

Comparaison des composts à base de boues de vidange à travers la taille et les conditions expérimentales (Sénégal)

Maimouna LO¹; El hadji Mamadou Sonko¹, Arfang Mafoudji Sonko², Oumou Niang, Seynabou Zeina Badji¹, Ndèye Fatou Gningue¹ Saliou Ndiaye², Cheikh Diop¹

¹ Laboratory for the Environmental Study of Urban Environments (LEEMUR); Institute of Environmental Sciences, Faculty of Science and Technology, Cheikh Anta Diop University of Dakar. BP 5005, Dakar-Fann, Senegal.

² National School of Agriculture, ENSA Km 7 route de Khombole, BP A 296 Thiès RP

Résumé

Le compostage semble être une technique moins exigeante, plus accessible et moins coûteuse. L'objectif de cette étude est de suivre l'influence de la taille des composts et des conditions expérimentales sur le processus de co-compostage et la qualité des composts. La méthodologie utilisée est la technique en andain et la taille des andains du premier site S1 est maintenue à 0,15m³ et celle du second site S2 à 1m³. Les paramètres physico-chimiques telles que le pH, la conductivité électrique (CE), la dégradation de la matière organique (MO), les éléments nutritifs azote (N), phosphore (P) et potassium (K) sont analysés. La qualité sanitaire avec les concentrations en coliformes fécaux et en œufs d'helminthes vivants est aussi analysée. Les résultats ont montré que les traitements (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1) du premier site S1 et les traitements (T0S2, T1S2 et T2S2) du second site S2 ont des andains de petite taille (inférieures à 5 à 6 tonnes de déchets) ne permettant pas une forte évolution de la température durant la phase thermophile avec un maximal de 58°C et 45°C pour respectivement T2S1 et T2S2. Les teneurs en humidité des andains sont comprises entre 30 et 60% durant le compostage. La dégradation en MO a une baisse pour les différents traitements elle est plus prononcée pour les traitements du site S2. Le pH est neutre en fin de compostage pour les traitements du second site S2 (T0S2, T1S2 et T2S2 pour respectivement 7 ; 6,5 et 7) et est faiblement acide pour les traitements du S1 (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1 pour respectivement 6,4 ; 6,5 ; 6,5 et 6,6). La conductivité électrique est moins élevée pour les traitements du site S2 (T0S2, T1S2 et T2S2 pour respectivement 985 µs/cm, 1307 µs/cm et 1243 µs/cm) que pour les traitements du site S1 (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1 pour respectivement 1849 µs/cm, 1829,6 µs/cm, 1711,6 µs/cm et 1826 µs/cm). Les éléments nutritifs sont similaires avec une légère différence entre les différents traitements. L'analyse de la qualité sanitaire a montré que les traitements du S2 sont dépourvus de coliformes fécaux et d'œufs d'helminthes vivants, et est conforme aux normes de l'OMS. Le compostage sur le site S2 est dépourvu de germes pathogènes. Le séchage assez prolongé des boues de vidange du site S2 avant la mise compostage et l'augmentation de la taille des andains sont des paramètres qui peuvent améliorer l'élimination des germes pathogènes

Mots clés : traitement, valorisation, boues de vidange, co-compostage, taille

Comparison of composts based on sewage sludge across sizes and experimental conditions (Senegal)

Abstract

Composting appears to be a less demanding, more accessible and less expensive technique. The objective of this study is to monitor the influence of compost size and experimental conditions on the co-composting process and compost quality. The methodology used is the windrow technique and the windrow size of the first site S1 is maintained at 0.15m³ and that of the second site S2 at 1m³. Physicochemical parameters such as pH, electrical conductivity (EC), degradation of organic matter (OM), nutrients nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) are analyzed. Sanitary quality with concentrations of fecal coliforms and live helminth eggs is also analyzed. The results showed that the treatments (T0S1, T1S1, T2S1 and T3S1) of the first S1 site and the treatments (T0S2, T1S2 and T2S2) of the second S2 site have small windrows (less than 5 to 6 tons of waste) not allowing a strong temperature evolution during the thermophilic phase with a maximum of 58°C and 45°C for T2S1 and T2S2 respectively. The moisture contents of the windrows are between 30 and 60% during composting. The degradation in OM has a decrease for the different treatments it is more pronounced for the treatments of the S2 site. The pH is neutral at the end of composting for the treatments of the second site S2 (T0S2, T1S2 and T2S2 for respectively 7; 6.5 and 7) and is weakly acidic for the treatments of S1 (T0S1, T1S1, T2S1 and T3S1 for respectively 6.4; 6.5; 6.5 and 6.6). The electrical conductivity is lower for the treatments of site S2 (T0S2, T1S2 and T2S2 for respectively 985 µs/cm, 1307 µs/cm and 1243 µs/cm) than for the treatments of site S1 (T0S1, T1S1, T2S1 and T3S1 for respectively 1849 µs/cm, 1829.6 µs/cm, 1711.6 µs/cm and 1826 µs/cm). Nutrients are similar with a slight difference between the different treatments. The analysis of the sanitary quality showed that the treatments of S2 are free of faecal coliforms and live helminth eggs, and are in compliance with WHO standards. Composting on the S2 site is free of pathogenic germs. The fairly prolonged drying of the faecal sludge from the S2 site before composting and the increase in the size of the windrows are parameters that can improve the elimination of pathogenic germs.

Keywords: treatment, valorization, faecal sludge, co-composting, size

¹ Corresponding author: maimouna.lo@ucad.edu.sn

INTRODUCTION

Les besoins en assainissement de plus de 2,7 milliards de personnes dans le monde sont couverts par les dispositifs d'assainissement à la parcelle, chiffre qui devrait atteindre 5 milliards d'ici 2030 (Strande et al., 2014). En 2020, 45 % des eaux usées domestiques générées dans le monde sont rejetées dans l'environnement sans avoir fait l'objet d'un traitement sûr (OMS/UNICEF, 2020). Au Sénégal, malgré les efforts déployés dans les programmes et projets d'assainissement, l'urbanisation anarchique a un poids considérable sur la gestion de l'assainissement autonome. Une grande quantité de boues de vidange est produite et nécessite un plan de gestion adapté (Koné et al., 2007). En réponse aux problèmes d'assainissement, un marché de la vidange des fosses de toilettes s'est développé dans de nombreuses localités au Sénégal, et la question du traitement des boues de vidange se pose. Les produits de vidange doivent être évacués et traités pour des raisons évidentes d'hygiène et de santé publique (Ntangmo-Tsafack et al., 2019). Pour éviter que les problèmes ne soient simplement repoussés en aval, il importe donc de prendre en compte la filière d'assainissement dans sa globalité. Les solutions doivent porter aussi bien sur l'évacuation que sur le traitement des eaux usées. Les solutions techniques varient cependant en fonction de différents critères, par exemple les moyens financiers locaux (Gning et al ; 2017), la consommation d'eau des usagers, le statut foncier des terrains, la densité de population, les compétences requises pour la gestion des infrastructures d'assainissement, etc. (GRET, 2012)

Dans la plupart des cas, une bonne partie des biosolides produits sont réutilisées sans aucune mesure de précaution dans l'arboriculture et le maraichage. Cette utilisation est motivée par le fait que les biosolides sont riches en matières minérales et organiques qui peuvent être bénéfiques pour le développement des plantes et la structure du sol (Sonko, 2015 ; Koné et al., 2016, Sonko et al., 2022 ; Lo et al., 2021°). La valorisation agricole des boues peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimiques, et s'avère d'un très grand intérêt économique (Mouria et al., 2013 ; Useni et al., 2013 ; Lo et al., 2019 ; Lo et al., 2021 ; Sonko et al., 2022).

Par ailleurs, un amendement organique instable peut présenter des risques sanitaires pour les consommateurs, les fermiers et les personnes vivant à côté des installations où ce type d'humus est utilisé car les boues de vidange contiennent en général de nombreux agents pathogènes comme les bactéries, les virus et les parasites (Capizzi-Banas et al., 2004 ; Koné et al., 2016). Le compostage est pourtant reconnu comme une méthode fiable pour stabiliser la matière organique (Lo et al., 2019).

Ainsi les boues de vidange sont riches en éléments nutritifs (Lo et al., 2019 ; Koné et al., 2016). Mais pour voir un produit de bonne qualité avec un rapport C/N respectant les normes, un co-substrat est souvent recommandé pour combler ce déficit en carbone et les déchets maraichers semblent les plus indiqués (Lô, 2015 ; Lô et al., 2019 ; Lo, 2020). Les boues de vidange contiennent des germes pathogènes et nécessitent un traitement particulier car les travaux de Lo et al. (2019) ont trouvés des concentrations en coliformes fécaux et œufs d'helminthes élevées après un compostage de quatre (04) mois. En plus de la forte température attendue dans les andains en fonction de la taille de ceux-ci et des conditions météorologiques du lieu de compostage, le séchage en amont des boues de vidange semble déterminant sur l'évolution de la concentration en coliformes fécaux et en œufs d'helminthes. Dans cette étude, les conditions de séchage des boues de vidange avant la mise en compostage, l'emplacement du compostage et la taille des andains ont fait l'objet de comparaison afin de déterminer les différences significatives dans composts obtenus dans deux (02) sites différents, à travers les paramètres physico-chimiques et la qualité sanitaire. A cet effet, la maturité des composts, la valeur agronomique et la qualité sanitaire sont déterminées à travers l'analyse des paramètres physico-chimiques, biologiques et parasitaires.

MATERIEL ET METHODES

Description des zones d'étude

Les expérimentations se sont déroulées dans deux (02) sites distincts. Le premier site S1 est situé dans la station d'épuration de Cambérène se trouvant dans le département de Pikine à 5km de la capitale dakaroise et le second site S2 se trouve dans le centre sino sénégalais de la commune de Sangalkam dans la zone des Niayes à 23km du site S1. Il est situé au nord du département de Rufisque, dans la région de Dakar/SENEGAL.

Dispositif expérimental

Les travaux expérimentaux de S1 disposent de boues de vidange séchées sur trois (03) lits de séchage de taille 4m² (figure 1a) pendant trois (03) semaines. Pour le site S2, les lits de séchages qui ont reçu les boues de vidange durant six (06) semaines, ont une superficie de 128 m² (figure 1b). La figure 1 montre le dimensionnement des lits de séchage des boues de vidange avant la mise en compostage.

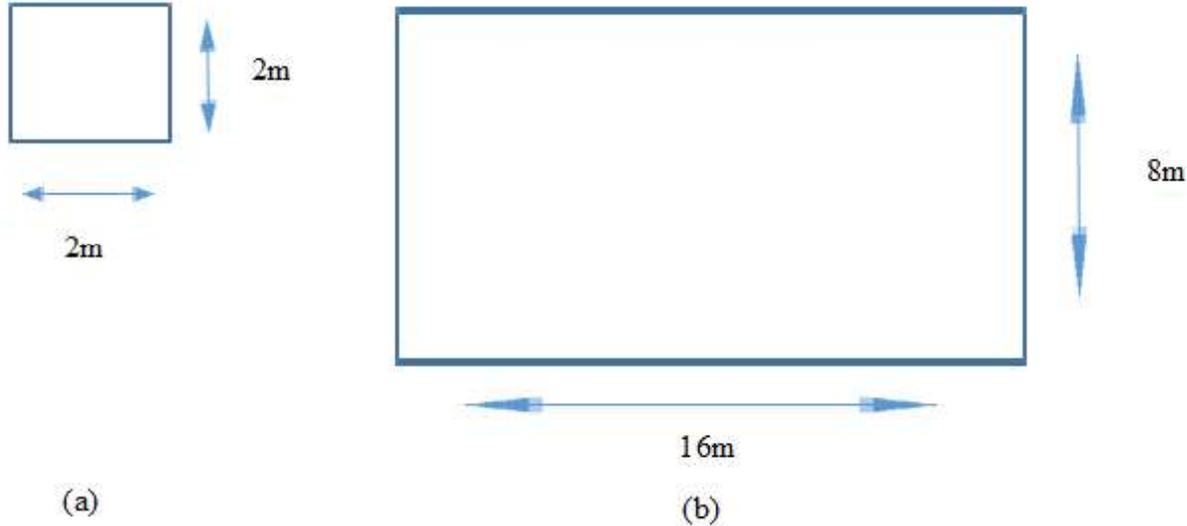


Figure 1 Dimensionnement des lits de séchage :a) 2x2 superficie des lits de séchage du premier site et b) 16x8 superficie des lits de séchage du second site.

A la fin de la période de séchage, les boues de vidange (BV) avec une siccité variant entre 40-70% sont récoltées pour être co-compostées avec les déchets maraîchers (DM) qui ont été utilisés comme co-substrat pour la technique de co-compostage.

Les déchets maraîchers sont composés de restes de récolte, de restes de légumes, d'épluchures de légumes, de tiges de manioc, de feuilles d'oseille, de feuilles de salades, de feuilles de choux et de gousses d'oignons en décomposition.

Ainsi des tas de composts ont été constitués selon la méthode de l'andain. Les premiers andains du premier site expérimental (S1) ont des volumes de 0,15 m³ et les andains du second site expérimental (S2) ont enregistré des volumes de 1m³.

Le protocole expérimental est mis en place en période de fraîcheur de décembre à mars. Durant cette période les moyennes de la température ambiante sont aux alentours de 18-23°C. Les andains sont constitués comme suit :

- T0S1 : Témoin, uniquement boues de vidange (BV) ;
- T1S1 : mélange de 2 volumes BV + 1 volume de déchets maraîchers (DM) ;
- T2S1 : mélange de 1 volume BV + 1 volume DM ;
- T3S1: mélange de 1 volume BV + 2 volumes DM ;
- T0S2 : Témoin BV seule ;
- T1S2: mélange de 2 volumes BV + 1 volume DM ;
- T2S2: mélange de 1 volume BV + 1 volume DM.

Pour éviter la lixiviation et les pertes de nutriments, les andains ont été réalisés sur une surface étanche et un imperméable a été posé au-dessus. Le processus de compostage a duré trois (03) mois. Les andains ont été retournés tous les dix jours comme l'ont suggéré certains auteurs (Lo et al., 2019 ; Cofie et al., 2009), pour favoriser une dégradation plus ou moins homogène de la matière organique. Le retournement permet aussi d'aérer les andains. A chaque retournement, les andains ont été arrosés afin de maintenir l'humidité dans des proportions compatibles avec l'activité biologique de l'ordre de 40% à 60% selon Fourti (2013). Durant l'expérimentation les températures ambiantes ont varié entre 18 et 23 °C.

Méthodes

Echantillonnage

Les échantillons analysés ont été prélevés à trois (03) points différents au niveau de chaque andain (tas ou traitement) à savoir à la périphérie (au niveau des flancs), au centre de l'andain (au niveau superficiel, 0-10 cm de profondeur) au centre (au-delà de 10 cm de profondeur) (Cofie et al., 2009). Des échantillons composites ont été collectés à chaque prélèvement au niveau du dispositif expérimental.

Pour suivre l'humidité et le taux de matière organique, les échantillons ont été collectés tous les dix jours, avant chaque retournement prévu. Par contre, pour les autres paramètres les prélèvements ont été réalisés tous les mois jusqu'à trois (3) mois qui marque la fin du processus de compostage qui a duré 90 jours.

Les échantillons prélevés ont été séchés à la température ambiante (Photo 1a) pendant une semaine dans un endroit assez aéré, dépourvu d'humidité et à l'abri des rayons solaires (Photo 1b/c). Après séchage, les échantillons sont tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm de maille (Photo 1d). Toutefois, pour l'analyse des paramètres comme l'azote et le carbone, les échantillons sont ensuite tamisés avec un tamis de 0,2 mm de maille.

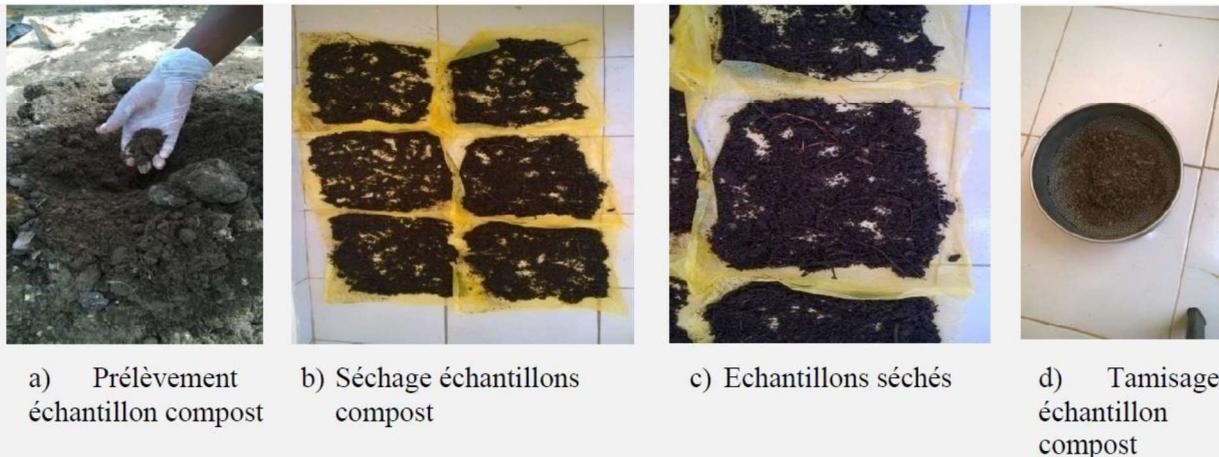


Photo 1: Echantillonnage des composts

Détermination des paramètres physicochimiques

La température a été mesurée avec un thermomètre à compost de marque BMG ayant une gamme variant de 0 à 80 °C. Les mesures ont été prises tous les jours, à partir du lendemain de la mise en place des andains. L'humidité a été déterminée à travers la teneur en matière sèche par séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à un poids constant. Sur le même échantillon, la teneur en matière organique a été déterminée via la perte au feu par combustion au four à 550 °C pendant 3 heures (APHA, 2005). Le pH et la conductivité ont été mesurés directement avec un pH-mètre GLP 21 Crison muni d'une électrode de verre dans des solutions obtenues en mettant en suspension le compost dans de l'eau distillée et un conductimètre.

Pour le pH de 20 g de compost ont été dilués dans 50 mL d'eau distillée et pour la conductivité, les 20 g de compost ont été dilués dans 200 mL d'eau distillée. Le K a été analysé par photométrie. Le rapport C/N a été calculé à partir des résultats d'analyses distincts du carbone et de l'azote. Le carbone a été analysé à partir de la méthode de Walkley et Black modifiée et l'azote a été analysé selon la méthode Kjeldahl. Le Phosphore a été déterminé par la méthode de dosage colorimétrique (Milin, 2012).

Détermination des paramètres microbiologiques et parasitologiques

L'analyse des coliformes fécaux s'est faite par la méthode du dénombrement sur gélose (AFNOR). Les œufs d'*Ascaris* ont été déterminés selon la méthode développée par Water Research Commission (Palm et al., 2001).

RESULTATS

Paramètres physico-chimiques des échantillons de composts

Evolution de l'humidité

La figure 2 montre l'évolution de la teneur en humidité dans les andains.

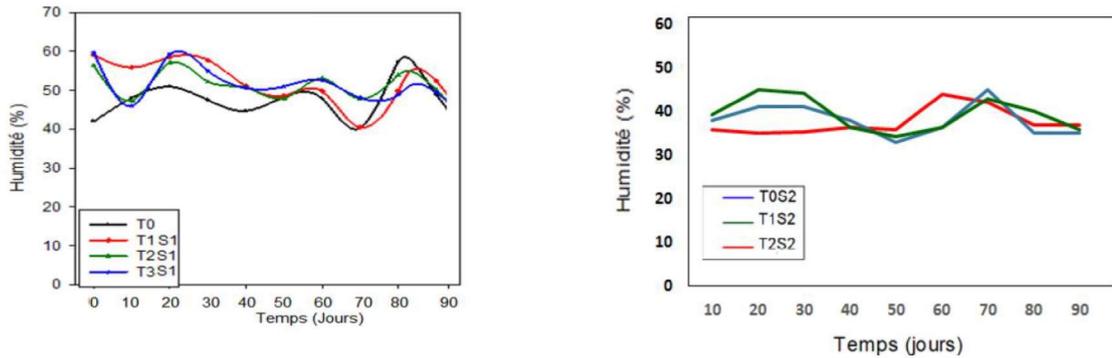


Figure 2 Evolution de l'humidité dans les andains

Durant le processus de compostage, tous les andains de co-compostage de boues de vidange et de déchets maraichers et, dans l'andain témoin, ont une teneur en humidité se situant entre 30 et 60 %.

Evolution de la température

La figure 3 montre l'évolution de la température dans l'ensemble des andains.

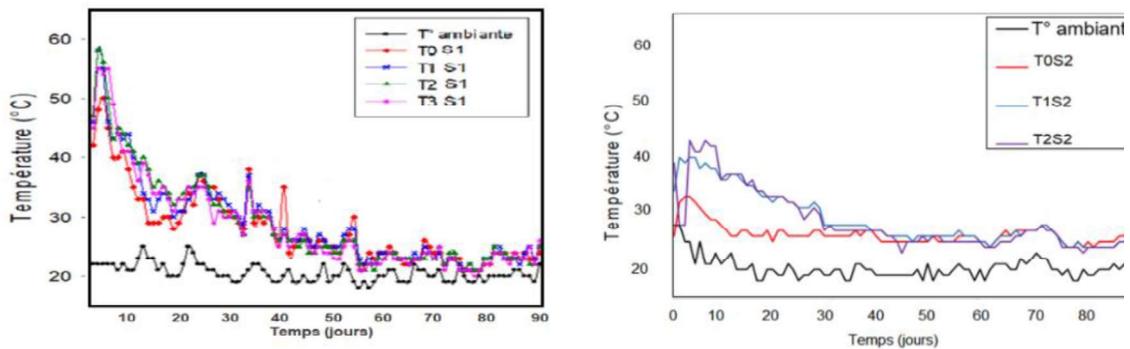


Figure 3 Evolution de la température dans les andains

Les températures dans les différents traitements ont augmenté progressivement durant les premiers jours après la mise en tas comme dans les travaux de Biekke (2018). La phase thermophile est beaucoup plus importante dans les andains T0S1, T1S1, T2S1 et T0S3 avec un maximal de 58°C pour T2S1. Les valeurs se situent entre 40 à 60°C pour les 10 premiers jours mais les températures des traitements T0S2, T1S2 et T2S2 ont enregistré une température maximale se situant entre 40 et 45°C (pour T2S2 à 45°C) comme l'ont affirmé Ruggieri et al (2008a/b).

Cette phase thermophile a duré presque 30 jours. Dans l'ensemble, l'évolution des températures est similaire pour les différentes doses (T1, T2) et pour le témoin (T0), la phase thermophile est moins persistante car ce traitement ne contient pas de déchets maraichers riches en sucre et favorable à l'augmentation de la température.

Ces résultats sont similaires à ceux de Cofie et al (2009). En effet, ces auteurs travaillant sur des proportions de 2/1 et 3/1 en volume de déchets solides organiques et de boues de vidange domestiques ont montré que l'évolution de la température était similaire dans les différents andains. Toutefois, les températures enregistrées dans cette étude au cours de la phase thermophile sont inférieures à celles trouvées dans la littérature (Albrecht, 2007; Cofie et al., 2009 ; Temgoua et al., 2014). Ces auteurs ont trouvé dans leurs différentes études que les températures au cours de la phase thermophile étaient supérieures à 60 °C. Les faibles températures enregistrées dans cette étude comparables aux travaux de Ukondalemba (2016), peuvent être liées au faible volume des andains et à la période de mise en compostage. En effet, selon Temgoua et al (2014) les andains doivent avoir des masses de 5 à 6 tonnes d'ordures pour que la température puisse atteindre 65 à 70 °C au bout d'une semaine de compostage. Dans notre étude les andains avaient des volumes de 1 m³.

Evolution de la teneur en matière organique

La figure 4 montre la dégradation de la matière organique au cours du processus de compostage.

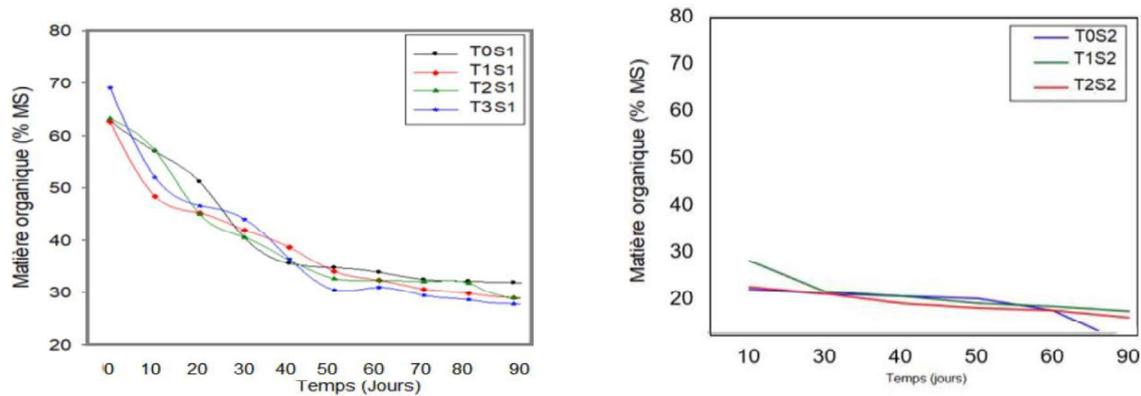


Figure 4 Evolution de la matière organique au cours du compostage

La matière organique diminue progressivement au cours du compostage au niveau des deux (02) sites S1 et S2. Mais la teneur en matière organique dans les andains du site S1 est beaucoup plus importante au début du compostage que les andains du second site S2. Après 45 jours de compostage, les traitements (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1) du site S1 observent une dégradation constante de la MO, mais les traitements (T0S2, T1S2 et T2S2) ont montré une constante de la dégradation de la MO au cours du processus de compostage.

Qualité agronomique des composts

Le tableau 1 présente les paramètres physico-chimiques des échantillons de composts.

Tableau 1 Paramètres physico-chimiques des échantillons de composts

Paramètres	Unités	T0S1	T1S1	T2S1	T3S1	T0S2	T1S2	T2S2	Exemple
<i>Physico-chimique</i>									<i>Exemple</i>
<i>pH (1 :10)</i>		6,4	6,5	6,5	6,6	7	6,5	7	6 et 7 Bokobana, 2017
<i>EC (1 :10)</i>	µs/cm	1849	1829,6	1711,6	1826	985	1307	1243	< 4mS/cm Fuchs et al. 2001
<i>Stabilité</i>									
<i>C</i>	%	15,6	13,4	12,9	11,2	6,8	6,8	6,3	
<i>MO</i>	%	27	23,1	22,2	19,3	12	12	11	< 50% M'Sadak et Ben M'Barek 2013
<i>C/N</i>		10,6	9,5	9,2	8,6	11,1	11,1	11	< 12 Biekke et al. 2018
<i>Nutriments</i>									
<i>N</i>	%	1,5	1,4	1,4	1,3	0,6	0,6	0,56	1,2-2,1 Cofie et al. 2009
<i>P</i>	%	0,3	0,5	0,3	0,2	1,1	1,7	1,9	1,1-1,3 Cofie et al. 2009
<i>K</i>	%	0,07	0,12	0,2	0,3	0,05	0,2	0,24	0,6-0,5 Cofie et al. 2009

L'analyse des paramètres physico-chimiques des échantillons de composts a montré des teneurs intéressantes. Le pH de tous les traitements sont acides à neutre se situant entre 6,2 à 6,6.

Les teneurs en conductivité électrique CE sont plus importantes dans les traitements du premier site expérimental S1 (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1 pour respectivement 1849 $\mu\text{S/cm}$, 1829 $\mu\text{S/cm}$, 1711,6 $\mu\text{S/cm}$ et 1826 $\mu\text{S/cm}$). Mais les valeurs en CE des traitements du second site expérimental S2 (T0S2, T1S2 et T2S2 pour respectivement 985 $\mu\text{S/cm}$, 1307 $\mu\text{S/cm}$ et 1243 $\mu\text{S/cm}$).

La matière organique MO montre des teneurs importantes pour les traitements du premier site S1 (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1 pour respectivement 27%, 23,1%, 22,2% et 19,3%) par rapport aux traitements du second site S2 (T0S2, T1S2 et T2S2 pour respectivement 12%, 12% et 11%).

Les teneurs en azote N sont plus importantes dans les échantillons de composts des traitements du premier site S1 (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1 pour respectivement 1,5%, 1,4%, 1,4% et 1,3%) par rapport aux traitements du second site S2 (T0S2, T1S2 et T2S2 pour respectivement 0,6%, 0,6% et 0,56%).

Par contre les teneurs en phosphore P sont plus marquées au niveau des traitements du second site S2 (T0S2, T1S2 et T2S2 pour respectivement 1,1%, 1,7 % et 1,9 %) et au niveau des traitements du premier site, les teneurs en P sont 0,3% ; 0,5% ; 0,3% et 0,2 pour respectivement T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1.

Pour le potassium K, les pourcentages en cet élément minéral dans les échantillons des traitements du premier site expérimental S1 (0,07% ; 0,12% ; 0,2% et 0,3 pour respectivement T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1) sont plus importants que les échantillons de composts du second site expérimental S2 (T0S2, T1S2 et T2S2 pour respectivement 0,05%, 0,2 % et 0,24 %)

Qualité sanitaire des composts

Concentrations en coliformes fécaux

Le tableau 2 montre les teneurs en coliformes fécaux des échantillons de composts.

Tableau 2 Paramètres biologiques des échantillons de composts

	Unité	T0S1	T1S1	T2S1	T3S1	T0S2	T1S2	T2S2
Coliformes fécaux	UFC/100g	29000	20000	16000	10000	0	0	0
Taux de réduction	%	22	46	57	73	100	100	100

Les concentrations en coliformes fécaux des échantillons de composts du site S2 (T0S2, T1S2 et T2S2) présentent des taux de réduction complets. Les traitements (T2S1 et T3S1) du premier site expérimental S1 présentent des taux de réduction en coliformes fécaux supérieur à 50%. Mais les autres traitements (T0S1 et T1S1) ont un taux de réduction en coliformes fécaux inférieur à la moyenne (50%).

Concentrations en œufs d'Ascaris

Le tableau 3 montre les concentrations en œufs d'helminthes vivants dans les échantillons de composts.

Tableau 3 Paramètres parasitaires des échantillons de composts

Echantillons	Nombre d'œufs d' <i>Ascaris</i> /g de compost		
	Vivant(%)	Inactif(%)	Total(%)
T0S1	3,4	12,7	16,1
T1S1	2,5	10,1	12,2
T2S1	2,8	8,2	11
T3S1	2,2	7,5	9,7
T0S2	0,3	4,1	4,4
T1S2	0,4	3,3	3,7
T2S2	0,2	4,4	4,6

Les concentrations en œufs vivants d'helminthes des traitements du second site S2 (T0S2, T1S2 et T2S2) présentent des valeurs inférieures aux recommandations de l'OMS (inférieures à 1 œuf par gramme d'échantillons). Par contre les traitements du premier site expérimental S1 (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1) présentent des teneurs élevées en œufs vivants d'helminthes supérieures au seuil de recommandation de l'OMS.

DISCUSSION

Paramètres physico-chimiques des échantillons de composts

Evolution de l'humidité

La figure 2 montre que dans tous les andains de boues de vidange co-compostées avec des déchets maraichers des sites expérimentaux S1 et S2, l'humidité se situe entre 30% et 70 % durant le processus de compostage. Ces niveaux d'humidité sont comparables à ceux trouvés par plusieurs auteurs dans des andains de co-compostage de boues d'épuration et de déchets organiques (Cofie et al., 2009; Fourti, 2013 ; Temgoua et al., 2014 ; Lo et al., 2019 ; Lo, 2020). Ces auteurs ont trouvé dans leurs différentes études que l'humidité dans les andains variait entre 30 et 70 %. D'autres auteurs comme Fourti (2013) ont pu soutenir que l'humidité dans les andains doit être autour de 40% à 60% pour un compostage optimal. Fourti (2013) a, par ailleurs, affirmé qu'un pourcentage d'humidité élevé favorisait une décomposition anaérobie, tandis qu'une faible teneur en humidité ralentissait le processus de compostage et les micro-organismes mouraient ou entraient en dormance. Dans ce cas présent, le taux d'humidité est aux alentours de 30% à 60% et les microorganismes ont pu remplir leur rôle de décomposeur de la matière organique. Ainsi les lieux des expérimentations, les conditions de compostage et la taille des andains n'ont pas une influence significative sur la teneur en humidité des andains. Il est important de maintenir une fréquence régulière et une quantité raisonnable en eau selon la taille de l'andain durant le processus de compostage.

Evolution de la température

Les températures dans les différents traitements ont augmenté progressivement durant les premiers jours après la mise en andain comme dans les travaux de Biekke (2018). Dans les andains (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1) du premier site expérimental S1 la phase thermophile est beaucoup plus importante et plus longues que dans les traitements (T0S2, T1S2 et T2S2) qui ont enregistré une température maximale se situant entre 40 et 45°C comme l'ont affirmé Ruggieri et al (2008a/b).

Ainsi la phase thermophile a duré une dizaine de jours pour les traitements (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1) du premier site expérimental S1 alors qu'elle a duré presque 30 jours pour les traitements (T0S2, T1S2 et T2S2) du second site expérimental S2. Mais pour tous les traitements de deux sites expérimentaux S1 et S2, les

traitements T0S1 et T0S2 sans co-substrat (DM) ont une température moins élevée durant la phase thermophile par rapport aux autres traitements. Ainsi la phase thermophile est moins persistante car ces traitements (T0S1 et T0S2) ne contiennent pas de déchets maraichers riches en sucre et favorable à l'augmentation de la température. La dose de co-compostage ne semble pas avoir une influence significative sur les processus de dégradation de la matière organique lesquels sont responsables des variations de la température. Ces résultats sont similaires à ceux de Cofie et al (2009). En effet, ces auteurs travaillant sur des proportions de 2/1 et 3/1 en volume de déchets solides organiques et de boues de vidange domestiques ont montré que l'évolution de la température était similaire dans les différents andains. Toutefois, les températures enregistrées dans cette étude au cours de la phase thermophile sont inférieures à celles trouvées dans la littérature (Albrecht, 2007; Cofie et al., 2009 ; Temgoua et al., 2014). Ces auteurs ont trouvé dans leurs différentes études que les températures au cours de la phase thermophile étaient supérieures à 60 °C. Les faibles températures enregistrées dans cette étude peuvent être liées au faible volume des andains et à la période de mise en compostage. En effet, selon Temgoua et al (2014) les andains doivent avoir des masses de 5 à 6 tonnes d'ordures pour que la température puisse atteindre 65 à 70 °C au bout d'une semaine de compostage. Dans notre étude les andains avaient des volumes de 0,15m³ et 1 m³ pour respectivement les traitements (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1) du site S1 et les traitements (t0S2, T1S2 et T2S2) du site S2. Après la phase thermophile, la température dans les andains a progressivement baissé jusqu'à des niveaux avoisinant la température ambiante. Par ailleurs, l'évolution de la température en fonction du temps de compostage a montré que celle-ci enregistrait des hausses plus ou moins importantes après chaque retournement. Ces constats ont été faits aussi au niveau du témoin ainsi qu'au niveau des andains co-compostés avec les déchets maraichers. Ceci peut être lié au fait que selon Cofie et al (2009) ; Lo et al (2019), les retournements périodiques permettent de remettre la matière organique et aussi d'apporter l'oxygène à l'intérieur de l'andain. Lors des retournements, l'humidité est aussi ajustée à des niveaux permettant le maintien de l'activité des microorganismes.

Evolution de la matière organique

La figure 4 montre que la matière organique diminue progressivement au cours du compostage. La principale raison de cette diminution est l'utilisation par les micro-organismes des substances organiques indispensables à leur métabolisme (Francou, 2003). Parmi ces substances, le carbone est considéré comme source de nourriture et l'azote comme une enzyme digestive (Fourti, 2013). La diminution relative de matière organique est très variable et dépend des conditions de compostage et de sa durée (Séma et al ; 2021). Selon M'Sadak et Ben M'Barek (2013), le compost mûr doit avoir une teneur en MO inférieure à 50%. La teneur en MO des traitements du site S2 se situe entre 11 et 12% pour T0S2, T1S2 et T2S2 et sont en baisse par rapport aux boues de vidange non compostées (38,2%). Ces résultats sont en accord avec les travaux de Konaté et al (2018) sur les composts à base de déchets ménagers qui sont autour de 12,15%. Par contre les traitements (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1) du site S1 ont des teneurs en fin de compostage plus importantes par rapport au second site pour respectivement 27%, 23,1%, 22,2% et 19,3%. La dégradation de la matière organique MO est beaucoup plus prononcée dans les traitements (T0S2, T1S2 et T2S2) du second site S2 qu'au niveau des traitements (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1) du premier site S1. Ce phénomène s'explique par le fait que les boues de vidange utilisées pour le second site S2 ont un séjour beaucoup plus long (6 semaines de séjour) que les autres boues de vidange (3 semaines de séjour) du premier site S1. Alors il peut s'agir d'une dégradation précoce de la matière organique avant la mise en compostage pour le second site S2. La matière organique présente dans les traitements avec les co-substrats de déchets maraichers est toujours en évolution car dans ces andains (T1S2, T2S2), il y a une disponibilité de la matière organique qui sert de nourriture aux microorganismes. Aussi, selon le diagramme établi par McClintock (2005), les glucides et les sucres contenus dans les déchets maraichers ont une vitesse de dégradation importante et favorisent une baisse significative de la teneur en matière organique. Selon Said-Pullicino (2007) les glucides, les acides aminés et les protéines représentent les composés organiques solubles les plus labiles et sont utilisés préférentiellement par des microorganismes pendant la dégradation de la matière organique. C'est ce qui explique leur diminution au cours du processus de compostage comme l'ont remarqué Zaim et al. (2007) dans leurs travaux de co-compostage des boues d'épuration avec des déchets de jardin. La diminution relative de matière organique est très variable et dépend des conditions de compostage et de sa durée.

Qualité agronomique des composts

Le tableau I montre que le pH n'a pas beaucoup varié au cours du compostage pour les traitements (T0S2, T1S2 et T2S2) du site S2. Il se situe à la fin du processus de compostage autour de 7 qui est inclus dans la gamme de 3 à 11 décrite par Ammari et al. (2012) comme étant l'intervalle de pH recommandé pour les substrats compostables. Les résultats de cette partie de l'étude sont en accord avec ceux de Bokobana et al. (2017) qui ont trouvé des valeurs de pH compris entre 6 et 7 après 100 jours de compostage des boues d'épurations et des cendres de charbon résidus. Les boues de vidange non compostées (BVNC) ont des pH se situant aux alentours de 7 et au cours du compostage les traitements T0S2, T1S2 et T2S2 présentent des pH de valeurs égales à 6 et vers la fin du processus de compostage ces valeurs ont remonté jusqu'à 7. Toutefois, les traitements (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1) du site S1 ont des pH faiblement acides (entre 6,4-6,6). Ces résultats sont en contradiction avec ceux de Albrecht (2007). En effet cet auteur a affirmé que le pH augmentait graduellement au cours du compostage. Mais Cofie (2009) a affirmé que dans ses études, une baisse du pH au cours du processus est observée et ceci est probablement dû au phénomène de nitrification. Car l'ammonium est durant cette phase du compostage transformé en nitrate avec une grande teneur. En effet, ils ont montré que le pH baissait quand les fréquences de retournement sont supérieures à 7 jours. D'après ces auteurs, les fréquences de retournement supérieures à 7 jours sont responsables de la rapide conversion de l'ammonium (NH_4^+) en nitrate (NO_3^-) ou de la baisse de NH_4^+ dans le compost qui entraîne une baisse du pH. Dans cette étude, les fréquences de retournement de 10 jours peuvent donc être à l'origine de la baisse du pH.

Le tableau I montre que la conductivité électrique CE mesurée dans tous les andains en début de compostage est supérieure à celle mesurée en fin du compostage pour l'ensemble des traitements. En effet avant le processus de compostage, les boues de vidange non traitées ont des valeurs de conductivité électrique (CE) aux alentours de $2425 \mu\text{S}/\text{cm}$ et au cours du compostage les différents traitements ont des CE en baisse. En effet au début du compostage les CE de S1 présentent des valeurs variant de $1471 \mu\text{S}/\text{cm}$ à $985 \mu\text{S}/\text{cm}$ pour T0S1, $1685 \mu\text{S}/\text{cm}$ à $1307 \mu\text{S}/\text{cm}$ pour T1S1 et $1767 \mu\text{S}/\text{cm}$ à $1243 \mu\text{S}/\text{cm}$ pour T2S1. Selon Fuchs et al. (2001), la CE, pour un compost, ne doit pas dépasser $4 \text{ mS}/\text{cm}$ alors ces résultats sont en accord avec l'intervalle décliné par cet auteur.

Le tableau I montre que la plupart des paramètres suivis sont en accord avec les travaux réalisés dans le co-compostage de boues de vidange ou d'épurations avec des déchets organiques d'origine végétale (Cofie et al., 2009; López-Mosquera et al., 2011; Séma et al., 2021).

Le rapport C/N d'une matière renseigne sur sa vitesse de minéralisation (Biekke et al., 2018). La faible valeur de C/N (<12) pourrait traduire la relative rapide minéralisation de l'azote et par conséquent sa disponibilité dans les composts (Biekke et al., 2018 ; Séma et al., 2021). Pour certains auteurs, la diminution du rapport C/N traduit le degré de maturation des composts (Huang et al., 2006). Selon Nanéma (2007), cette faible valeur du rapport C/N est le signe d'un bon niveau de maturité du compost, c'est-à-dire, un compost presque minéralisé.

Le phosphore (P) a pour rôle de renforcer la résistance des plantes et contribue à la croissance et au développement des racines, de la fructification et de la mise à graine (Nadjoua et Zahra., 2016). Les teneurs en P observent une augmentation dans T2S2 (dont la part en déchets maraichers est plus importante) plus élevé, il s'agit de 1,1%, 1,7% et 1,9% respectivement pour T0S2, T1S2 et T2S2 par rapport au début du processus de compostage, 1,3% pour les boues de vidange non compostées (BVNC). Ces résultats sont similaires aux résultats de Cofie (2009). Les composts sont riches en phosphore comparables à certains auteurs comme Konaté (2018), Jagadabhi et al (2018). Par contre les teneurs en P sont moins importantes pour les traitements du site I (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1 pour respectivement 0,3%, 0,5%, 0,3% et 0,2%).

La teneur en potassium (K) est similaire pour l'ensemble des traitements des deux (02) sites S1 et S2. Mais une légère augmentation de la teneur en K est remarquée au niveau des traitements contenant les déchets maraichers comme co-substrat. Toutefois les valeurs trouvées dans les traitements T0S1, T1S1, T2S1, T3S1, T0S2, T1S2 et T2S2 pour respectivement 0,07% ; 0,12% ; 0,2% ; 0,3% ; 0,05% ; 0,2% ; 0,24%, sont en baisse par rapport aux résultats de Cofie (2009) (0,5% et 0,6%). Cependant en comparant avec les travaux de Pizongo (2014), ces composts sont riches en K car ils ont des teneurs en K supérieures aux composts de Pizongo (2014) dont les valeurs se situent aux alentours de $0,8 \text{ g}/\text{kg}$.

Qualité sanitaire des composts Concentrations en coliformes fécaux

Le tableau 2 montre une réduction importante de la concentration en coliformes fécaux (CF) dans les différents andains comparativement à leurs concentrations dans les boues de vidange non compostées (BVNC). Mais les traitements (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1 pour respectivement 22%, 46%, 57% et 73%) issus du premier site S1 ont enregistré une baisse des concentrations en CF. Toutefois les traitements (T0S2, T1S2 et T2S2) du second site S2 ont montré une élimination complète en CF dans les échantillons de composts. Les auteurs tels que Mainoo (2007) et Ndegwa et Thompson (2001) estiment que le compostage permet une élimination totale des germes pathogènes. En effet, dans un processus de compostage aérobie où les températures avoisinent les 60°C pendant plusieurs semaines, il se produit une destruction efficace des agents pathogènes (Compaoré et al., 2010). La chaleur générée aurait pour effet d'assainir les tas de composts en détruisant les micro-organismes pathogènes (Hassen et al., 2001 ; Tahraoui, 2013, Biekke et al., 2018). Dans notre étude les températures enregistrées dans les traitements du S1 sont supérieures à 50°C mais la phase thermophile est moins étendue que les traitements (T0S2, T1S2 et T2S2) du site S2 qui sont aux alentours de 40-45°C avec une phase thermophile sur une trentaine de jours et une forte réduction des pathogènes est observée après analyse au laboratoire. Aussi ces boues de vidange avant d'être compostées ont séjourné dans des lits de séchage non planté (6 semaine de temps de séjour) et l'action des rayons solaires a entamé l'élimination des germes pathogènes (Seck, 2016). Aussi les expérimentations des traitements du site S1 se sont déroulées au sein de la station d'épuration où le risque de contamination en coliformes fécaux est réel et permanent.

Concentrations en œufs d'Ascaris

Le tableau 3 montre que les composts T0S2, T1S2 et T2S2 ont des teneurs en œufs d'helminthes vivants inférieures aux recommandations de l'OMS de moins d'un (01) œuf d'helminthes par gramme de compost. La technique de compostage est connue pour son action positive dans l'inactivation des œufs de parasites. Maya et al., (2012) ont montré qu'une élévation de la température à des valeurs supérieures à 45°C permettait d'inactiver toutes les espèces de parasites au bout de 6 jours dans des conditions de pH de 5,3 et de siccité de 90 %. Aussi les boues de vidange séchées sur les lits séchage avec une grande superficie et un temps de séjour plus long pour le second site S2 ont subi un premier traitement et le compostage a renforcé l'élimination des œufs d'helminthes vivants. Mais pour les boues de vidange du premier site S1 (T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1 pour respectivement 3,4 ; 2,5 ; 2,8 et 2,2 œufs /g) avec une superficie moindre et un temps de séjour court par rapport aux traitements du second site S2.

Car les boues de vidange prélevées dans les lits de séchage ont déjà subi un début de traitement mais d'après Seck (2016), le nombre d'œufs d'Ascaris retrouvés dans les biosolides séchés à plus de 90% matière sèche (MS) reste élevé. Cependant les autres formes parasitaires sont éliminées totalement. Les biosolides contiennent une quantité d'œufs d'helminthes viables supérieure aux normes recommandées par l'OMS pour l'agriculture (< 1 œuf viable/g) (WHO 2006).

Cette résistance a également été prouvée par Koné et al. (2007) et Keffala et al. (2012). Elle est due à la présence d'une cuticule composée de plusieurs couches (trois à quatre selon le genre) et qui empêche le passage de certaines substances (acides et bases forts, oxydants, agents réducteurs et détergents).

Le passage de ces types de boues de vidange dans la technique de co-compostage permet une élimination complète des œufs viables d'Ascaris rendant le produit final sûr du point de vue sanitaire.

CONCLUSION

La technique de compostage est une méthode accessible et peu coûteuse, mais des améliorations sur la mise en pratique de la technique est à encourager et ceci a suscité l'intérêt d'une telle étude sur la comparaison de cette technologie en fonction des lieux de mise en compostage et la taille des andains.

Les résultats de cette étude ont, en effet, montré que tous les composts ont des paramètres physicochimiques en accord avec la bibliographie. Aussi les paramètres microbiologiques et parasitaires des échantillons de composts du site expérimental S2 sont conformes aux recommandations de l'OMS avec des concentrations inférieures à 1 œuf d'helminthes vivant par g de compost. Le compostage du second site expérimental S2 présente des valeurs avec une élimination complète en coliformes fécaux et en accord avec la bibliographie. Toutefois les traitements T0S1, T1S1, T2S1 et T3S1 (pour respectivement en coliformes fécaux 29.10³ UFC/100g ; 20.10³ UFC/100g ; 16.10³ UFC/100g ; 10.10³ UFC/100g et en œufs d'helminthes vivants 3,4 ;

2,5 ; 2,8 et 2,2) ont des concentrations en coliformes fécaux et en œufs d'helminthes élevées par rapport aux traitements T0S2, T1S2 et T2S2 qui ont reçu des boues de vidange avec un important temps de séjour (6 semaines) sur les lits de séchage et des andains de taille plus grande durant le processus de compostage. Les lieux expérimentaux ainsi que les conditions de mise en compostage peuvent apporter des différences significatives sur la qualité sanitaire et une multiplication des expérimentations sont encouragées pour une certification sur l'amélioration des paramètres physico-chimiques.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Albrecht, R. (2007). Co-compostage de boues de stations d'épuration et de déchets verts: Nouvelle méthodologies du suivi des transformations de la matière organique. **Thèse de doctorat en Biosciences de l'Environnement**. Faculté des Sciences et Techniques, Ecole doctorale des Sciences de l'Environnement, Université PAUL CEZANNE AIX-MARSEILLE III: 189 p.
- [2] Ammari, T. G., Al-Omari, Q., Abbassi, B. E. (2012). Composting sewage sludge amended with different sawdust proportions and textures and organic waste of food industry – assessment of quality. *Environmental Technology* **33**: 1641-1649.
- [3] APHA (2005). Standards Methods for Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Work Association, Water Environmental Federation.
- [4] Biekke, A. H. T., Tie, B. T., Dogbo, D. O. (2018). Caractéristiques physico-chimiques des composts à base de sous-produits de ferme de Songon en Côte d'Ivoire : *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 12 (1) 596-609, February 2018
- [5] Bokobana, A., Toundou, O., Kolani, L., Kokou, A., Amouzouvi, A., Koledzi, E., Tozo, K., Tchangbedji, G. (2017). Traitement de déchets ménagers par co-compostage avec la légumieuse *Cassia occidentalis* L. et quelques adjuvants de proximité pour améliorer la qualité agronomique de composts. *Déchets Sciences et Techniques* n°73 : 1-13
- [6] Capizzi-Banas, S., Deloge, M., Remy, M. and Schwartzbrod, J. (2004). Liming as an advanced treatment for sludge sanitisation: helminth eggs elimination—*Ascaris* eggs as model. *Water Research* **38**: 3251–3258.
- [7] Cofie, O., Kone, D., Rothenberger, S., Moser, D. and Zubruegg, C. (2009). Co-composting of faecal sludge and organic solid waste for agriculture: Process dynamics. *Water resaerch* **43**: 4665 – 4675.
- [8] Compaoré, E., Nanema, L. S., Bonkougou, S. and 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. *Applied Biosciences* **33**: 2076 - 2083.
- [9] Fourti, O. (2013). The maturity tests during the composting of municipal solid wastes, review. *Resources, Conservation and Recycling* **72**: 43- 49.
- [10] Francou, C. (2003). Stabilition 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 de Doctorat**. Institut National Agronomique, Ecole doctorale Abies: 244 p.
- [11] Gning JB, Diop C, Dongo K, Koné D. 2017. Facteurs déterminants le tarif de la vidange mécanique des matières de boues d'assainissement à Dakar. *International Journal Biological and Chemical Sciences*, 11(1): 313-332. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.25>
- [12] GRET (2012). La filière de gestion des boues de vidange : de l'analyse aux actions : Actes de l'atelier d'échanges. Campus du jardin tropical/France
- [13] Hassen A, Belguith K, Jedidi N, Cherif A, Cerif M, Boudabous A. (2001). Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 80: 217-225. DOI : [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00065-7)
- [14] Huang, G. F., Wu, Q. T., Wong, J. W. C., Nagar, B. B. (2006). Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology*, 97, pp: 1834-1842. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.08.024>
- [15] Jagadabhi. P.S., and al. (2018) Evaluation physico-chimique, microbienne et phytotoxique des composts à partir de paille de sorgho, de mil et de soja. *Journal International de recyclage des déchets organique en agriculture*
- [16] Keffala, C., Casimir Harerimana, C., et Jean-Luc Vassel, J. L. (2012). OEufs d'helminthes dans les eaux usées et les boues de station d'épuration : enjeux sanitaires et intérêt du traitement par lagunage. *Environnement, Risques and Santé* 11 (6), 511-520.
- [17] Konaté. Z., Abobi.H.D.A., Soko.F.D., Yao-Kouamé. A. (2018). Effet de la fertilisation des sols à l'aide des déchets ménagers solides compostés dans les décharges sur le rendement et la qualité chimique de la laitue (*Lactuca sativa* L.) *International Journal of Biological and chemical sciences*. 12(4) : 1611-1625
- [18] Koné, D., Cofie, O., Zurbrugg, G., Gallizzi, K., Moser, D., Drescher, S., Strauss, M. (2007). Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and cocomposting in tropical climates. *Water Research*, 41 (19): 4397-4402
- [19] Koné, M., Service, E., Ouattara, Y., Ouattara, P., Bonou, L., Joly, P. (2016). Caractérisation des boues de vidange dépotées sur les lits de séchage de Zagtouli (Ouagadougou). *Int. J. Chem. Sci.* 10 (6) : 2781-2795

- [20] Lô, M., Sonko, E.H. M., Dieng, D., Ndiaye, S., Diop, C., Seck, A., Gueye, A. (2019). Co-compostage de boues de vidange domestiques avec des déchets maraîchers et des déchets de poissons à Dakar (Sénégal). *International Journal Biology Chemical Sciences*. 13(6): 2914-2929
- [21] Lô, M. (2015) Valorisation des boues de vidange domestiques en agriculture : suivi de la stabilisation et des qualités microbiologique et parasitaire de boues de vidange co-compostées avec des déchets maraichers et de poissons. Mémoire de Master, Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar/Sénégal
- [22] López-Mosquera, M.E., Fernández-Lema, E., Villares, R., Corral, R., Alonso, B. and Blanco, C. (2011). Composting fish waste and seaweed to produce a fertilizer for use in organic agriculture. *Procedia Environmental Sciences* 9: 113-117.
- [23] Mainoo, N.K. (2007). Feasibility of low cost vermicompost production in Accra, Ghana. **Thèse de Doctorat**. Department of Bioresource Engineering, McGill University, Montreal: 103 p
- [24] Maya, C., Torner-Morales, F.J., Lucario, E.S., Hernandez, E. and Jimenez, B. (2012). Viability of six species of larval and non-larval helminth eggs for different conditions of temperature, pH and dryness. *Water research* 46: 4770-4782.
- [25] McClintock, N.C. (2005). Production de compost et usage dans les systèmes agricoles durables : Notes prises sur le terrain à l'intention des agriculteurs. *Center for Environmental Farming Systems*. Raleigh, NC 27695-7609. N° 3:9 PP.
- [26] Milin S. 2012. Comparaison de deux méthodes spectrophotométriques de dosage de l'acide phosphorique: Application à des sols et des végétaux. Le cahier des techniques de l'INRA (77) n°3.
- [27] Mouria, B., Ouazzani-Touhami .A., Daouira. A. (2013). Effet du compost de *Trichoderma harzianum* sur la suppression de la verticilliose de la tomate. *Journal of Applied Biosciences* 70 : 5531-5543
- [28] M'Sadak, Y. et Ben M'barek, A. (2013) Caractérisation qualitative du digestat solide de la biométhanisation industrielle des fientes avicoles et alternative de son exploitation agronomique hors sol. *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 16, n°1, 2013, 33-42.
- [29] Nadjoua. A et Zahra, A. (2016). Effet des boues actives sur quelques paramètres morpho-physiologiques de jeunes plants de *Vicia faba* Var.minor: Mémoire de Master Département des Sciences biologiques de l'Environnement, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie: Université A. Mira-Bejaia Algérie
- [30] Nanéma, S. L. (2007). Compostage et évaluation de l'efficacité agronomique du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, mémoire d'ingénieur, IPR/IFRA, Katiébougou (Mali), p. 67.
- [31] Ndegwa, P. M. and Thompson, S. A. (2001). Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresources Technology* 76(2): 107-112.
- [32] Ntangmo-Tsafack, H., E., Temgoua, E., Njine, T. (2019). Persistance de *E. coli*, des œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires contenus dans les eaux usées urbaines d'arrosage sur les cultures maraîchères à Dschang, Ouest-Cameroun. *International Journal Biology Chemical Sciences*. 13(5): 81-90,
- [33] Palm, C.A., Gachengo, C.N., Delve, R.J., Cadisch, G. and Giller, K.E. (2001). Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: Application of an organic resource database. *Agric. Ecosyst. Environ* 83: 27-42.
- [34] Pizongo. I. N. W. (2014). Réponse de variétés de gombo (*Abelmoschus esculentus* L) aux engrais chimiques et à la fumure organique. Mémoire de Master, Institut de Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso Burkina Faso
- [35] Rapport OMS/UNICEF (2020) : Les progrès accomplis à l'échelle mondiale dans le domaine de l'Eau, l'Assainissement et l'Hygiène dans les établissements de santé (2020)
- [36] Ruggieri, L., Artola, A., Gea, T. and Sanchez, A. (2008a). Biodegradation of animal fats in a co-composting process with wastewater sludge. *International Biodeterioration & Biodegradation* 62: 297-303.
- [37] Ruggieri, L., Gea, T., Artola, A., Sanchez, A. and Group, G.C.R. (2008b). Influence of different co-substrates biochemical composition on raw sludge co-composting. *Biodegradation* 19: 403-415.
- [38] Said-Pullicino, D. and Gigliotti, G. (2007). Oxidative biodegradation of dissolved organic matter during composting. *Chemosphere* 68: 1030-1040.
- [39] Seck. A. (2016). Optimisation du séchage des boues de vidange domestiques de Dakar (Sénégal) par des lits de séchage non plantés pour une valorisation énergétique des biosolides : caractérisation physico-chimique, calorifique et biologique. Thèse de doctorat unique, Ecole Doctorale Des Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar/ Sénégal
- [40] Séma, A. I. M., Koledzi, E. K., Krou, N. M et Tcha-Tho, (2021). M. Etude comparée de la ventilation naturelle et automatique à l'aide de tuyaux perforés et du procédé classique de retournements des andains en compostage. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 15(1): 354-366
- [41] Strande L., Ronteltap M., Brdjanovic D. (Eds.) (2014). *Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation*. IWA Publishing. Édition française 2018.
- [42] Tahraoui, N. D. (2013). Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef, Algérie. Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 244p.

- [43] Temgoua, E., Ngnikam, E., Dameni, H. and Kouedou Kameni, G.S. (2014). Valorisation des ordures ménagères par compostage dans la ville de Dschang, Cameroun. *TROPICULTURA* **32**: 28-36.
- [44] Ukondalemba, L.M. (2016). Caractérisation et tests de traitement des déchets ménagers et boues de vidange par voie anaérobie et compostage pour la ville de Kinshasa, Thèse de doctorat, Unité Assainissement et Environnement, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Liège Belgique
- [45] Useni, S. Y. et al. (2013). Utilisation des déchets humains recyclés pour la production du maïs de la RD Congo *Journal of Applied Biosciences*. **66**: 5070-5081
- [46] WHO (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater; World Health Organization: Geneva. Vol. 4: 182.
- [47] Zaim, N., Souabi, S., Aboulhassan, A., Aboulam, S., Morvan, B. (2007). Compostage des boues produites à la station d'épuration d'une huilerie, en mélange avec des déchets de jardin : *Déchets - Revue Francophone D'écologie Industrielle* - N° 48-4 Trimestre 2007

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts pour cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Tous les auteurs ont contribué à la réalisation de ce travail et à la rédaction du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le laboratoire de l'Institut National de Pédologie (INP) du Sénégal et le laboratoire de l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS) pour leurs contributions dans la réalisation des analyses des différents paramètres ayant permis de caractériser les composts. Les auteurs remercient par ailleurs l'ONAS pour avoir hébergé l'équipe des chercheurs. La conception et la planification de l'étude ont été rendues possibles grâce à l'appui de l'équipe de chercheurs du Laboratoire d'Étude Environnementales des Milieux Urbains (LEEMUR) de l'Institut des Sciences de l'Environnement (ISE) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD).