insuffisance de matières organiques facilement dégradables dans les substrats utilisés dans la présente étude. Aussi, le taux d'humidité élevé du principal produit (épluchure+ mangues avariées) pourrait expliquer la faible activité microbienne ayant conduit à une augmentation non sensible de la température pendant cette phase. Sall (2014) au cours de son étude de compostage sur des fruits et légumes périmés expliquait la difficulté de composter ces matériaux à cause de leur teneur en eau qui était comprise entre 70 % et 90 %.

A la fin de cette phase, la température moyenne des tas de composts était en dessous de 40°C. Ces températures sont similaires à celles (41,18°C ± 11,18°C et 37,61°C ± 9,85°C) obtenues par Sall (2014) lors du compostage des fruits et légumes périmés avec l'utilisation de la paille de soja et des écorces comme des matériaux structurants. Elles sont aussi similaires à celles obtenues par Belaïb (2012). Guene (2002) note qu'au cours de cette phase, la température moyenne des tas de compost reste en dessous de 40°C pendant les périodes fraîches et se maintient à plus de 40°C pendant les périodes chaudes. La phase oxydation minéralisation courte des tas de compost C1 qui est de 30 jours par rapport à celle des substrats C2 et C3 qui a duré 45 jours s'expliquerait par le fait que l'activité des micro-organismes contenus le substrat C1 (sciure de bois + résidus de mangue + bouse de vache) a démarré plus vite par rapport à celle des micro-organismes contenus dans les substrats C2 (paille d'*Andropogon gayanus* + compost plus + BP + résidus de mangue) et C3 (pellicule d'anacarde +résidus de mangue + Bouse de vache). La hausse de la température des tas C1 (38,8°C) et C3 (39,71°C) pourrait être attribuée par leur richesse en carbone et leur volume. Aussi comme rapporté par (Godden, 1986 cité par Znaïdi, 2002) la production de chaleur par les microorganismes est proportionnelle à la masse du tas or le tas des composts C1 et C3 ont été les plus volumineux. De plus, la faible température du tas C2 (36,8°C) par rapport aux tas de compost C1 (38,8°C) et C3 (39,71°C) pendant cette phase peut s'expliquer par le fait que le tas C2 contenant la paille dont la quantité n'était pas trop élevée, le BP et le compost plus a dû présenter un manque de porosité et d'aération nécessaire pour le développement des microorganismes contenus dans le compost plus. Ce phénomène est expliqué par les travaux de (Kuala et Aldine, 2004 cités par Douma, 2013) qui ont montré que le développement microbien est réduit par une saturation des espaces interstitiels et qu'un étouffement des micro-organismes est provoqué avec des teneurs en eau élevées. Le bon niveau de décomposition du substrat malgré la faible augmentation de température pourrait aussi s'expliquer par le fait que l'inoculum contenu dans l'activateur compost plus est à mesure de décomposer les substrats organiques à des températures basses dans des conditions d'humidité élevées ou d'aération faible.

La phase de refroidissement et de maturation des composts est observée avec le retour de la température des différents composts à la température de l'air ambiant. Cela est dû à l'arrêt de l'activité des micro-organismes dans les tas de compost. Cette baisse de température peut être expliquée par un ralentissement de l'activité des microorganismes dû à l'épuisement des matières organiques facilement dégradables (Souidi, 2001; Compaoré et Nanema, 2010).

Les fluctuations du taux d'humidité observées au niveau des tas de compost C1, C2 et C3 depuis la phase oxydation minéralisation et à la phase de maturation pourraient être dues d'une part à la présence des microorganismes aérobies et d'autre part à l'hétérogénéité et à la qualité des substrats originaux qui constituent les tas de compost C1, C2 et C3. En effet, par leur respiration, les microorganismes vont épuiser l'oxygène de la masse en compostage et rendre le milieu anaérobie d'où une élévation de température pendant la phase oxydation minéralisation. Le taux d'humidité aurait alors tendance à diminuer sous l'action conjuguée de la montée de température et l'aération due au retournement qui entraîne des pertes d'eau sous forme de vapeur (Compaoré et Nanema, 2010). Le taux d'humidité plus élevé dans le tas de compost C1 et C3 est probablement dû à la présence de sciure de bois et des pellicules d'anacarde.

3.2.2. Les paramètres chimiques des composts

3.2.2.1. Evolution de la matière organique (MO) des composts

La variation de la teneur en carbone total dans les différents composts étant déduite à partir de la teneur en matière organique, ce paramètre n'a pas fait l'objet de discussion.

Pour ce qui est de la teneur en MO des composts, nos résultats ont montré qu'au 1^{er} jour de l'édification des tas, les substrats C1, C2 et C3 étaient riches en MO. La forte teneur en MO des tas C1 (48,51 %) et C3 (41,10 %) par rapport au substrat C2 (24,25 %) serait certainement liée à la nature des matériaux utilisés au cours du compostage. Il s'agit de l'utilisation respective des sciures de bois et des pellicules d'anacarde comme matériaux structurants dans les tas de compost C1 et C3 par rapport à l'utilisation de la paille d'*Andropogon gayanus* dans le tas de compost C2. Aussi, la décomposition de la paille d'*Andropogon gayanus* serait plus rapide que celle des sciures de bois et des pellicules d'anacarde.

Du 15^{ème} au 45^{ème} jour de compostage, il ya une légère diminution des teneurs en MO des tas de compost. Cela s'expliquerait par la minéralisation de la matière organique indice montrant que le processus de compostage suit une bonne tendance. En effet, l'activité intense des micro-organismes entraînent la dégradation de la MO qui aboutit à la libération des minéraux, du CO₂ et de l'eau (Mustin, 1987). Indifféremment du type de compost, les résultats montrent une perte en poids des tas de compost C1, C2 et C3 après 60 jours de compostage correspondant à la minéralisation de la matière organique telle que expliquée plus haut. Cependant, la minéralisation dans les tas de compost C1 et C3 étaient moins accentuées

comparativement au C2. En effet, les valeurs de la MO étaient de 41,20 % en C1 et 34,60 % en C3 tandis que C2 n'avait que 15,82 % de M.O. Ces résultats sont similaires avec ceux obtenus par INERIS (2012) et Sall (2014) concernant le compostage des déchets ménagers fermentescibles collectés séparément ou triés et le compostage des fruits et légumes périmés. En effet Mustin, (1987) explique la perte en poids des déchets lors des compostages par la décomposition de la MO de ces déchets. Dans nos conditions d'étude, la faible teneur de la MO du tas de compost C2 (15,82 %) s'expliquerait par la dose du BP et du compost plus utilisée qui ont induit une perte en poids. Le compost plus et le BP ont donc amélioré la décomposition des substrats en présence comparativement à la bouse de vache. Lompo (1993) explique qu'en présence du BP il y a une baisse du taux de carbone des composts qui est en rapport avec les pertes de matière sèche en cours de compostage. En plus du fait que le compost plus et le BP améliorent la décomposition du substrat en présence, la nature du substrat pourrait expliquer les teneurs élevées de M.O dans les tas de compost C1 et C3. En effet, les sciures de bois et des pellicules d'anacarde ont peut-être une teneur en lignine, une molécule récalcitrante à la décomposition plus élevée que la paille d'*Andropogon gayanus*. En effet, la lignine est un bio-polymère difficilement biodégradable constitué d'un assemblage de trois types d'unités phénylpropanoïdes reliés entre elles par différents types de liaisons C-C, et éther oxydes. Selon cette théorie, la lignine est incomplètement utilisée par les microorganismes et son résidu devient la partie constituante de l'humus du sol (Belaïb, 2012).

3.2.2.2. Les teneurs en éléments minéraux des composts

La décomposition de la matière organique dépend en grande partie de l'équilibre entre la teneur en carbone et celle en azote dans la pile en compostage donc du rapport C/N. Étant un constituant essentiel des cellules microbiennes, l'azote participe à la croissance des microorganismes et à la dégradation de la matière organique (Fortin, 1982 cité par Sall, 2014). Pour ce qui est de la teneur en azote total des substrats compostés, la teneur élevée en azote total des tas de compost C1 (sciure de bois +résidus de mangues +bouse de vache) et C3 (pellicule d'anacarde + résidus de mangues +bouse de vache) qui sont respectivement de 1,76 % et 1,36 % au 1^{er} jour de compostage pourrait être liée aux caractéristiques biochimiques de la bouse de vache utilisée (Lompo, 1993). La faible teneur en azote total du tas de compost C2 (paille d'*Andropogon gayanus* + compost plus + BP + résidus de mangues) qui est de 0,81 % s'expliquerait par la pauvreté de la paille d'*Andropogon gayanus* et du BP en azote. A la phase oxydative, la teneur en azote total des différents tas de compost ne diffèrent pas à cause de l'activité des micro-organismes dans les tas de compost qui entraînent une diminution de

l'azote total des substrats C1, C2 et C3. A maturité, la teneur en azote total dans les tas de composts C1 (1,31 %) et C3 (1,31 %) est plus élevée que celle du tas de compost C2 (0,63 %). Ces teneurs en azote total sont similaires à celles ($1,56 \pm 0,15$ % et $1,2 \pm 0,13$ %) obtenues par Sall (2014) lors de son expérimentation sur le compostage des fruits et légumes périmés en combinaison avec la paille de soja et des écorces. De pareils résultats ont été aussi obtenus par Dakuo *et al.* (2011) sur le compostage des tiges de cotonnier et par INERIS (2012) sur les déchets fermentescibles. Ces fortes teneurs en azote total des tas C1 et C3 seraient probablement dues à l'apport de la bouse de vache qui présente une caractéristique biochimique très intéressante. Lompo (1993) et Segda *et al.* (2001) expliquent l'utilisation de la bouse de vache comme une source de référence pour les différentes expérimentations sur la matière organique à cause de ses caractéristiques chimiques (Ca, Mg, K, N, C) et biochimiques très intéressantes pour le sol. Diabagaté (2006) a aussi montré que les fèces des animaux sont des matières évoluées et riches en azote. La faible teneur en azote des tas de compost C1 s'expliquerait par le fait que, l'azote étant une source d'énergie pour les activités des micro-organismes. En effet, l'activité intense des micro-organismes dans les tas de compost C2 ayant conduit à une faible teneur en M.O comparativement aux tas C1 et C3 aurait eu comme source d'énergie l'azote libéré dans les tas de compost C2 et c'est ce qui expliquerait cette faible teneur en azote au niveau de ces tas.

Hormis l'azote, le phosphore constitue un élément essentiel résultant de la décomposition de la matière organique. Au début du compostage, la teneur élevée en P_2O_5 total du tas de compost C2 (721,31 mg/kg) par rapport aux substrats C1 (412,2 mg/kg) et C3 (199,23 mg/kg) s'expliquerait par l'apport du BP qui a une teneur élevée en phosphore soluble (Lompo, 1993). Pendant la phase thermophile, on a observé une diminution de la teneur en phosphore total des composts C1, C2 et C3 suite à l'activité des micro-organismes. A maturité, les teneurs en phosphore total des tas de composts C2 (370,98 mg/kg) sont nettement supérieures à celles des tas de compost C1 (164,88 mg/kg) et C3 (109,92 mg/kg) Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Segda *et al.* (2001); Ngaordoum (2007); Compaoré et Nanema (2010) au cours de leurs activités de compostage respectives sur la paille de riz, les pailles de maïs et sur les déchets ménagers avec adjonction du BP. La forte teneur en P_2O_5 total du tas de compost C2 serait due probablement à l'ajout du BP dans les substrats C2. Lompo (1993); Compaoré *et al.* (2010) justifient cela par le fait que l'apport de phosphate naturel accroît davantage les teneurs de phosphore total et ce dû à l'action des anions organiques (citrate et oxalate) provenant de la décomposition de la MO à partir d'un certain degré d'humification. La faible teneur en P_2O_5 total des tas de compost C1 et C3 serait liée à la nature des matériaux

utilisés dans ces derniers. D'ailleurs, Gagnon et Simard (1999); Gopal et Shankar (2011) cités par Sall (2014) ont démontré que la valeur nutritive en phosphore des composts frais dépendait surtout des sources de matériaux qui constituent la recette.

Un troisième élément découlant de la minéralisation de la matière organique reste le potassium, très présent dans les fruits. Nos résultats ont montré que les substrats C1, C2 et C3 étaient riches en K₂O total. Mais la forte teneur en K₂O total des tas C1 (781,24 mg/kg) et C3 (643,38 mg/kg) par rapport au substrat C2 (544,90 mg/kg) au 1^{er} jour de l'édification des tas de compost s'expliquerait par la nature des matériaux utilisés au début du compostage.

A maturité, la teneur en K₂O total a été nettement plus élevée dans les tas de composts C3 (387,34 mg/kg) et C1 (315,12 mg/kg) par rapport au tas de compost C2 qui avait 308,56 mg/kg de K₂O total. L'explication viendrait du fait de l'utilisation de la bouse de vache qui peut avoir une teneur en potassium élevée dans les tas de compost C1 et C3 Lompo (1993). Ces teneurs en K₂O total sont comparables à ceux obtenus par Elherradi (2014).

Concernant la teneur en Ca total des composts, nos résultats ont montré que les substrats C1, C2 et C3 étaient riches en Ca total. Mais la forte teneur en Ca total des tas C2 (10538,51 mg/kg) par rapport aux substrats C1 (6273,06 mg/kg) et C3 (2832,15 mg/kg) au 1^{er} jour de l'édification des tas s'expliquerait toujours par la nature des matériaux utilisés au début du compostage en particulier l'apport du Burkina phosphate dans le tas de compost C2. Du 15^{ème} jour au 45^{ème} jour de compostage, on observe une diminution de la teneur en Ca total des différents substrats C1, C2 et C3 qui pourrait être liée à la dégradation de la MO pendant la phase oxydation minéralisation. A maturité c'est-à-dire à 60 jours après compostage, la teneur en Ca total du tas de compost C2 (5142,62 mg/kg) était élevée par rapport à celle des tas de compost C1 (2694,35 mg/kg) et C3 (2578,12 mg/kg). Ces teneurs sont proches de celles obtenues par Douma (2013) sur le compostage des résidus solides urbains en Algérie. La forte teneur du tas de compost C2 serait liée à l'apport du BP qui a une teneur en CaO de 34,5 % (Lompo, 1993). La faible teneur en Ca total des tas de compost serait liée à la pauvreté en Calcium des matériaux utilisés pour constituer ces tas de compost.

Pour ce qui est de la teneur en Mg total des composts, nos résultats ont montré que les substrats C1, C2 et C3 étaient riches en Mg total. Mais la forte teneur en Mg total des tas C1 (4,76 %) et C3 (4,32 %) par rapport au substrat C2 (3,20 %) à la phase mésophile de compostage s'expliquerait par la nature des matériaux utilisés au début du compostage. Pendant la phase thermophile, on note une diminution de la teneur en Mg total des composts à cause de la dégradation de la MO des composts. A maturité, les substrats C3 et C1 ont la

teneur élevée en Mg total par rapport au compost C2. La variation de ces teneurs en Mg total des composts est similaire à celle obtenue par Zinaïdi (2002) en Tunisie. Les tas de compost C1 et C3 ont la plus forte teneur en Mg total suite à l'utilisation de la bouse de vache (Lompo, 1993). La faible teneur en Mg total des tas de compost C2 serait dû à la pauvreté de la paille, du compost plus, du BP et des résidus de mangue en Mg total qui entrent dans la constitution du tas de compost C2.

3.2.2.3. Evolution du rapport C/N

Le rapport initial C/N des différents tas de compost C1, C2 et C3 est respectivement 17, 16 et 18 au 1^{er} jour de l'édification des tas de compost. En se référant à l'optimum du rapport C/N (30-35) fixé par (Mustin, 1987) au cours du compostage, ces rapports C/N que nous avons eu dans le cadre de notre étude ne répond pas à cette gamme de rapport C/N. Cela est certainement dû à la nature des matériaux que nous avons eu à utiliser. A la phase oxydative, le rapport C/N élevé du substrat C1 (20) par rapport aux substrats C3 (18) et C2 (16) peut s'expliquer par l'effet du retournement qui peut amener en surface certaines proportions des matériaux qui ne se sont pas encore bien décomposés au début de la phase thermophile. Le rapport C/N final des différents substrats C1, C2 et C3 sont respectivement 19, 14 et 15 après 60 jours de compostage. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par INERIS (2012) et par Soma (2008) sur le compostage des déchets d'abattoir et de décharge de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso). La combinaison du compost plus et du BP dans le tas de compost C2 ont favorisé la décomposition des substrats d'où un rapport C/N plus bas que celui des tas de compost C1 et C3 où la bouse de vache a été utilisée. Ces mêmes observations faites par Bonzi (1989) et Segda (2001) cités par Soma (2008) ont été justifiées par le fait que les substrats compostés avec du BP voient leur rapport C/N s'abaisser plus. Cet écart du rapport C/N des tas de composts pourrait résulter du fait de la meilleure décomposition dans C2 d'où une libération d'azote issue de la décomposition du substrat. Il pourrait aussi s'expliquer par le contenu azoté des intrants pris individuellement dans les mélanges qui constituent les tas de compost en particulier les résidus de mangue. Aussi Gagnon et Simard (1999); Gopal et Shankar (2011) cités par Sall (2014) ont démontré que la valeur nutritive en azote des composts frais dépendait surtout des sources de matériaux qui constituent la recette. En tenant compte de la loi suisse (Morel *et al.*, 1979 cité par Soma, 2008) qui considère qu'un compost est mûr lorsque son rapport C/N est inférieur ou égal à 19, nous pouvons conclure que les tas de composts C1, C2 et C3 aboutissent après 60 jours de compostage à un compost mûr. Toutefois selon Pieri (1989), la MO bien décomposée a un rapport C/N voisin de 10.

3.2.2.4. Variation du pH

La décomposition de la matière organique libère des éléments nutritifs qui peuvent influencer les activités microbiennes et l'évolution du pH. D'autre part, le pH renseigne sur l'activité biologique dans une matrice. Le pH initial des tas de compost C1, C2 et C3 au 1^{er} jour de compostage était dans les fourchettes 6,14 et 6,28. Ces valeurs de pH initial sont en adéquation avec ceux trouvés par Belaïb (2012) sur le compostage des déchets organiques générés par les restaurants universitaires en Algérie. Ces pH acides sont probablement liés aux caractéristiques intrinsèques des matériaux de départ. En se référant à l'optimum du pH de compostage (6-8) fixé par (Mutin, 1987), le pH des différents composts est dans cette fourchette.

On observe une baisse légère du pH des différents composts du 15^{ème} au 45^{ème} jour après compostage. Selon Francou (2003) et Bertoldi (1983) cités par Attrassi *et al.* (2005), l'acidification des composts est imputable à une oxydation incomplète de la MO conduisant à la production d'acides gras organiques en condition d'anaérobioses. Des zones d'anaérobioses seraient apparues dans les tas de compost au cours du compostage. L'apparition de ces zones d'anaérobioses pourrait s'expliquer par la texture pâteuse des résidus de mangue.

Il ressort qu'à maturité, le pH des différents substrats demeure toujours légèrement acide allant de 5,49 pour le substrat C2; 6,14 pour le substrat C1 et 6,28 pour le substrat C3. Les résultats des travaux de Tchegueni *et al.* (2013); Sall (2014) et Koulibaly *et al.* (2015) sont proches de ceux obtenus au cours de cette étude. En principe on devrait assister à une augmentation du pH et à une stabilisation de celui-ci vers la neutralité à maturité suite à la dégradation des acides gras organiques produits (Elherradi *et al.*, 2014). Cela n'a pas été le cas dans nos conditions d'étude et ces valeurs de pH pourraient trouver leurs explications par le fait que la masse volumique et la teneur en eau des tas de compost C1 et C3 ont été plus élevées. Aussi, la paille a tendance à influencer l'acidité du compost car étant de nature acide. Adhikari *et al.* (2008) cités par Sall (2014) ont constaté le même phénomène. La transformation de l'azote organique en azote minéral, soit l'ammonium, le nitrite, puis le nitrate, pourrait aussi expliquer la différence de pH entre les composts C1, C2 et C3. Si la minéralisation se poursuit dans des conditions d'aérobiose, l'ammonium est oxydé par des *Nitrosomonas* en nitrite en utilisant le carbone du dioxyde de carbone ou du carbonate. Finalement, les nitrites sont oxydés en nitrates par divers microorganismes, dont des *Nitrobacter*. L'oxydation de l'ammonium est un processus acidifiant. Ainsi, avec le compost à base de la paille qui est moins volumineux, les processus de la nitrification diminueraient le

pH par la production d'acides organiques et la libération d'ions H^+ (Mustin, 1987). Par ailleurs (Michel et Reddy, 1998 cités par Diabagaté, 2006) disent qu'en condition limitant d'oxygène la teneur en acide gras volatiles augmente d'où une diminution du pH et un blocage de l'azote sous forme de NH_4^+ .

3.3. Classification des composts et leurs comparaisons aux normes internationales

Les caractéristiques chimiques des différents composts produits respectent la norme NFU44 051 d'Avril 2006 cité par (INERIS, 2012) selon laquelle les teneurs idéales en élément d'un compost qui doit être considéré comme un amendement organiques ont : $MO \geq 20 \%$, N total $< 3 \%$, P_2O_5 total $< 3 \%$, K_2O total $< 3 \%$, $C/N > 8$ et la somme des éléments fertilisants (l'azote total, du P_2O_5 et du $K_2O < 7 \%$). En effet, la somme des éléments fertilisants (N+ P_2O_5 + K_2O) des tas de compost C1 (6,05 %) et C3 (6,28 %) est $< 7 \%$ sauf celle des tas C2 (7,49 %) qui est légèrement supérieure à 7 %. Ainsi les composts produits répondent bien aux normes internationales d'un bon compost en ce qui concerne la MO, l'azote total, le P_2O_5 total, K_2O total et le C/N. Cependant, le taux de MO des tas de compost C1 et C3 sont supérieurs au taux minimal prescrit par cette norme. Les composts produits sont riches en éléments minéraux. Ces résultats sont conformes aux normes internationales (AFNOR) d'appréciation des résultats d'analyses chimiques qui fixent pour les amendements organiques qualifiés de très riches, les teneurs en éléments fertilisants suivants : $MO > 5 \%$, P_2O_5 total $> 0,3 \%$, l'azote total $> 0,25 \%$ et le rapport $C/N < 20$. Les composts obtenus sont riches en éléments minéraux (N, P, et K) et en oligo-éléments (Ca et Mg). Leur caractère fertilisant leur permet de fournir des éléments pour les plantes, mais leur principal effet est qu'en tant qu'amendement organique ils agissent sur la stabilité physique, biologique et chimique des sols (Bertoldi *et al.*, 1983 cité par Znaïdi, 2002).

CONCLUSION GENERALE

L'objectif général de cette étude était d'évaluer les paramètres physico-chimiques des composts à base des résidus de mangue en vue de contribuer à une meilleure valorisation de ces résidus d'une part et de résoudre les contraintes des nuisances que ces produits posaient dans l'environnement des unités de transformation d'autre part.

L'étude a permis de voir l'effet du compostage sur les caractéristiques physico-chimiques des résidus de mangues en combinaison avec des matériaux structurants (la paille d'*Andropogon gayanus*, les sciures de bois et les pellicules d'anacardes), des activateurs et produits améliorants du compost (compost plus, la bouse de vache et le BP).

Le suivi de l'évolution de la décomposition des substrats montre que la température moyenne atteinte par les tas de composts C1, C2 et C3 à la phase oxydation minéralisation est en dessous de 40°C. Ce qui montre que le processus de compostage s'est déroulé à « froid » comparativement aux normes où il se déroule à 60°C.

Sur les caractéristiques chimiques des composts, il ressort qu'après 60 jours de compostage les tas de compost C1 et C3 au sein desquels les sciures de bois et des pellicules d'anacarde ont été utilisé comme matériaux structurant sont riches en MO et en carbone dénotant une décomposition moins marquée de ces substrats comparativement au compost C2 où le compost plus a été utilisé comme inoculum. Le rapport C/N inférieur à 20 et la somme des éléments fertilisants des différents composts qualifient ces derniers d'amendement organique de bonne qualité conformément aux normes internationales.

Les composts obtenus ont un pH légèrement acide à maturité à cause de la structure pâteuse des résidus de mangue qui créent des zones anaérobies favorisant une oxydation incomplète. Ce pH acide n'est pas souhaitable pour les sols Burkinabés qui ont tendance à l'acidification.

En termes d'éléments minéraux, l'adjonction de la bouse de vache a enrichi les composts C1 et C3 en azote total, en potassium total et en magnésium total comparativement au tas de compost C2 qui a une faible teneur en ces éléments. Cependant l'adjonction du BP et du compost plus a eu un effet améliorateur sur la teneur en phosphore total et en calcium total dans les tas de compost C2 par rapport aux tas de compost C1 et C3.

Recommandations techniques

Au vu des résultats physico-chimiques, le compost C2 peut être recommandé pour les cultures saisonnières à cause de son bon niveau de décomposition tandis que C3 et C1 peuvent être utilisés comme compost dans l'arboriculture selon l'approche de gebana africaine.

Le suivi du compostage des résidus de mangue a montré que les composts produits sont de bonne qualité agronomique à part la teneur en MO et en carbone qui sont élevées dans les tas C1 et C3 et le pH des différents composts qui est légèrement acide. L'aspect des composts mûrs est dominé par la présence de noyau de mangue et un peu de la paille. Pour une production durable de compost et dans l'optique de fournir du compost de bonne qualité et de valoriser les composts produits nous proposons comme perspectives de:

- ✓ Ajouter la chaux aux éléments utilisés pour le compostage afin de corriger le pH ;
- ✓ Reconduire la production du compost en faisant varier la proportion des différents matériaux utilisés afin d'avoir un bon rapport C/N favorable au développement des micro-organismes et pour éviter l'apparition des conditions anaérobies.
- ✓ Un broyage des noyaux de mangue et de la biomasse sèche est nécessaire pour faciliter une meilleure décomposition des substrats pendant le compostage et avoir un compost de bonne qualité.
- ✓ Une analyse chimique approfondie et des analyses microbiologiques des composts contribueront à mieux connaître leurs valeurs agronomiques;
- ✓ Poursuivre l'étude en testant ces composts produits sur des spéculations comme le maïs, la tomate et la laitue à des doses variées pour mieux confirmer l'efficacité agronomique de ces composts et d'en évaluer leurs effets sur la faculté germinative de ces dernières.
- ✓ Le compost contient trop d'éléments non décomposés paille, amendes de mangue non décomposées par le compost+. Ce qui fait que le compost produit peut être utilisé localement mais sa commercialisation sera impossible ;
- ✓ Bien que la bouse de vache soit un activateur, l'utilisation du compost+ est recommandée pour les raisons suivantes : a) avec le compost + le temps de compostage est réduit. Pour une production de compost à grande échelle, l'économie du temps est un facteur important car permet d'optimiser la main d'œuvre et les ressources financières, b) le compost plus permet de pallier les problèmes des agents

pathogènes et des graines des adventices qui ne sont pas détruits à une température en dessous de 40°C.

- ✓ Le site de compostage est dépourvu d'infrastructures adéquates pour mener l'activité de compostage à bien ;
- ✓ L'aménagement du site ou à défaut réaliser un hangar de séchage du compost

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence de l'Environnement de la Maitrise et de l'Energie (ADEME), 2007.** Les déchets en chiffres ; données et références. Edition 2007, 24p.
- Albrecht R., 2007.** Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle Méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse Pour obtenir le grade de docteur de l'Université PAUL CEZANNE AIX MARSEILLE III. 189p.
- Attrassi B., Mrabet L., Douira A., Ouine K., El Haloui N., 2005.** Etude de la valorisation agronomique des composts des déchets ménagers. Université Ibn Tofail. Kenitra (Maroc) 6P.
- Bakouan B. B., 2015.** Évaluation de l'efficacité du Great Fruit Fly Bait (GFFB) contre les mouches des fruits dans l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle. Centre Agricole Polyvalent de Matourkou (CAP/M), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 71 p.
- Beauchamp C.J., 2014.** Co-compostage à la ferme de la matière organique végétale triée à la source : une valeur ajoutée ? Département de phytologie, université de Laval, Québec, Canada.47P.
- Belaïb A., 2012.** Etude de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques générés par le restaurant universitaire Aicha oum Elmouminine (Willaya De constantine). Mémoire de Master en Ecologie. Université de Mentouri Constantine, Algérie.111P.
- Bolan N. S., Adrianob D. C., Natesana R. et Koob B.J., 2003.** Effects of Organic Amendments on the Reduction and Phytoavailability of Chromate in Mineral Soil. Journal of Environmental Quality 32, 120-128.
- Bureau National des Sols (BUNASOLS), 1985.** État de connaissance de la fertilité des sols du Burkina Faso. Document technique N°1. Ouagadougou, Burkina Faso. 50 p+ annexes.
- Bureau National des Sols (BUNASOLS), 1987.** Méthodes d'Analyses Physico-chimiques Sols-Végétaux-Eaux. Document technique N° 3. Ouagadougou, Burkina Faso. 159P.

- Charnay F., 2005.** Compostage des déchets urbains dans les pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Limoges. 277P.
- Compaoré E. et Nanéma L.S., 2010.** Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. TROPICULTURA, 28, 4, 232-237.
- Compaoré E. L S., Bonkougou N. S., Sedogo M. P., 2010.** Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture. Journal of Applied Biosciences 33: 2076 – 2083.
- Dakuo D., Koulibaly B., Tiahoun C. et Lompo F., 2011.** Effet de l'inoculum « Compost plus » sur le compostage des tiges de cotonnier et les rendements en coton au Burkina Faso. Agronomie Africaine 23(1) : 69-78.
- Diabagaté A., 2006.** Déterminants de la qualité agronomique de la fumure organique utilisée dans la zone Soudano sahélienne : cas du terroir de ziga dans la province de yatenga au Burkina Faso. Diplôme d'Etudes Spécialisées d'Agriculture (DESA). Ouagadougou, Burkina Faso.140P.
- Diallo O., 2006.** Guide de l'utilisateur « compost plus ». Green consult, 31P.
- Doba P. H., 2016.** Valorisation des coques d'anacarde et détermination des conditions de rentabilité d'une unité de production de CNSL. Mémoire de master en Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, option Eau et Assainissement. Ouagadougou, Burkina Faso, 57P.
- Douma N. T., 2013.** Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chef, Algérie. Thèse Pour l'obtention du grade de Docteur De L'université De Limoges En Cotutelle Avec L'université De Blida. 244p.
- Elherradi E. H., Soudi B., Naman F., 2014.** Valorisation des déchets ménagers par extraction des substances humiques. J. Mater. Environ. Sci. 5 (5) 1382-1389.

- Fédération Nationale des Activités de la Dépollution et l'Environnement (FNADE), 2002.** Elément pour la prise en compte des effets des unités de compostage de déchets sur la santé des populations riveraines. 34P.
- Francou C., (2003).** Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage -Recherche d'indicateurs pertinents. Thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur de l'Institut National Agronomique Paris Grignons (INAPG). 286P.
- Fuchs J.G., 2009.** Fertilité et pathogènes telluriques : effets du compost .Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), Ackerstrasse, CH-5070 Frick (Suisse) 6P.
- Fuchs J. G., Bieri M. et Chardonnens M., 2004.** Influences des composts et des digestats sur l'environnement, la fertilité des sols et la santé des plantes. Survol de la bibliographie actuelle.18P.
- Godjo T., Tagutchou J. P., Naquin P. et Gourdon R., 2015.** Valorisation des coques d'anacarde par pyrolyse au Benin. Déchets Sciences et Techniques. N°70, 11-18.
- Grigoras C.G., 2012.** Valorisation des fruits et des sous-produits de l'industrie de transformation des fruits par extraction des composés bioactifs. Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université d'Orléans et de l'Université de Vasile Alecsandri de Bacau, 262P.
- Guene O., 2002.**Compostage artisanal intégré à la gestion des ordures ménagères - Données de terrain et outils de diffusion. Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management 7-10, 349-356.
- Houot S., Francou C., Verge L. C., Bourgeois S., Lineres M., Morel P., ParnaudeauV.,Bissonais Y., Dignac M. F., Dumat C., Cheiab A. et Poitrenaud M., 2003.** Agriculture et épandage des déchets in : Les Dossiers de l'environnement de l'INRA. N° 25, INRA, 107-123.
- Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), 2012.** Etude comparative de la qualité de compost et de digestats issus de la fraction fermentescible d'ordure ménagères collectées séparément ou en mélange. Rapport final. 142P

- Karambiri S., 2007.** Déterminant socioéconomique de l'adoption de la pratique du compostage à l'aide de l'activer compost plus : cas de la province de la sissili, du Ziro et du koulpelogo. Mémoire de fin de cycle. IDR/UPB. 65P.
- Kiendrébéogo T., Mopate Y. et Kaboré-Zoungrana C.Y., 2013.** Production d'aliments non conventionnels pour porcs à base de déchets de mangues et détermination de leurs valeurs alimentaires. *Journal of Applied Biosciences* 67: 5261-5270.
- Kitabala M. A., Tshala U J., Kalenda A., Tshijika I.M.et Mufind K. M., 2016.** Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba, Congo. *Journal of Applied Biosciences*.102: 9669-9679.
- Koulibaly B., Dakuo D., Ouattara A., Traoré O., Lompo F., Zombré P.N. et Kouamé Y., 2015.** Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. *TROPICULTURA*, 33,2, 125-135.
- Larbi M., 2006.** Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Thèse présentée à la Faculté des sciences de l'université de Neuchâtel pour l'obtention du titre de Docteur ès-sciences. 161 p.
- Lompo F., 1993.** Contribution à la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso : Etude des effets de l'interaction phosphate naturels-matières organiques. Thèse présenté à la Faculté des Sciences Techniques de l'Université Nationale de Côte d'Ivoire pour obtenir le grade de docteur ingénieur. 248P.
- Lompo F., Segda Z., Gnankambary Z. et Ouandaogo N., 2009.** Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de pailles de maïs. *TROPICULTURA*, 27, 2, 105-109.
- Muladji K. C., 2011.** Use of household biowastes composts to improve acid soils fertility of the Province of Kinshasa (Dem. Rep. of Congo) (Ph. D. Thesis).Gembloux, Belgium, University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech., 172 p., 32 tabl., 37 fig.
- Mustin., 1987.** Le compost: gestion de la matière organique. Edit. François Dubusc, 954P.

- Nacro S., Nadié A. K., Zongo A., Kabré E., Kabore C., Sylvain O., Moussa G., 2009.** Manuel de formation participative sur la production de mangue biologique à travers les vergers-écoles au Burkina Faso. 69P.
- Ngaordoum D., 2007.** Effet des différentes doses de phosphate naturel du Burkina sur les caractéristiques et l'efficacité agronomique des composts de pailles de maïs. Mémoire de fin de cycle IDR/UPB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 53P.
- Organisation mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 2005.** Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Documents de travail sur les terres et les eaux 2. 35P.
- Ouedraogo S. N., 2002.** Étude diagnostique des problèmes phytosanitaires du manguier (*Mangifera indica* L.), de l'oranger (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) et du mandarinier (*Citrus reticulata* Blanco) dans la province du Kéné Dougou. Mémoire de fin d'études IDR/UPB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 95 p.
- Pieri C., 1989.** Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente années de recherche et de développement agricoles au Sahara. M CF/CIRAD Montpellier. 444p.
- Projet d'Appui aux Filières Agro -Sylvo-pastorales (PAFASP), 2011.** Cartographie pilote des vergers de manguiers au Burkina Faso – Rapport définitif. 76 p.
- Roose E., 1993.** Présentation innovation de la conservation et la restauration des sols. Cash. Orstom; ser. Pédol., vol. XXVIII, N°2: 147-155.
- Sakinah N., Bintoro H. M.H., Monohara H. et Dyah., 2013.** Utilization of cashew nut shell as organic fertilizer and fungicide ([http:// repository.ipd.ac.id/handle/1234566789/67037](http://repository.ipd.ac.id/handle/1234566789/67037); consulté le 13/06/17).
- Sall P. M., 2014.** Étude du compost et du lixiviat obtenus par co-compostage des résidus agroalimentaires à la ferme. Mémoire de Maîtrise en biologie végétale. Maître ès sciences (M. Sc.). Université de LAVAL Québec, Canada. 125P.
- Sangaré A., 1993.** Le compostage, fiche technique. IER/SOTUBA (Bamako)/ 5P.
- Sanon S. B., 2009.** Problématique de la gestion de la fumure organique dans les régions de l'Est et du Nord du Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle. IDR/UPB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso 60P.

- Sedogo P. M., 1993.** Evolution des sols ferrugineux tropicaux lessivés: incidence des modes de gestion sur la fertilité, Thèse de Doctorat ès sciences, FAST, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 285 p.
- Segda Z. et Bonzi M., 2005.** Technique de production de la fumure organique. Formation des auxiliaires agricoles, projet de développement décentralisé et participatif/ Bazèga/ Kadiogo. Direction régionale de l'agriculture de l'hydraulique et des ressources halieutiques du centre, Ouagadougou, Burkina Faso. 29P.
- Segda Z., Lompo F., Wopereis M. C. S., Sedogo M. P., 2001.** Amélioration de la fertilité du sol par utilisation du compost en riziculture irriguée dans la vallée du Kou au Burkina Faso. *Agronomie Africaine* 13(2) :45-58.
- Séréme A. et Mey P., 2007.** Valorisation agricole des ordures ménagères en zone soudano sahélienne : cas de la ville de Bobo-Dioulasso. *REV. CAMES. Serie A*, vol. OS. 8P.
- Soma D. M., 2008.** Contribution à l'amélioration de la qualité agronomique des composts de déchets d'abattoir et de décharges de la ville de Ouagadougou. Mémoire de fin de cycle. IDR/UPB. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 48P.
- Somda B.B., 2010.** Effet du biopost sur quelques propriétés chimiques et biologiques du sol et sur les rendements en culture maraîchère. Mémoire de fin de cycle IDR/UPB. 60P.
- Somda K.M., 2012.** Contribution à la dépollution de l'environnement par la valorisation de la biomasse végétale au Burkina Faso : cas de la transformation des résidus de mangues. Thèse présentée pour obtenir le grade de docteur de l'Université de Ouagadougou, option Sciences Biologiques Appliquées. 166P.
- Soudi B., 2001.** Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost : cas de petites et moyennes communes du Maroc. Edition Actes. 104P.
- Soumaré M., Tack F. et Verlo, M., 2003.** Characterization of Malian and Belgian solid wastes composts with respect to fertility and suitability for land application. *Waste Manage.* 23, 517–522.
- Tagutchou J. P. et Naquin P., 2012.** Caractérisation et traitement thermodynamique des coques d'anacarde en vue de leur valorisation énergétique dans les procédés de

transformation artisanales de noix de cajou. Déchets Sciences et Techniques-Revue francophone D'Ecole Industrielle. N°62, 28-35.

Tagutchou J.P. et Naquin P., 2013. Etude de la faisabilité technique et environnementale de la valorisation énergétique des coques d'anacarde. Rapport biannuel du projet CAJOUVALOR (pilote par RONGEAD et le CEFREPADE) Lyon (France) ; 120P.

Tchegueni S., Koriko M., Koledzi E., Bodjona B.M., Kill K.A., Tchangbedje G., Baba G. et Hafidi M., 2013. Physico chemical characterization of organic matter during co-composting of shea-nut cake with goat manure. African journal of Biotechnology, 12 (22): 3466-3471.

Useni S.Y., Baboy L. L., Kanyenga L. A., Assani B-L.M., Mbuyi K.M., Kasanda M. N., Mbayo K. L. J., Mpundu M. M. et Nyembo K. L., 2013. Problématique de la valorisation agricole des biodéchets dans la ville de Lubumbashi : identification des acteurs, pratiques et caractérisation des déchets utilisés en maraîchage. Journal of Applied Biosciences, 76:6326–6337.

Youl S., Ezui G., Paré T. et Mando A., 2011. Mise à jour des recommandations d'engrais, Burkina Faso. Rapport Technique. IFDC.

Znaïdi I. E. A., 2002. Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de compost biologiques sur les maladies des plantes. Master of Science degree Mediterranean organic agriculture. Mediterranean agronomic institute of bari, (Tunisie), 104p.

Zoungrana A, 2013. Production de compost à base d'écart des unités agro-alimentaires (Anacarde et mangue). Rapport de stage de fin de première année. IDR/UPB. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 22P.

ANNEXES

Annexe 1: Composition chimique du Burkina phosphate de Kodjari en pourcentage

P ₂ O ₅	24,4
CaO	34,5
Al ₂ O ₃	3,1
Fe ₂ O ₃	3,4
MgO	0,27
Na ₂ O	0,11
K ₂ O	0,23
F	2,5
S	0,04
CO ₂	1,0
SiO ₂	26,2
TiO ₂	0,30
MnO	0,07
Perte au feu	2,88
(Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃)/P ₂ O ₅	0,26
(CaO)/P ₂ O ₅	1,36

Source : Lompo (1993)

Annexe 2: Tas de compost C1 édifié



Annexe 3: Tas de compost C2 édifié



Annexe 4: Tas de compost C3 édifié



Annexe 5: Aspect du compost C1 après 60 jours de compostage



Annexe 6: Aspect du compost C2 après 60 jours de compostage



Annexe 7: Aspect du compost C3 après 60 jours de compostage

