



ISSN: 0976-3376

Available Online at <http://www.journalajst.com>

ASIAN JOURNAL OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Asian Journal of Science and Technology
Vol. 15, Issue, 12, pp. 13306-13312, December 2024

RESEARCH ARTICLE

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DE COMPOSTS PRODUITS À BASE DE DÉCHETS ORGANIQUES MUNICIPAUX TRIÉS À LA SOURCE DANS LA VILLE DE TIASSALÉ, EN CÔTE D'IVOIRE

Dotanhan Yeo^{1,2*}, Abdoul Kawiyou Traore³, Boza Fulgence Deabo³ and Kouassi Dongo^{2,3}

¹Unité de Formation et de Recherche Agriculture, Ressources Halieutiques et agro-industries (UFR AHAI), Université de San Pedro, Côte d'Ivoire, BP 1800 San Pedro, Côte d'Ivoire ; ²CSRS: Centre Suisse de Recherche Scientifique en Côte d'Ivoire, 01 BP 1303 Abidjan 01, Côte d'Ivoire; ³Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR STRM), Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

ARTICLE INFO

Article History:

Received 11th September 2024
Received in revised form
26th October, 2024
Accepted 14th November, 2024
Published online 28th December, 2024

Keywords:

Déchets, Biodégradables, Organique, Tri, Compost, Qualité Chimique, Microbiologique, Tiassalé, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

Le tri à la source de déchets organiques municipaux est généralement présenté comme la solution pour l'amélioration de la qualité des composts produits à partir de déchets solides municipaux en Afrique Sub-saharienne. Cependant, l'impact réel de cette pratique sur la qualité des composts produits est encore très peu investigué. Cette étude avait pour objectif d'évaluer la qualité chimique et microbiologique des composts produits à base de déchets organiques triés à la source dans la ville de Tiassalé. Pour ce faire, les paramètres physico-chimiques ont été suivis au cours du processus de compostage et des analyses chimiques et microbiologiques ont été réalisées sur des échantillons de composts. Les résultats ont montré que les fortes températures (jusqu'à 70°C) observées au cours du processus de compostage permettaient d'éliminer l'essentiel des germes pathogènes. Les pH des composts produits étaient alcalins (9,10) et leurs rapports C/N étaient inférieurs à 15, traduisant ainsi la maturité de ces composts. Les composts produits étaient riches en éléments nutritifs et leurs teneurs en métaux lourds largement inférieures aux seuils autorisés par les normes française et allemande. Ces composts peuvent donc être utilisés en agriculture. Ces résultats confirment donc l'efficacité de la pratique du tri à la source dans l'amélioration de la qualité des composts produits à base de déchets organiques municipaux.

Citation: Dotanhan Yeo, Abdoul Kawiyou Traore, Boza Fulgence Deabo and Kouassi Dongo. 2024. "Évaluation de la Qualité Chimique et Microbiologique de Composts Produits à base de Déchets Organiques Municipaux triés à la Source Dans la ville de Tiassalé, en Côte d'Ivoire", *Asian Journal of Science and Technology*, 15, (12), 13306-13312.

Copyright©2024, Dotanhan Yeo et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

Les flux de déchets solides municipaux en Afrique Sub-saharienne sont dominés par la fraction organique. Selon la littérature, cette fraction représente entre 50 et 70% des flux de déchets solides municipaux (Kaza, 2018). Malgré leur biodégradabilité, l'enfouissement demeure la principale méthode de traitement de ces déchets (Drescher et Zurbrugg, 2006; Thanh et Matsui, 2011). Les conséquences de cette pratique sont nombreuses : propagation des vecteurs de maladies et des mauvaises odeurs, pollution des eaux souterraines et de surface par les lixiviats générés et la production d'importantes quantités de méthane (CH₄), un gaz à effet de serre 28 fois plus puissant que le dioxyde de carbone (Zurbrugg et al., 2004; Drescher et Zurbrugg, 2006; Myhre, 2013). Pourtant ces déchets organiques peuvent être transformés en des produits utiles par des biotechnologies tels que le compostage, la méthanisation et la pyrolyse. Parmi ces technologies, le compostage et plus particulièrement le compostage décentralisé est présenté comme la solution la plus adaptée au contexte des pays en développement (Drescher et Zurbrugg, 2006; Thanh et Matsui, 2011).

En effet, les unités de compostage décentralisé, du fait de leur petite taille (capacité de traitement comprise entre 3 et 10 tonnes par jours) sont moins coûteuses et nécessitent peu de compétence technique (Zurbrugg et al., 2004; Bromblet et Somaroo, 2015). Cependant les premières initiatives de compostage décentralisé en Côte-d'Ivoire comme ailleurs en Afrique Sub-saharienne se sont soldées par des échecs (Charnay, 2005; Bromblet et Somaroo, 2015). Ces échecs étaient pour la plupart dû à la mauvaise qualité des composts produits. Ces dernières années, le tri à la source est proposé par les chercheurs et les praticiens comme la solution pour l'amélioration de la qualité des composts produits par ce type d'unité de compostage. En effet, le tri à la source permet de réduire la charge de travail (le tri des déchets mixtes représente jusqu'à 50 % du temps de travail), d'éviter la contamination des déchets compostables par des produits ou matériaux dangereux et de réduire la proportion de sable dans les déchets compostables (Bromblet et Somaroo, 2015). Cependant, l'absence de données scientifiques sur l'impact de cette pratique sur la qualité des composts produits constitue l'un des principaux freins au développement des unités de compostage avec tri à la source des déchets organiques. Cette étude avait pour objectif de combler ce gap en évaluant la qualité chimique et microbiologique des composts de déchets organiques triés à la source, produits par l'unité pilote de compostage décentralisé de la ville de Tiassalé. Il s'agissait plus spécifiquement de : i) suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours du processus de compostage, ii) évaluer les

*Corresponding author: Dotanhan Yeo,

Unité de Formation et de Recherche Agriculture, Ressources Halieutiques et agro-industries (UFR AHAI), Université de San Pedro, Côte d'Ivoire, BP 1800 San Pedro, Côte d'Ivoire

caractéristiques physico-chimiques et chimiques des composts et *iii*) évaluer la qualité sanitaire des composts produits par cette unité. Les résultats de cette étude pourraient encourager les agriculteurs à utiliser ce type de composts d'une part et d'autre part favoriser l'installation d'un système durable de compostage décentralisé avec tri à la source des déchets organiques dans la ville de Tiassalé et dans des centres urbains similaires.

MÉTHODES

Présentation de la ville de Tiassalé et du système pilote de compostage décentralisé: La ville de Tiassalé est située au Sud de la Côte d'Ivoire à 120 km de la ville d'Abidjan, la capitale économique du pays. Selon le dernier recensement de la population de 2014, la ville de Tiassalé compte 20 057 habitants pour une superficie d'environ 2 000 m² (INS, 2015). L'unité pilote de compostage de la ville de Tiassalé traite les déchets organiques collectés auprès d'un échantillon représentatif de 230 ménages (Figure 1). Cette taille de l'échantillon a été définie en fonction de la capacité de traitement de l'unité de compostage. Les ménages participants ont été sélectionnés dans cinq quartiers de la ville et formés au tri de leurs déchets ménagers en deux fractions : les déchets inorganiques (plastiques, sables, couche-culotte, métaux, batteries, piles, etc.) et organiques (restes de nourritures, peaux de banane et manioc, pelures d'orange, papier, etc.).

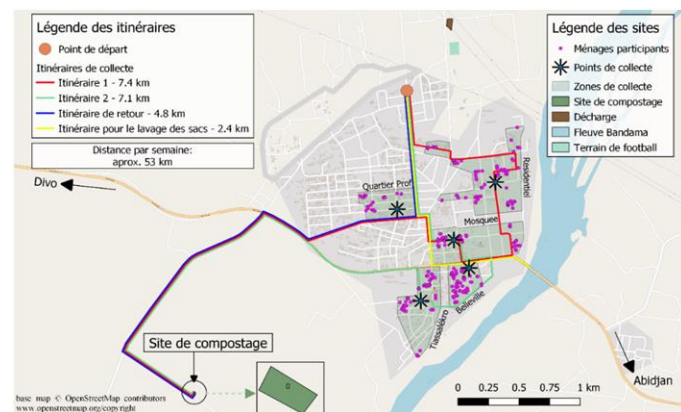


Figure 1. Schéma de collecte des déchets organiques

Des bacs à poubelles de 30 litres tapissés de sacs tissés ont été distribués aux ménages sélectionnés pour le stockage de la fraction organique des déchets ménagers (Figure 2). Les sacs contenant la fraction organique des déchets ménagers sont collectés porte à porte, trois fois par semaine et des sacs de rechange sont fournis à chaque passage aux ménages pour éviter les mauvaises odeurs dans les ménages. La collecte et le transport de ces déchets sont assurés par les deux employés de l'unité pilote de compostage dotée d'un tricycle. Ces employés ont préalablement été formés à la différenciation des déchets compostables des non compostables et chargé de suivre la qualité des déchets collectés et d'encadrer les ménages.

Description du procédé de compostage: La production du compost est réalisée à partir de deux substrats : déchets organiques issus du tri effectué par les ménages et la fiente de poule. Deux types de compost sont produits : celui fait uniquement à partir des déchets organiques (compost A) et celui issu de la combinaison de déchets organique (75%) et de fientes de poule (5%) (compost B). Le compostage est réalisé dans cette unité selon la méthode des andains retournés. Le processus de compostage peut être subdivisé en trois principales étapes:

Première étape : mise en andains: Cette étape comprend la phase de pesée et de la mise en andains. Après la pesée, les déchets organiques sont mis en tas pour constituer des andains de forme triangulaire de 2 m de diamètre et 1,5 m de hauteur pour une masse moyenne de 1,5

tonne pour les deux types d'andains (Carsten Bachert *et al.*, 2008; Rothenberger *et al.*, 2006).

Deuxième étape: suivi des andains: Le processus de compostage dure trois mois: un mois pour la phase active et deux mois de maturation. Au cours de la phase active, les andains sont retournés et arrosés avec environ 40 litres d'eau une fois par semaine puis une fois toutes les deux semaines pendant la phase de maturation.



Figure 2. Bacs à poubelles destinés au stockage des déchets organiques

Troisième étape : tamisage du compost mature: Au terme des trois mois de compostage, le compost mature est criblé manuellement en trois fractions granulométriques : les résidus (diamètre >20 mm), les composts de diamètre compris entre 20 et 10 mm et les composts de diamètre inférieur à 10 mm. Les composts sont mis en sac (d'environ 60 kg) et vendus aux agriculteurs au prix de 125 FCFA le kilogramme de compost de diamètre inférieur à 10 mm et 75 FCFA pour celui de diamètre compris entre 10 et 20 mm, tandis que les résidus sont mis en décharge.

Evaluation de la qualité des composts produits: Dans le cadre de cette étude, quatre andains ont été suivis pour les deux types d'andains, soit un total de huit andains. Une approche méthodologique à deux étapes a été utilisée pour l'évaluation de la qualité des composts. La première étape a consisté au suivi des paramètres physico-chimiques au cours du processus de compostage et la seconde, en la conduite d'analyse de laboratoire pour évaluer les teneurs des composts produits en éléments nutritifs et en métaux lourds et leurs niveaux d'hygiénisation à travers des analyses microbiologiques.

Suivi des paramètres physico-chimiques au cours du processus de compostage

Évolution de la température: Au cours de cette étude, la température des andains a été mesurée quotidiennement à l'aide d'une sonde Tynitag® couplée à un ordinateur portable. Pour chaque andain, quatre mesures étaient effectuées à mi-hauteur de chaque flanc de l'andain. Les mesures s'effectuaient en plantant la sonde thermométrique à environ 0,5 m de profondeur de l'andain, puis la température est relevée après la stabilisation des valeurs. La température de l'andain est considérée comme étant la valeur moyenne des températures des quatre points de mesure. Lorsque la hauteur de l'andain devient inférieure à 0,5 m, une seule mesure à mi-hauteur est effectuée par andain.

Évolution du pH: Le pH des andains a été également mesuré quotidiennement à l'aide d'un pH-mètre pour sol de marque Hana instrument®. Ce pH-mètre permet d'effectuer des mesures directes de pH sur le tas en décomposition. Le protocole de mesure est similaire à celui de la température. La sonde était soigneusement rincée à l'eau

distillée entre deux mesures successives pour avoir des valeurs qui reflètent le pH réel des points sondés.

Analyses au laboratoire

Échantillonnages des substrats compostés et des composts produits:

Au terme du processus de compostage, des échantillons de compost d'environ 500 g ont été prélevés dans quatre différents andains pour chaque type d'andain. Ensuite, ces échantillons ont été homogénéisés dans un seau de 10 litres puis quartés pour obtenir un échantillon représentatif de 2 kg. Ce dernier échantillon est encore divisé en deux lots de 1 kg chacun. Le premier lot était destiné aux analyses microbiologiques et le second aux analyses physico-chimiques et chimiques.

Analyses physico-chimique et chimique des composts: Ces analyses ont concerné les paramètres tels que le pH, la salinité, l'humidité, la teneur en matière organique, en carbone organique, en éléments majeurs et mineurs et les teneurs en métaux lourds. Le taux d'humidité a été mesuré en séchant 100 g de chaque substrat pendant 48 heures à $105 \pm 2^\circ\text{C}$ à l'étuve. La matière organique a été mesurée par calcination de la matière sèche à 550°C pendant 4 heures. Le pH et la conductivité ont été déterminés sur des suspensions aqueuses (1:2,5 H_2O) des substrats. La teneur en carbone organique a été déterminée selon la méthode de Walkey et Black et l'azote total par la méthode Kjeldahl. Les teneurs en phosphore total, potassium total, CaO et MgO et en métaux lourds (Pb, Ni, Cd, Zn, Cu, Hg, Cr) ont quant à elles été déterminées au spectromètre d'absorption atomique (SAA).

Analyses microbiologiques: Pour le dénombrement des *E. coli*, des streptocoques fécaux et de *Clostridium perfringens*, 10 g d'échantillon de compost ont été introduit dans 90 ml d'eau peptonée tamponnée (EPT), puis agitée manuellement pendant 10 minutes, pour libérer le maximum de la charge microbienne. Ces micro-organismes ont ensuite été dénombré selon la méthode du nombre le plus probable (NPP) (Rodier *et al.*, 1996). Quant au dénombrement de *Salmonella* sp, une masse de 25 g de compost a été introduite dans 225 ml d'EPT et incubée à 37°C pendant 18 heures. Cette phase constitue l'étape du pré-enrichissement. Cette phase est suivie de la phase d'enrichissement, pendant laquelle un volume de 0,1 ml du bouillon de pré-enrichissement est transféré dans un tube contenant 10 ml de Rappaport-Vassiliadis avec soja (bouillon RVS). Après incubation, une anse a été utilisée pour ensemençer la surface de deux boîtes de pétri de 90 mm de diamètre, contenant la gélose *Salmonella* Shigella (SS agar).

RÉSULTATS

Évolution des paramètres physico-chimiques au cours du processus de compostage

Évolution de la température: La figure 3 présente l'évolution moyenne de la température des deux types d'andains (andains de type A et B) de l'unité pilote de compostage. Ces courbes montrent des allures différentes. Pour les andains A, la courbe d'évolution de la température montre trois phases (phases mésophiles, thermophiles et de maturation). La phase mésophile dure en moyenne cinq jours, pendant laquelle les températures restent inférieures à 50°C . Cette phase est suivie par la phase thermophile où les températures sont élevées (supérieures à 50°C) avec un pic de $73,5^\circ\text{C}$ atteint au 20e jour, cette phase dure 42 jours en moyenne. La troisième et dernière phase dite de maturation est caractérisée par une diminution des températures jusqu'à 38°C et dure 50 jours en moyenne. En revanche, la courbe d'évolution de la température des andains de type B ne comporte que deux phases (les phases thermophiles et de maturations). La phase thermophile de ces andains débute au lendemain de la mise en tas et dure en moyenne 30 jours contre 50 jours pour les andains de type A. Le pic de température de la phase thermophile de ces andains est plus important ($77,23^\circ\text{C}$) et est atteint seulement cinq jours après la mise en tas.

Évolution du pH: Comme pour la température, l'évolution moyenne des pH des deux types d'andains montre des allures différentes (Figure 4). La courbe d'évolution du pH des andains de type A, montre une phase acidogène pendant la première semaine après la mise en tas, où le pH passe de 5,74 à 4,98, suivie d'une phase d'alcalinisation au cours de laquelle le pH augmente progressivement pour se stabiliser autour de 8,8 à la fin du processus.

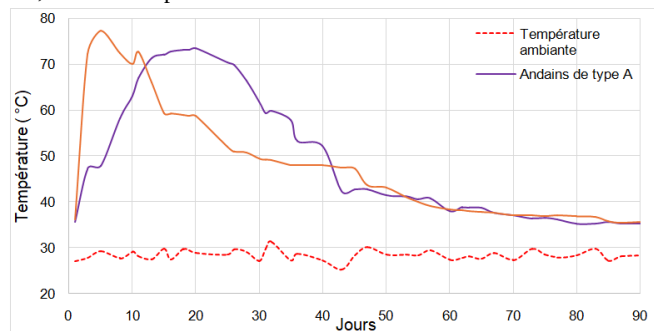


Figure 3. Évolution moyenne de la température dans les deux types d'andains

Par contre, dans le cas des andains de type B, aucune phase acidogène n'a été observée. Seule la phase d'alcalinisation est visible et le pH au terme des trois mois de compostage est également autour de 8,8.

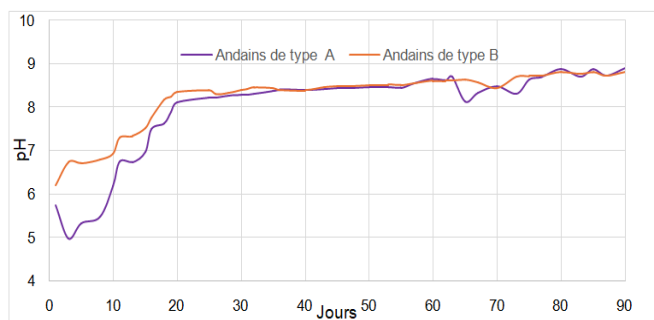


Figure 4. Évolution moyenne du pH dans les deux types d'andains

Caractéristiques physico-chimiques et composition chimique des composts:

Le tableau 1 présente les résultats des analyses physico-chimiques et chimiques des composts. Les deux types de composts ont des pH alcalins, légèrement supérieurs à la valeur limite recommandée (8,5) pour les composts destinés au secteur de l'agriculture. De même, les conductivités électriques des deux types de composts sont largement supérieures à la valeur limite recommandée ($4.103 \mu\text{S}/\text{cm}$) pour les composts. La teneur en matière organique et le ratio C/N des composts se trouvent dans les intervalles recommandés. Comme on pouvait s'y attendre, la concentration en éléments nutritifs du compost de type B est légèrement supérieure à celle du compost de type A.

Teneurs en métaux lourds: Les teneurs moyennes en métaux lourds des deux types de composts sont consignées dans le tableau 2. Les teneurs en métaux lourds des composts produits sont très proches. Compte tenu de l'absence de normes sur les composts en Côte d'Ivoire, ces valeurs ont été comparées aux valeurs limites des normes française et allemande. Il ressort de cette comparaison que les teneurs des deux types de composts sont conformes aux normes de ces deux pays.

Qualité sanitaire des composts produits: Les résultats des analyses microbiologiques réalisées sur les deux types de composts ont révélé que les composts produits sont conformes aux normes françaises (NF U 44-051) relatives aux amendements organiques (Tableau 3). En effet, aucune colonie d'*Escherichia coli*, de streptocoques fécaux ou de *salmonella* n'a été détectée dans les deux types de composts. L'on note cependant la présence de quelques spores de *clostridium*.

DISCUSSION

Efficacité du processus de compostage: Le suivi des paramètres physico-chimiques renseigne sur le bon déroulement du processus de compostage et donc sur la compostabilité des substrats utilisés.

et 77,23°C pour les andains de type A et B respectivement. Ces pics sont supérieurs à ceux obtenus à Abomey-Calavi (Topanou, 2012) et à Lomé (Koledzi, 2010) lors du compostage déchets organiques. Cette phase dure en moyenne 30 jours pour les andains de types A et de 42 jours pour les andains de type B.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques et chimiques des composts

Paramètres	Unités	Compost A		Compost B		Valeur optimale
		Moyenne	E. type	Moyenne	E. type	
pH	-	9,10	0,40	9,10	0,32	6,5 – 8,5 [1]
Conductivité	µs/cm	8,10.10 ³	0,14	9,40.10 ³	0,14	< 4.10 ³ [2]
Humidité	%	12,60	0,90	12,15	0,49	-
Matière sèche	%	87,40	0,90	87,85	0,49	-
Matière organique	%	39,20	3,30	41,06	4,51	>20 [1]
Taux de cendre	%	60,80	7,20	58,94	5,25	<80 [1]
Carbone organique	g/kg	179,67	3,54	198,24	14,14	-
Azote total (N)	g/kg	15,90	1,30	16,90	1,40	10 – 30 [3]
Rapport C/N	-	11,30	0,10	11,73	0,05	<15 [4]
Phosphore assimilable (P)	g/kg	5,20	0,60	7,52	0,91	2 – 20 [5]
Potassium (K)	g/kg	32,10	1,50	34,37	0,89	>10 [5]
Calcium (Ca)	g/kg	23,30	0,42	24,95	0,49	-
Magnésium (Mg)	g/kg	4,16	0,16	5,21	0,16	-
Hydrogène (H)	mg/kg	16,00	1,41	20,30	0,49	-
Soufre (S)	mg/kg	3,50	0,14	3,40	0,28	-

[1](Bernal et al., 2017) ; [2](Jara-Samaniego et al., 2017b) ; [3] (Fan et al., 2018); [4](Pathak et al., 2011) ; [5](Hitman et al., 2013).; Composts A= compost produit à partir de déchets organiques municipaux; Compost B= compost produit à partir d'un mélange de déchets organiques municipaux et de fiente de poule.

Tableau 2. Teneurs en métaux lourds des composts

Paramètres	Unités	Compost A		Compost B		France ¹	Allemagne ²	Allemagne ²
		Moyenne	E. type	Moyenne	E. type		(Classe I)	(Classe II)
Plomb (Pb)	mg/kg	18,70	0,42	15,50	1,10	180	100	150
Nickel (Ni)	mg/kg	7,90	0,14	7,15	1,30	60	35	50
Cadmium (Cd)	mg/kg	0,40	0,21	0,25	0,07	3	1	1,5
Zinc (Zn)	mg/kg	152,00	14,14	221,65	1,91	600	300	300
Cuivre (Cu)	mg/kg	25,40	0,92	29,75	0,55	300	70	100
Mercure (Hg)	mg/kg	0,20	0,00	0,41	0,01	2	0,7	1
Chrome (Cr)	mg/kg	31,00	1,13	12,4	0,57	120	70	100

¹Association française de normalisation des normes de compostage : NF U44-051 (Friedrich et Trois, 2013); ²Ordonnance Allemande sur les déchets organiques : taux d'application du compost dans une période de 3 ans : classe I -30 t de matière sèche par ha ; classe II : 20 t de matière sèche par ha (BioAbfV, 1998) ; Composts A= compost produit à partir de déchets organiques municipaux ; Compost B= compost produit à partir d'un mélange de déchets organiques municipaux et de fiente de poule.

Tableau 3. Dénombrement des micro-organismes dans les composts

Micro-organismes	Compost A	Compost B	NF U 44-051 ¹
Escherichia coli (UFC/g)	Absent	Absent	100
Streptocoques fécaux (UFC/g)	Absent	Absent	10 000
Clostridium (UFC/g)	< 10 UFC/g	60 UFC/g	-
Salmonella spp. (UFC/g)	Absent	Absent	Absent/25g

¹Association française de normalisation des normes de compostage : NF U44-051 ; Composts A= compost produit à partir de déchets organiques municipaux ; Compost B= compost produit à partir d'un mélange de déchets organiques municipaux et de fiente de poule.

Il permet également d’apprécier la qualité du compost élaboré et leur maturité au terme des 90 jours de compostage. Les courbes d’évolution de la température et du pH obtenus dans cette étude montrent que ces paramètres ont globalement évolué suivant les trois phases du processus de compostage (phase mésophile, thermophile et de maturation) décrit dans la littérature (Knoop et al., 2018; Pathak et al., 2011). La courbe d’évolution de la température des andains de type A, comporte une phase mésophile, pendant laquelle les températures restent inférieures à 50°C (Guo et al., 2012). Au cours de cette phase, les organismes mésophiles se multiplient rapidement grâce aux sucres et acides aminés facilement utilisables. Ces organismes produisent de la chaleur par leur propre métabolisme, ce qui entraîne une augmentation de la température jusqu’à un point où leurs propres activités sont inhibées. L’absence de cette phase au niveau des andains de type B, proviendrait de l’addition de fiente de volaille aux substrats de ces andains. En effet, l’ajout de fiente apporte d’une part de l’azote facilement utilisable, ce qui ramène le rapport C/N à un niveau optimal et d’autre part, elle joue le rôle d’inoculum en apportant de nombreux micro-organismes. Pendant la phase thermophile (>50°C) les températures augmentent rapidement pour atteindre un pic de 73,5°C

Ces résultats démontrent que l’addition de fiente a un effet positif sur l’accélération de la dégradation des déchets organiques au cours du processus de compostage. L’élévation rapide de la température observée pendant cette phase serait due à la forte activité microbienne induite par la présence de matières organiques facilement biodégradables (Nakasaki et al., 2019). La chaleur générée accélère la décomposition des protéines, des graisses et des sucres complexes telles la cellulose et l’hémicellulose d’une part et entraîne la réduction des pathogènes et éliminer les graines d’adventices d’autre part (Waksman et al., 1939). En effet, plusieurs études menées sur le compostage de divers déchets organiques ont révélé qu’une température comprise entre 55 et 60 °C pendant trois jours permettait d’éliminer les agents pathogènes (Zhang et al., 2013; Sadaka et El – Taweel, 2003). Au cours de la troisième et dernière phase du processus de compostage (phase de maturation), les températures des deux types d’andains ont baissé graduellement pour se stabiliser à un niveau proche de la température ambiante. Cette baisse de température pourrait s’expliquer par un ralentissement de l’activité des micro-organismes dû à l’épuisement des matières organiques facilement dégradables (Bernal et al., 2017). Selon Temgoua (2014)

la stabilisation de la température à une valeur proche de la température ambiante traduirait la maturité du compost. Les pH moyens des deux types d'andains étaient tous légèrement acides en début de compostage, mais se trouvent dans l'intervalle optimal de 5,5- 8 recommandés pour un bon déroulement du processus de compostage. Cependant, le pH moyen des andains de type B, est moins acide avec une valeur de 6,4 contre 5,74 pour les andains de types A. L'ajout de fiente de volaille (pH=7,6) dans la composition des andains de type B expliquerait le relèvement du pH de ces andains. Ce pH initial proche de la neutralité des andains de type B, pourrait expliquer l'absence de phase acidogène dans l'évolution du pH de ces andains. La phase acidogène observée pendant la phase mésophile du processus de compostage des andains de types A, est due à la production d'acides organiques et de dioxyde de carbone (CO₂) par les bactéries acidogènes, décomposeurs du matériel carbone complexe (Haug, 2018). Cette phase acidogène a également été observée dans des études similaires (Mohammed *et al.*, 2016; Tognetti *et al.*, 2007). Pour les deux types d'andains, la phase thermophile est caractérisée par une augmentation du pH des substrats, passant ainsi d'un pH acide à un pH alcalin. Cette élévation du pH est due à la dégradation des acides organiques et la formation d'ammoniac à partir de la minéralisation des acides aminés et des protéines (Bernal *et al.*, 2017; Sundberg et Jönsson, 2005). Dans la dernière phase du processus de compostage (la phase de maturation), les pH augmentent légèrement puis se stabilisent à 8,8 au terme des 90 jours de compostage, quelle que soit la composition de l'andain. Cette stabilisation du pH à la fin du processus est attribuée à l'oxydation de l'ammonium par les bactéries et la précipitation du carbonate de calcium (Beck-Friis *et al.*, 2003).

Qualité physico-chimique, chimique et sanitaire des composts produits: Les composts produits avaient le même pH (9,1). Cette valeur est statistiquement similaire à la valeur maximale recommandée (8,5) au seuil de 5% (Bernal *et al.*, 2017). L'utilisation de ces composts en agriculture locale permettrait ainsi de réduire l'acidité des sols de cette région dont le pH se situe entre 5 et 6 (Godefroy, 1975), et d'améliorer leur capacité de rétention des éléments nutritifs apportés par les engrais chimiques. Ce pH alcalin est probablement dû à la présence de cendre de bois dans les déchets organiques étant donné que le bois constitue le principal combustible de cette région. En effet, sous leur forme hydrosoluble, les ions K⁺ contenus dans la cendre peuvent se combiner aux ions bicarbonates (HCO₃⁻) générés pendant la phase de minéralisation de la matière organique pour former de l'hydroxyde de potassium (KOH), une base forte (Jara-Samaniego *et al.*, 2017a). De même, la biodégradation des acides organiques et la minéralisation des composés organiques favorisent également l'augmentation du pH (Paredes *et al.*, 2000). Les deux types de composts présentent des conductivités électriques (CE) supérieures à la valeur limite (<4 µs/cm) recommandée. Ces résultats indiquent que les composts produits sont salins. Selon Singh et Kalamdhad (2014), les composts à forte salinité sont potentiellement phytotoxique pour la croissance des plantes. Les teneurs en eau des deux types de composts sont très faibles (12,6% et 12,15% pour les composts de type A et B respectivement). Ces valeurs sont très inférieures à la limite maximale de 35% recommandée par les normes Allemande pour les composts en sacs. Ces faibles humidités ont l'avantage de réduire le coût du transport. Les rapports C/N des deux types de composts produits étaient de 11,30 et 11,73 pour les composts A et B respectivement. Ce ratio est l'un des paramètres les plus communément utilisés pour évaluer la maturité des composts. Selon Pearson *et al.* (2004) et Confesor *et al.* (2008), un rapport C/N inférieur à 15 est un indice de stabilité et de maturité du compost. La stabilisation de la température et du pH des andains au bout des 90 jours de compostage et le fait que les rapports C/N des composts produits soit inférieurs à 15, permettent de conclure que les composts produits étaient matures au terme des 90 jours de compostage.

Les teneurs en éléments majeurs (NPK) des deux types de compost étaient dans la gamme des valeurs recommandées pour une utilisation en agriculture (Van Fan *et al.*, 2018; Hitman *et al.*, 2013). Les concentrations de ces éléments étaient plus élevées dans les composts de type B, mais aucune des différences observées n'était significative au seuil de 5%. Ce résultat est certainement dû au faible ratio fiente/déchets organique (5%) utilisé dans cette étude. Les teneurs en

N, P et K permettent d'évaluer la qualité des composts. La teneur en azote (N) du compost de type B était de 16,9 g/kg contre 15,9 g/kg pour le compost de type A. Selon Fan *et al.* (2018) les teneurs optimales en azote des composts destinés à une utilisation en agriculture se situent entre 10 et 30 g/kg. Les teneurs en phosphore assimilable des deux composts se trouvent dans l'intervalle des valeurs recommandé (2 – 20 g/kg) pour une utilisation en agriculture. De même, ces composts ont des teneurs en potassium supérieur à la valeur minimale de 10 g/kg recommandé par Hitman *et al.* (2013). Ces teneurs en nutriments (NPK) des composts produits sont plus élevées que celles rapportées dans la littérature en Afrique subsaharienne (Temgoua *et al.*, 2014; Compaoré et Nanéma, 2010; Tchanate *et al.*, 2017). Les teneurs en métaux lourds des deux types de compost étaient très proches et largement inférieures aux valeurs limites préconisées par les normes françaises NF U44-05 et allemandes (classe I et II). Pour illustration, les teneurs en métaux lourds du compost A étaient 89,6% plus faible que la valeur limite recommandée par la norme NF U44-05 pour le Pb, 86,8% plus faible pour le Ni, 86,7% plus faible pour le Cd, 74,7% plus faible pour le Zn, 91,5% plus faible pour le Cu, 90% plus faible pour le Hg et 74,2% plus faible pour le Cr. Ces teneurs sont inférieures aux valeurs rapportées pour l'unité de compostage de déchets ménagers de la ville de Dschang au Cameroun (Temgoua *et al.*, 2014). Cette différence pourrait s'expliquer par la qualité des substrats compostés. En effet, l'unité de compostage de Dschang traite les déchets ménagers mixtes collectés par les services publics, contrairement à l'unité de compostage de Tiassalé, qui traite des déchets organiques triés à la source par les ménages. Par ailleurs, les teneurs en métaux des composts produits à Tiassalé sont également inférieures à ceux de l'unité de compostage de Água-Grande (Sao Tomé-et-Principe) qui comme à Tiassalé, traite des déchets organiques triés à la source. Cette différence proviendrait des fortes teneurs en impuretés des déchets organiques collectés dans les deux marchés que couvre que l'unité de compostage de Água-Grande. Ces faibles teneurs en métaux lourds confirment l'efficacité du tri (98,94%) des déchets organiques opéré par les ménages à Tiassalé. Toutefois, les teneurs relativement importantes de certains éléments tels que le zinc, le cuivre et le chrome laissent craindre des risques d'accumulation de ces éléments suite à un épandage régulier de compost dans les champs. Les résultats des analyses microbiologiques ont montré que les deux types de composts ne contenaient aucun germe d'*Escherichiacoli*, de *Streptocoques fécaux* et de *Salmonella spp.* La présence de spores de *Clostridium perfringens* dans les deux types de compost est due à la capacité de ces bactéries à survivre à des températures élevées. En effet, ces bactéries se transforment en endospores lorsque le milieu devient défavorable (haute température). Selon Lasaridi *et al.* (2018), une réduction de moitié de la concentration initiale de ces micro-organismes est considérée comme satisfaisante. Par ailleurs, il n'existe pas de seuil pour ce paramètre dans la norme française NF U 44-051. Les composts produits sont donc conformes aux normes françaises relatives aux amendements organiques. Ces résultats confirment l'effet hygiénisant des hautes températures observées pendant la phase thermophile du processus de compostage.

CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'évaluer la qualité chimique et microbiologique de composts produits à base de déchets organiques triés à la source dans la ville de Tiassalé. L'approche méthodologique a consisté au suivi des paramètres physico-chimiques au cours du processus de compostage et en des analyses chimiques et microbiologiques d'échantillons de composts. Les résultats ont montré que la technique de compostage pratiquée par l'unité pilote de compostage était efficace, car les fortes températures (jusqu'à 70°C) observées au cours du processus de compostage permettaient l'élimination des germes pathogènes. Ce résultat a été confirmé par les résultats des analyses microbiologiques qui ont prouvé l'élimination de l'essentiel des germes pathogènes dans les composts produits. Les composts produits avaient un pH alcalin (9,10) et des rapports C/N inférieur à 15 (11,3 et 11,73 pour le compost A et B respectivement), ce qui confirme la maturité des composts produits. Les résultats de l'étude ont également montré que les composts produits étaient riches

en éléments nutritifs. Les teneurs en éléments majeurs du compost B (compost à base d'un mélange de déchets organiques et de fiente de poule) étaient légèrement supérieures à celles du compost A (compost produit uniquement à base de déchets organiques). Par ailleurs, ces composts avaient des teneurs en métaux lourds très inférieurs aux seuils suggérés par les normes françaises et allemandes pour les amendements organiques. Ces composts produits peuvent donc être utilisés en agriculture. Les résultats de cette étude confirment donc l'efficacité de la pratique du tri à la source des déchets organiques dans l'amélioration de la qualité chimique et microbiologique des composts produits à base de déchets organiques municipaux. Le système pilote de compostage de Tiassalé constitue un modèle pratique pour l'installation d'un système durable de compostage décentralisé avec tri à la source des déchets organiques dans cette ville et dans les centres urbains similaires.

RÉFÉRENCES

- Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H., Eklind, Y. & Kirchmann, H. 2003. Composting of Source-Separated Household Organics At Different Oxygen Levels: Gaining an Understanding of the Emission Dynamics. *Compost Science & Utilization*, Vol. 11, N° 1, pp. 41-50.
- Bernal, M. P., Sommer, S. G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L. & Michel, F. C. 2017. Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic, Environmental, and Human Health Benefits.
- BioAbfV, L. 1998. Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung-BioAbfV).
- Bromblet, H. & Somaroo, G. 2015. Analyse synthétique des retours d'expérience sur les techniques de compostage dans les pays en développement. *Déchets, sciences et techniques*, N° N°70.
- Carsten Bachert, Werner Bidl ingmaier & tanachira, S. W. (2008). Open windrow composting manual. ORBIT e. V, Weimar.
- Charnay, F. (2005). Compostage des déchets urbains dans les pays en développement: élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 277 p.
- Compaoré, E. & Nanéma, L. J. T. (2010). Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Vol. 28, N° 4, pp. 232-237.
- Drescher, S. & Zurbrugg, C. 2006. Decentralised composting: lessons learned and future potentials for meeting the millennium development goals. *CWG, WASH Workshop* Kolkata, India.
- Fan, Y. V., Lee, C. T., Klemes, J. J., Chua, L. S., Sarmidi, M. R. & Leow, C. W. (2018). Evaluation of Effective Microorganisms on home scale organic waste composting. *J Environ Manage*, Vol. 216, pp. 41-48.
- Friedrich, E. & Trois, C. (2013). GHG emission factors developed for the recycling and composting of municipal waste in South African municipalities. *Waste Manag*. Vol. 33, N° 11, pp. 2520-31.
- Godefroy, J. J. F. (1975). Evolution des teneurs des sols en éléments fertilisants sous culture d'ananas: caractéristiques chimiques des sols de Côte d'Ivoire. Vol. 30, N° 12, pp. 749-756.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y. & Shen, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresour Technol*, Vol. 112, pp. 171-8.
- Haug, R. (2018). The practical handbook of compost engineering. Routledge.
- Hitman, A., Bos, K., Bosch, M. & Van der Kolk, A. J. F. i. S., Wageningen, The Netherlands (2013). Fermentation versus composting.
- INS 2015. RGPH 2014 Répertoire des localités : Région de l'AGNEBY-TIASSA. Abidjan: Institut national de la Statistique.
- Jara-Samaniego, J., Pérez-Murcia, M., Bustamante, M., Pérez-Espinosa, A., Paredes, C., López, M., López-Lluch, D., Gavilanes-Terán, I. & Moral, R. J. J. o. c. p. (2017a). Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. Vol. 141, pp. 1349-1358.
- Jara-Samaniego, J., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A., Pérez-Espinosa, A., Paredes, C., López, M., López-Lluch, D. B., Gavilanes-Terán, I. & Moral, R. (2017b). Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 141, pp. 1349-1358.
- Kaza, S., Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, and Frank Van Woerden (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. Washington, DC : World Bank, p. 295.
- Knoop, C., Tietze, M., Dornack, C. & Raab, T. (2018). Fate of nutrients and heavy metals during two-stage digestion and aerobic post-treatment of municipal organic waste. *Bioresour Technol*, Vol. 251, pp. 238-248.
- Lasaridi, K.-E., Manios, T., Stamatiadis, S., Chroni, C. & Kyriacou, A. (2018). The Evaluation of Hazards to Man and the Environment during the Composting of Sewage Sludge. *Sustainability*, Vol. 10, N° 8.
- Mohammed, C., Youssef, S., Abdelhadi, M. & Mohammed, M. (2016). Compostage en cuve des déchets ménagers et valorisation agricole du compost obtenu. *Algerian Journal of Arid Environment*, Vol. 6, N° 2, pp. 53-66.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang (2013). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nakasaki, K., Hirai, H., Mimoto, H., Quyen, T. N. M., Koyama, M. & Takeda, K. (2019). Succession of microbial community during vigorous organic matter degradation in the primary fermentation stage of food waste composting. *Science of The Total Environment*, Vol. 671, pp. 1237-1244.
- Paredes, C., Roig, A., Bernal, M., Sánchez-Monedero, M., Cegarra, J. J. B. & soils, f. o. (2000). Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. Vol. 32, N° 3, pp. 222-227.
- Pathak, A., Singh, M. & Kumar, V. J. I. J. o. C. R. (2011). Composting of municipal solid waste: a sustainable waste management technique in Indian cities—A review. Vol. 3, N° 12, pp. 339-46.
- Rodier, J., LEGUBE, B., MERLET, N. & BRUNET, R. (1996). L'Analyse de l'eau. eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. DUNOD, 1383 p.
- Rothenberger, S., Zurbrugg, C., Enayetullah, I. & Maqsood Sinha, A. H. M. (2006). Decentralised Composting for Cities of Low- and MiddleIncome Countries A Users' Manual. Waste Concern, Dhaka, 110 p.
- Sadaka, S. & El – Taweel, A. (2003). Effects of Aeration and C:N Ratio on Household Waste Composting in Egypt. *Compost Science & Utilization*, Vol. 11, N° 1, pp. 36-40.
- Singh, W. R. & Kalamdhad, A. S. (2014). Potential for composting of green phumdi biomass of Loktak lake. Vol. 67, pp. 119-126.
- Sundberg, C. & Jönsson, H. J. B. (2005). Process inhibition due to organic acids in fed-batch composting of food waste—influence of starting culture. Vol. 16, N° 3, pp. 205-213.
- Tchanate, K., Segbeaya, K., Koledzi, K. & Baba, G. J. E. J. S. R. (2017). Evaluation of the Physicochemical and Agronomic Quality of the Composts of Urban Waste of the Towns of Lome and Kara in Togo. Vol. 147, pp. 469-474.
- Tchanate K. N., S. K. N., Koledzi K. E., Baba G. (2017). Evaluation of the Physicochemical and Agronomic Quality of the Composts of Urban Waste of the Towns of Lome and Kara in Togo. *European Journal of Scientific Research*, Vol. 147, N° 4, pp. 469-474.
- Temgoua, E., Ngnikam, E., Dameni, H. & Kouedou Kameni, G. J. T. (2014). Valorisation des ordures ménagères par compostage dans la ville de Dschang, Cameroun. *Tropicultura*, Vol. 32, N° 1, pp. 28-36.

- Thanh, N. P. & Matsui, Y. 2011. Compost Potential from Solid Waste: Toward Sustainable Agriculture and Mitigation of Global Warming in the Mekong Delta, Vietnam. *Environmental Change and Agricultural Sustainability in the Mekong Delta*.
- Tognetti, C., Mazzarino, M. J. & Laos, F. (2007). Improving the quality of municipal organic waste compost. *Bioresour Technol*, Vol. 98, N° 5, pp. 1067-76.
- Van Fan, Y., Lee, C. T., Klemeš, J. J., Chua, L. S., Sarmidi, M. R. & Leow, C. W. J. J. o. E. M. (2018). Evaluation of Effective Microorganisms on home scale organic waste composting. Vol. 216, pp. 41-48.
- Waksman, S. A., Cordon, T. & Hulpoi, N. J. S. S. (1939). Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in composts of stable manure. Vol. 47, N° 2, pp. 83-114.
- Zhang, L., Sun, X., Tian, Y. & Gong, X. (2013). Effects of brown sugar and calcium superphosphate on the secondary fermentation of green waste. *Bioresour Technol*, Vol. 131, pp. 68-75.
- Zurbrugg, C., Drescher, S., Patel, A. & Sharatchandra, H. C. (2004). Decentralised composting of urban waste--an overview of community and private initiatives in Indian cities. *Waste Manag*, Vol. 24, N° 7, pp. 655-62.
