

Co-compostage des déchets solides ménagers avec les déjections d'élevage : optimisation du rapport C/N des substrats de départ

Daniel RUCAKUMUGUFI^{1,2*}, Modou DIENG², Vestine NTAKARUTIMANA¹, Falilou Mbacké SAMBE³, Patrice BIGUMANDONDERA⁴ et Codou Mar DIOP³

¹ Université du Burundi, Faculté des Sciences, Laboratoire de Chimie, Sciences de la Terre et de l'Environnement, BP 2700 Bujumbura, Burundi

² Université Cheikh Anta DIOP (UCAD), Ecole Supérieure Polytechnique, Laboratoire d'Analyses et Essais, BP 5085 Fann-Dakar, Sénégal

³ Université Cheikh Anta DIOP (UCAD), Ecole Supérieure Polytechnique, Laboratoire d'Electrochimie et des Procédés Membranaires, BP 5085 Fann-Dakar, Sénégal

⁴ Université du Burundi, Institut de Pédagogie Appliquée, Laboratoire de Chimie, Sciences de la Terre et de l'Environnement, BP 5223 Bujumbura, Burundi

* Correspondance, courriel : daniel.rucakumugufi@ub.edu.bi

Résumé

L'objectif de cette étude est de produire un compost amélioré par co-compostage de la fraction organique des déchets solides ménagers avec les adjuvants de déjections animales. Deux types de composts C₁ et C₂ ont été élaborés à base de paille de brousse, tontes de gazon, d'épluchures mélangées avec des adjuvants constitués par de bouses de vache (C₁) et de fientes de poule (C₂). Le procédé de co-compostage par retournements des andains aérés a été retenu et le processus a duré 55 jours. Les résultats des analyses effectuées sur les composts finis montrent des teneurs en MOT (C₁:32,78 et C₂:35,30 %), en COT (C₁: 16,39 et C₂:17,65 %), en azote (C₁: 1,12 et C₂:1,40 %), en phosphore (C₁:1159 et C₂: 1096,77 ppm) et des rapports en MOT/COT (C₁: 1,87 et C₂:1,90) ainsi que ceux en C/N (C₁: 14,64 et C₂:12,60). Les abattements des microorganismes ont varié jusqu'à 6log₁₀, les taux et indices de germination sur des graines d'arachides sont meilleurs pour la dose de 25 %. Ces résultats montrent que ces composts sont de qualité appréciable et cette qualité a été améliorée par les proportions équilibrées en C/N sur les entrants et par l'ajout d'adjuvants.

Mots-clés : *compostage, andains, microorganismes, fiente, bouse, Phytotoxicité.*

Abstract

Co-composting solid household waste and livestock dropping: optimization of the C/N ratio of the starting substrates

This study set out to produce an improved compost by co-composting the organic fraction of household solid waste with additives from animal droppings. Two types of composts C₁ and C₂ have been developed based on bush straw, grass clippings, peelings mixed with adjuvants consisting of cow dung (C₁) and hen droppings (C₂). The process of co-composting by turning the aerated windrows was chosen and the process lasted 55 days. The results of the analysis carried out on the ripe composts show contents of TOM (C₁: 32.78 and C₂: 35.30 %), TOC (C₁: 16.39 and C₂: 17.65 %), nitrogen (C₁: 1.12 and C₂: 1.40 %), phosphorus (C₁: 1159 and C₂: 1096.77 ppm) and

TOM / TOC ratios (C1 : 1.87 and C2 : 1.90) as well as those in C / N (C1 : 14.64 and C2 : 12.60). Microorganism's abatement varied up to $6\log_{10}$, the germination rates and indices on peanut seeds are better for the 25 % dose. These results show that these composts present an appreciable quality thanks to the balanced proportions of C / N and by the addition of adjuvants.

Keywords : *composting, windrows, microorganisms, chicken dung, cow dung, Phytotoxicity.*

1. Introduction

La gestion des déchets solides ménagers (DSM) est l'une des questions environnementales les plus préoccupantes surtout pour les villes des pays en développement (PED) où le service de collecte des déchets n'a pas suivi le rythme de l'évolution démographique galopante et l'urbanisation croissante [1, 2]. Selon la Banque mondiale, la production de déchets passera de 2,01 milliards de tonnes en 2016 à 3,40 milliards de tonnes en 2050, soit une augmentation de 70 % [3, 4]. Cette production de déchets sera multipliée par trois en Afrique subsaharienne et par deux en Asie du Sud, les estimations montrent par ailleurs que ces deux régions représenteront 35 % des déchets produits sur la planète en 2050 [3 - 5]. D'une façon générale, les déchets produits dans les pays en développement (PED) se caractérisent par de plus grandes quantités de matières fermentescibles variant entre 50 et 70 % [6 - 8]. Pour garantir un bon état sanitaire et environnemental, des alternatives de leur valorisation doivent être entreprises. Il s'agit principalement du compostage, de la méthanisation et de l'incinération. Des toutes ces technologies, le compostage paraît comme une écotecnologie et en même temps une technologie à faible coût [9 - 11]. Le compost produit peut remplacer partiellement ou totalement les fertilisants chimiques du fait que l'application de ces derniers permet d'améliorer les rendements [5, 11 - 13]. Cependant, les composts de déchets d'ordures ménagères seules restent insuffisamment riches en éléments fertilisants majeurs [11] en particulier l'azote, le phosphore et le potassium [14 - 16]. A cet effet, dans le souci d'enrichir le compost en ces éléments majeurs, des procédés de co-compostage avec ajout d'adjuvants ont été entrepris [15 - 17]. Le choix des adjuvants reste donc le point le plus pertinent pour espérer obtenir un compost de qualité. De plus, le rapport carbone - azote (C/N) des substrats de départ doit être fixé. La littérature parle du C/N qui se situe entre 25-35 pour finir entre 10-15 à la fin du compostage [15, 18]. L'objectif de cette étude est de produire un compost amélioré par co-compostage de la fraction organique des déchets solides ménagers (DSM) avec les adjuvants de déjections animales tout en optimisant le rapport C/N des substrats de départ.

2. Matériel et méthodes

2-1. Cadre de l'étude et matériel expérimental

L'étude a été réalisée dans un espace libre, mi-ombragé, proche du département de Génie Chimique et Biologie Appliquée (GCBA) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) au Sénégal, [17°10 et 17°32 de longitude Ouest et 14°53 et 14°35 de latitude Nord]. Les déchets solides ménagers et assimilés utilisés ont été collectés dans l'espace et restaurants universitaires de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD). Ils ont été emballés séparément dans des sacs et acheminés sur le lieu de compostage. Ces déchets sont constitués de paille de brousse, de tontes de gazon, de pelures de manioc, de pomme de terre, de carotte, de goyave et de pertes de choux. Les adjuvants de déjections animales à co-composter avec les DSM sont constitués de bouses de vache issues du marché de bétail de Yarakh, quartier de Dakar et des fientes de poule prélevées dans un poulailier à Keur Massar, département de Pikine, en Banlieue dakaroise. La réalisation du compostage a été possible grâce à l'utilisation d'un charriot-brouette, d'une balance, d'une fourche, d'un râteau, d'un seau, d'un fût, des bâches, d'une latte et d'une sonde de température.

2-2. Méthodes

2-2-1. Détermination des proportions du mélange substrats-adjuvants

Le rapport C/N du mélange des substrats de départ doit être fixé conformément à ce qui a été annoncé précédemment [15, 19]. Pour déterminer les proportions des intrants, la **Formule (1)** [19] ci-après a servi de base de calcul :

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^j n_i x R_i}{\sum_{i=1}^j n_i} \tag{1}$$

R_m = rapport C/N du mélange; n_i = quantité de composant i ;

R_i = rapport C/N du composant i

Le rapport C/N (R_m) du mélange de départ a été fixé à 30, les inconnues des masses (en kg) des intrants sur 100 kg de matières sèches sont : quantité de gazon = quantité d'ordures ménagères : x ; paille : y ; adjuvant (8 kg) : z [20]. Pour déterminer les inconnues de **l'Équation (1)**, un système **d'Équation (2)** a été utilisé :

$$\left\{ \begin{array}{l} R_m = \frac{40,39 * y + 22,63 * x + 18,27 * z}{100} \\ 2x + y + z = 100 \end{array} \right. \tag{2}$$

avec, 40,39 ; 22,63 ; 23,80 ; 18,27 (13,51) qui sont respectivement les rapports C/N de paille, de tontes de gazon, du mélange d'ordures ménagères ; de la bouse de vache (fiente de poule) déterminés préalablement au laboratoire. Le système d'équations a été résolu et les proportions des entrants sont présentées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Proportions des différents substrats et adjuvants entrants

Paramètres	Andain	Paille	TG	E+ PC	Adjuvants		Moyenne
					Bv	Fp	
Masse (kg en % MS)	Andain 1	42	25	25	8	-	100
	Andain 2	44	24	24	-	8	100
Rapport C/N	Andain 1 & 2	40,39	22,63	23,80	18,27	13,51	30

où, TG = Tontes de gazon ; E + PC = Epluchures + Pertes de choux ; Bv = Bouses de vache; Fp = Fientes de poule

2-2-2. Choix de la méthode de compostage

La méthode de compostage en andain aéré par couches successives avec alternances des fractions compostables a été utilisée. Quatre andains ont été installés deux à deux semblables. Les dimensions de chaque andain étant un carré de 1,5 m de côté soit 2,25 m². Les matières à composter sont pesées à l'aide d'une balance de portée de 20 kg. Pour la préparation des andains, chaque couche est composée de 25 kg de substrats (% MS). De bas en haut, chaque couche est construite comme suit : fractions de paille, tontes de gazon, mélange d'épluchures et pertes de choux, et déjections animales (bouse de vache pour l'andain 1 et fiente de poule pour l'andain 2). Au total, 4 couches d'une hauteur maximale d'environ 80 cm pour l'andain 1

et 60 cm pour l'andain 2 sont constituées. Après la construction de chaque couche, on arrosait avec l'eau du robinet. Ainsi, 28 L d'eau pour la première et la deuxième couches chacune ont été utilisés tandis que pour les suivantes, on a utilisé 56 L chacune [20]. Chaque andain est couvert de bâches pour éviter un excès d'évaporation. Des retournements hebdomadaires suivis d'arrosage sont effectués.

2-2-3. Méthodes d'analyses des paramètres de compostage

Pour suivre le processus de compostage, les échantillons destinés à l'analyse ont été obtenus en utilisant la méthode de quartage [17, 21]. Les paramètres ci-après ont été mesurés :

2-2-3-1. Masse volumique (μ en Kg/dm³)

Elle a été effectuée par pesée manuelle. Les volumes occupés par ces matières sont mesurés à l'aide d'un seau étalonné de capacité 20 L pour les entrants et d'une éprouvette graduée pour le compost mûr [17, 22].

2-2-3-2. Évolution de la hauteur

Elle a été suivie journallement et mesurée à l'aide d'une latte graduée (± 1 mm de précision.) suivant les deux diagonales du carré de chaque andain.

2-2-3-3. Humidité (H en %)

Elle a été mesurée sur les entrants et sur le compost mûr par la méthode normée AFNOR NF U44-171 (1996). Elle a été déterminée par séchage à l'étuve à 105°C, jusqu'à l'obtention de la masse constante, pendant environ 24 heures [23].

$$H(\%) = \frac{100 * (M_f - M_s)}{M_f} \quad (3)$$

M_f = matière fraîche; M_s = matière sèche

Au cours du processus du compostage, l'humidité a été déterminée par presse d'une poignée de compost (test de la poignée) [24].

2-2-3-4. Température

La température de chaque andain a été mesurée journallement par un thermomètre à sonde durant tout le processus du compostage suivant tous les coins de l'andain et dans différentes profondeurs de l'andain (3 mesures à 3 niveaux de chaque endroit) [23].

2-2-3-5. pH

Il a été déterminé selon la norme ISO 10-390 à l'aide d'un pH-mètre de marque HANNA Instruments, modèle HI 223 muni d'une électrode combinée, sur une suspension de compost dans 5 fois son volume d'eau [18, 22].

2-2-3-6. Teneur en matière organique totale (MOT)

Elle a été calculée après calcination à 550°C d'un échantillon préalablement étuvé à 105°C, broyé puis tamisé à 800 μ m [22, 23].

2-2-3-7. Teneur en NTK

Elle a été mesurée selon la norme AFNOR ISO 11261 sur des échantillons séchés à 105°C puis finement broyés et tamisés à 800 µm de mailles [8, 22].

2-2-3-8. Teneur en COT

Elle est déterminée par la méthode d'oxydation ou méthode Walkley-Black (1934) [8, 23].

2-2-3-9. Teneur en phosphore (P)

Elle a été déterminée après minéralisation par voie sèche à 550°C avec un dosage colorimétrique [8, 23]. A l'aide de dilutions, une série de solutions étalons a été obtenue et a permis d'établir une courbe d'étalonnage qui a servi au calcul des concentrations des échantillons.

2-2-3-10. Analyses microbiologiques des adjuvants et des composts

Les méthodes d'analyses microbiologiques et dénombrement des microorganismes sont conformes aux normes NF EN ISO 4833-1 et NF 08-14 [20]. Ces analyses ont été menées sur les adjuvants et sur le compost en processus.

2-2-3-11. Tests de phytotoxicité des composts

Il est basé sur l'émergence et la croissance des radicules des graines d'arachides en présence du compost [18]. Ces tests consistent à placer un même nombre de graines dans des boîtes de pétri contenant du papier filtre imbibé de 5 ml d'eau distillée seule (témoin), d'extrait aqueux du compost de 25 % à 100 % à raison de 2 boîtes par catégorie [25]. Après 48 heures d'incubation à 25°C, le pourcentage de germination (G en %) et l'indice de germination (IG en %) sont calculés pour chaque essai et sont comparés chaque fois à ceux du témoin [26].

2-2-4. Analyse des données

Pour le traitement données, la moyenne arithmétique (\bar{x}) et l'écart-type (σ) qui mesure la dispersion autour de la moyenne ont été utilisés.

3. Résultats et discussion

3-1. Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des entrants

Les résultats des caractéristiques microbiologiques et physico-chimiques réalisées sur les entrants dans le processus de compostage sont présentés dans les **Tableaux 2 et 3**.

Tableau 2 : Caractéristiques microbiologiques des adjuvants

Type d'adjuvant	Types de microorganismes					
	Flora mésophile aérobie totale/g (FMAT)	Coliformes fécaux/g	Anaérobie sulfito- réducteur/g	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> /g	<i>Escherichia coli</i> /g	<i>Staphylococcus aureus</i> /g
Bouses de vache	158.10 ⁷	1110.10 ⁵	100	Ind à 10 ¹	108.10 ⁴	< 10
Fientes de poule	49.10 ⁷	460	600	< 10	< 10	< 10

Ind = indénombrable

Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques des substrats de départ

	μ (ou ρ) (kg/dm ³)	M.S (%)	M.O.T (%)	M.M (%)	C.O.T (%)	N (%)	P (ppm ou mg/kg)	C/N
Paille		92*	86,73	13,27	45,24	1,12	546	40,39
tontes de gazon		19,90	81,06	18,94	44,35	1,96	1439	22,63
Epluchures pomme de terre		19,92	90,31	9,69	50,06	1,80	1241	27,81
épluchures de manioc		17,50	94,09	5,91	51,87	1,74	436	29,81
Epluchures de goyave		6,95	78,33	21,67	40,14	2,24	1831	17,92
Epluchures de carotte		14,24	80,13	19,87	43,88	1,53	1876	28,68
Reste de Choux		6,00	85,54	14,56	41,42	2,80	1807	14,79
Bouses de vache	0,30 ^a	75,00* (18,75) [!]	68,87	31,13	40,92	2,24	2377	18,27
Fientes de poule	0,28 ^b	85,00* (25 %) [!]	76,74	23,74	37,55	2,78	2404	13,51
Moyenne globale			83,62 (1) 84,43 (2)		44,73 (1) 44,47 (2)	1,65 (1) 1,67 (2)	1138,78 (1) 1123,01 (2)	30 (1,2)

*= valeur de l'échantillon sur place ; ! = teneur réelle ; (1) et (2) = andains 1 et 2

a et b : les masses volumiques des andains avec adjuvants bouses de vache, fientes de poule

Les résultats consignés dans le **Tableau 2** montrent que la FMAT est la plus abondante dans les deux adjuvants, suivi des *Coliformes fécaux* dans les bouses de vache. *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus* sont les moins abondants dans les deux adjuvants. Les concentrations en microorganismes trouvés dans cette étude sont comparables à celles obtenus par DIENG et co-auteurs [20], où la FMAT et les *Coliformes fécaux* des boues d'épuration sont dans l'ordre de 10⁹ et 10⁵ respectivement. Les résultats du **Tableau 3** montrent que : les densités des DSM constitutifs des andains sont faibles et ce phénomène s'explique par la présence des pailles et tontes de gazon de faibles masses ; les épluchures de manioc sont les plus riches en MO (94,09 %) et les épluchures de goyave les moins riches (78,33 %), valeur qui reste toutefois acceptable pour le compostage [25]. Les valeurs moyennes globales en matière organique des déchets compostés (83,62 % pour l'andain 1 et de 84,31 % pour l'andain 2) se trouvent dans la gamme de celles de la littérature [9, 26, 27] et sont adaptées pour produire un compost de qualité.

3-2. Suivi du processus de compostage

3-2-1. Caractéristiques physico-chimiques du compostage

Tableau 4 : Comparaison de quelques Caractéristiques physico-chimiques des matériaux initiaux et composts obtenus avec celles des valeurs seuils

Paramètres	Andain1i	Andain1f	Andain2i	Andain2f	Valeurs seuils ou références
μ (ou ρ) (en kg/dm ³)	0,30 ± 0,02	0,67 ± 0,02	0,28 ± 0,02	0,56 ± 0,02	
Hauteur (%)	100 ± 0,15	38,13 ± 0,12	100 ± 0,15	55,00 ± 0,12	
MOT (en % MS)	83,62 ± 3,95	32,78 ± 0,08	84,31 ± 3,75	35,30 ± 0,08	≥ 20 % MB ^[17,31, 32]
COT (%)	44,73 ± 2,63	16,39 ± 0,25	44,47 ± 2,69	17,65 ± 0,25	
MOT/COT	1,87 ± 0,02	2	1,90 ± 0,02	2	1,724 ^[30] ; 1,9 ^[30] ; 2 ^[8,30,31]
NTK (%)	1,65 ± 0,45	1,12 ± 0,05	1,67 ± 0,53	1,40 ± 0,05	< 3 % MB ^[17, 31, 32]
P (ppm)	1138,78 ± 66,20	1159,28 ± 2,62	1123,01 ± 67,10	1096,77 ± 2,62	< 3 % MB ^[17, 31, 32]
PH	-	9,50 ± 0,02	-	9,60 ± 0,02	7,5 - 9,3 ^[30, 32]
C/N	30 ± 0,03	14,64 ± 0,06	30 ± 0,03	12,60 ± 0,06	> 8MB ^[8,32] ; 8-15 ^[8, 31]

l = au temps initial (intrants); f = au temps final (compost produit fini), MB = matière brute.

Les résultats des paramètres physiques globaux mesurés montrent que les densités passent du simple au double soit de $0,30 \pm 0,020$ à $0,67 \pm 0,02$ pour C₁ et de $0,28 \pm 0,02$ à $0,56 \pm 0,02$ pour C₂. Ces valeurs témoignent d'une bonne progression du processus de compostage [27]. Les valeurs de départ trouvées dans cette étude rentrent dans les gammes de densités des DSM des autres PED comme le cas du Cameroun [0,28- 0,34] [6] et en Algérie [0,22 - 0,43] [21]. La connaissance de la densité des déchets est importante pour des raisons du choix des moyens de pré-collecte, collecte et transport ainsi que le dimensionnement du site de transit sans oublier le choix du mode de traitement de ces déchets. Les variations des hauteurs en fonction du temps de compostage des deux andains ont été suivies et la **Figure 1** présente leur évolution.

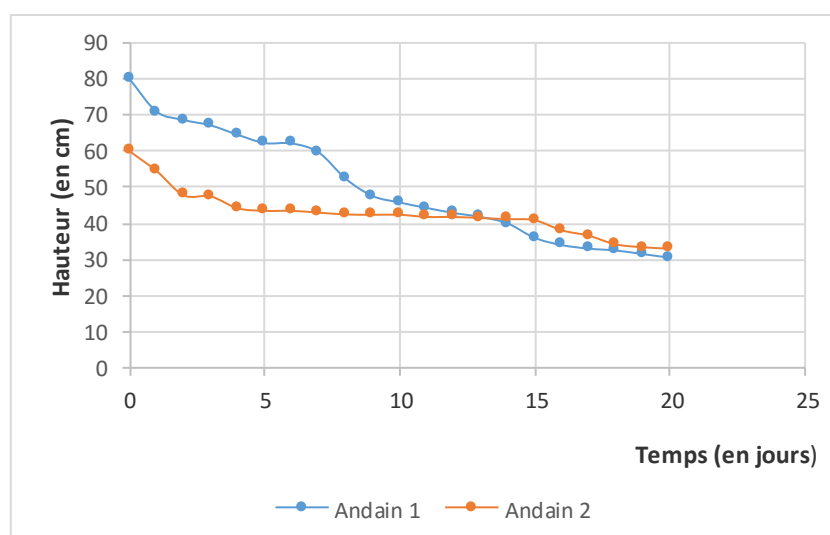
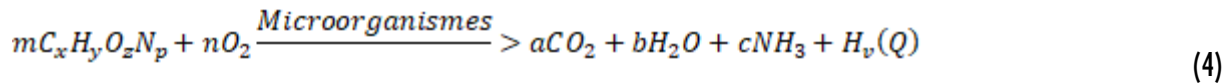


Figure 1 : Évolution de la hauteur des andains en fonction du temps de compostage

La diminution de la hauteur est très forte pendant les deux premiers jours : 14,13 % (andain 1) et 20,33 % (andain 2) et c'est à cette même période que les températures atteignent les maxima. Du premier jour

jusqu'au 5^{ème} jour de compostage, la diminution suit une allure presque exponentielle et au vingtième jour, la diminution atteinte est de 61,87 % (andain 1) et 45 % (andain 2). Le tassement comprend deux étapes [26, 28] : La première étape, qui a eu lieu lors des premiers jours de compostage qui correspond à la compression physique du système et à la réorganisation des particules; la seconde concerne le tassement par perte de matière due à la dégradation de la matière organique et à l'évaporation de l'eau, ainsi que le fluage, c'est-à-dire la déformation des particules due aux contraintes constantes qu'elles subissent. Le tout se résume par l'équation chimique (4) de la bioxydation des matières organiques par les microorganismes aérobies :



Cette réaction étant réalisée dans un système ouvert et non fermé, la perte de masse et d'énergie (et par conséquent la perte de volume) au cours du compostage n'est qu'une évidence triviale. La **Figure 2** présente les variations des moyennes de température quotidiennement enregistrées au niveau des deux andains.

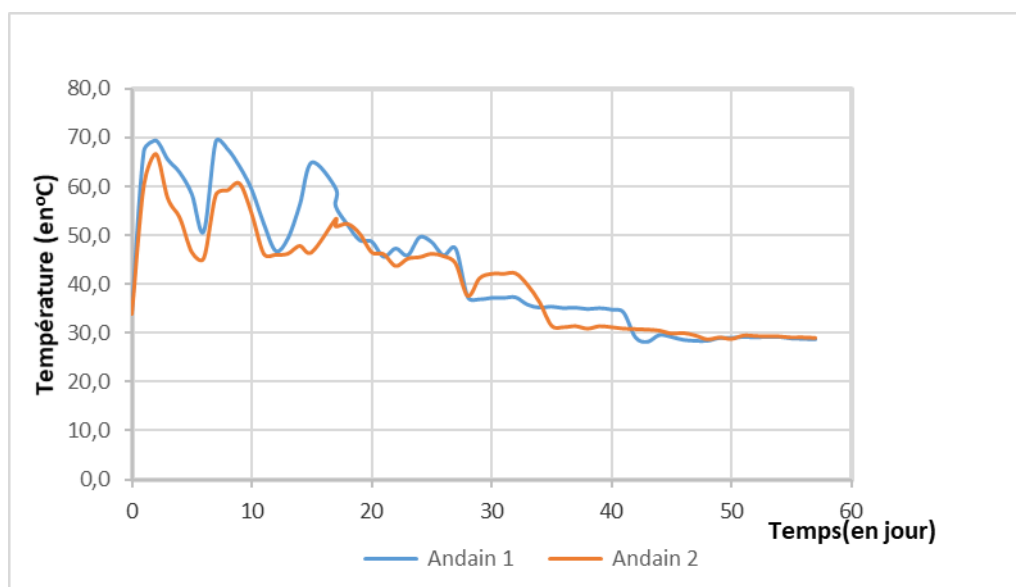


Figure 2 : Évolution de la température des andains au cours du compostage

La température est souvent retenue comme un indicateur majeur, mais non exclusif, de l'hygiénisation des composts [17, 19]. Deux heures après la mise en place des deux andains, les températures étaient de 34,5 °C pour l'andain 1 et de 33,9 °C pour l'andain 2, et au deuxième jour du processus de compostage, elles avaient déjà atteint les maxima de 69,3 °C et 66,6 °C respectivement pour l'andain 1 et 2. Le suivi de l'évolution de la température des composts en processus a permis d'identifier les quatre principales phases de compostage [17, 18, 28] : La phase mésophile ($T_{\text{ambiante}} < T < 45^{\circ}\text{C}$) qui a duré 15 jours et 19 jours respectivement pour l'andain 1 et l'andain 2 ; phase thermophile ($45^{\circ}\text{C} < T < 80^{\circ}\text{C}$) qui a duré 27 jours et 26 jours respectivement pour l'andain 1 et l'andain 2 ; le refroidissement et la phase de maturation (**Figure 2**). L'augmentation de la température pour différents andains pendant les premiers jours de compostage serait attribuée à une forte activité microbienne induite par la présence de matières organiques facilement biodégradables (protéines, sucres, etc.) [17, 18]. Il convient de signaler qu'après chaque retournement, la température remontait et cette augmentation a été beaucoup plus importante après le premier retournement : soit 69,1 °C pour l'andain 1 et 60,5 °C pour l'andain 2. Ce phénomène est la conséquence du renouvellement de quelques facteurs notamment l'oxygénation, l'arrosage et les substrats qui relancent l'activité microbienne. Au fur et à mesure que le processus de compostage avance, les

substrats facilement biodégradables deviennent de plus en plus rares et l'auto-échauffement diminue jusqu'à ce que les retournements n'aient plus d'effet remarquable sur la variation de la température. A la fin du processus, les températures chutent pour atteindre la température ambiante (température inférieure à 30°C). Cette baisse de température est due notamment à l'épuisement des matières organiques facilement biodégradables [7, 18, 29]. Les processus d'humification s'installent et aboutissent à la formation d'humus dont les acides humiques, composés très résistants à la dégradation. La texture du produit fini est homogène, sa couleur est brun foncé et noir [20, 26]. Les résultats obtenus sur l'évolution de la température durant le processus de compostage corroborent avec ceux trouvés dans la littérature [15, 20, 25, 26]. La **Figure 3** montre qu'après 55 jours du processus de compostage, les pertes de MO des andains 1 et 2 sont respectivement de 60,80 % et de 58,13 %. Ces valeurs sont comprises dans la gamme de 40 à 60 % obtenue par d'autres auteurs [14, 17, 18].

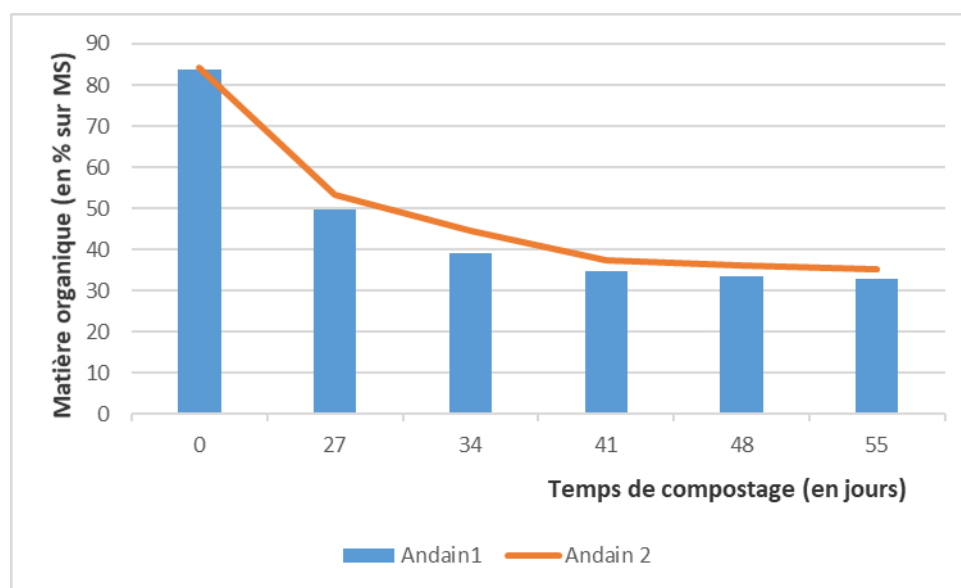


Figure 3 : *Évolution de la matière organique (% sur MS) en fonction du temps de compostage*

Jusqu'au 41^{ème} jour, la diminution du taux de MO est rapportée à la minéralisation des matières organiques par les microorganismes [8, 28, 29]. Après le 41^e jour, une stabilisation de la teneur en matière organique s'observe, signe d'un épuisement de la matière organique facilement biodégradable et qui marque aussi un début de la phase de maturation du compost. Il convient de signaler que la teneur en COT (en %) suit la même allure que l'évolution des MOT. Le rapport MOT/COT, obtenu sur base des moyennes globales, est de $1,87 \pm 0,02$ et $1,90 \pm 0,02$ respectivement pour le compost 1 et le compost 2 et ces valeurs coïncident avec une des valeurs les plus utilisées dans la littérature [8, 30, 31]. Toutefois, une bonne précision analytique a été obtenue pour les engrais et amendements organiques analysés en utilisant le facteur 2,0 [31]. Ce facteur est également utilisé par la norme NF U 44-051 : 2014 pour calculer le COT par rapport à la teneur en MOT sur les amendements organiques [8, 30]. La teneur en azote diminue respectivement de 32,12 % et 16,16 % pour l'andain 1 et l'andain 2. Ces résultats sont en accord avec la norme française pour les amendements organiques [29]. Les résultats pour le P sur les entrants et les composts finis nous montrent que la concentration en cet élément a faiblement variée (variation de ± 2 %), pour l'andain 1, il a subit plutôt une légère augmentation suite éventuellement à la mort et décomposition des microorganismes. Le rapport C/N des deux composts finis se trouvent dans la gamme des valeurs de référence [8, 30], signe que les deux composts produits sont mûrs. Le pH pour les deux composts est alcalin et est légèrement supérieur aux valeurs de référence [14, 17, 31, 32]. Des tests de phytotoxicité réalisés en utilisant des composts ayant des valeurs élevées de pH n'ont pas montré d'effets négatifs sur la germination des plantes testées [33].

3-2-2. Caractéristiques bactériologiques

L'analyse bactériologique (**Tableau 5**) montre des abattements de la densité microbienne variant de $3,2 \log_{10}$ à $6 \log_{10}$; ce qui témoigne une bonne hygiénisation [20]. Les deux composts se classent dans la catégorie sans danger pour la santé de l'homme (ou animaux), l'environnement et les plantes et par conséquent, sont conformes aux critères microbiologiques d'un bon compost. En effet, si le compostage est effectué tel que dans tout le tas, la température atteint 70°C pendant 30mn, 65°C pendant plusieurs heures ou 55°C pendant plusieurs jours, le produit final obtenu sera suffisamment hygiénisé [8, 15 - 17].

Tableau 5 : Caractéristiques microbiologiques des adjuvants et des composts mûrs

Type d'adjuvant	Types de microorganismes (en Unité Format Colonie : UFC/g)					
	Flore mésophile aérobie totale (FMAT /g)	Coliformes fécaux/g	anaérobie sulfite-réducteur/g	Pseudomonas aeruginosa/g	Escherichia coli/g	Staphylococcus aureus/g
Bouses de vache	158.10^7	1110.10^5	100	Ind à 10^1	108.10^4	< 10
Compost 1(avec bouses de vache)	5.10^5	3600	4500	50.000	< 10	< 10
Fientes de poule	49.10^7	460	600	< 10	< 10	< 10
Compost 2(avec Fientes de poule)	3.10^5	2100	6000	16090	< 10	< 10

3-2-3. Caractéristiques biologiques

Les tests de phytotoxicité ont été menés sur les graines d'arachides et les résultats montrent que les taux de germination varient de 85 % à 100 % pour toutes les doses de composts testées (**Figure 4**).

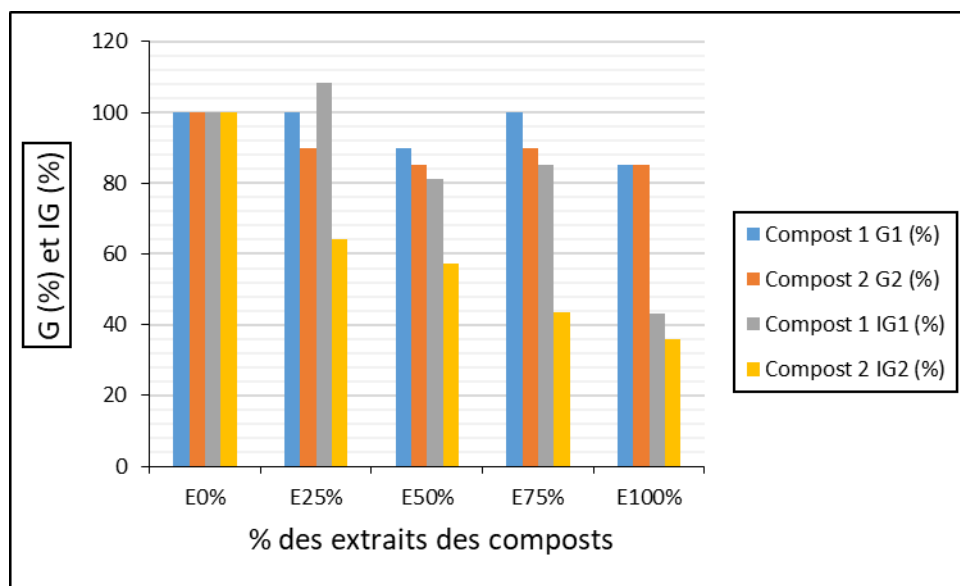


Figure 4 : Évolution des indicateurs biologiques de toxicité en fonction des concentrations des extraits des composts

Les indices de germination varient de 108,3 à 42,98 % et de 64,09 à 35,92 % respectivement pour le compost 1 et le compost 2. L'incorporation d'une dose de 25 % du compost donne des valeurs optimales pour tous les deux paramètres de tests biologiques, avec un indice de germination de 108,3 % (> 100 %) pour l'extrait du compost 1. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par d'autres auteurs lorsqu'ils

testaient l'effet de toxicités des composts sur différentes espèces de cultures (Laitue, Luzerne, Navet) en fonction des stades de compostage [28]. Les données de la littérature stipulent que l'effet stimulateur de la germination et la croissance des racines (dont l'IG dépasse 100 %) est dû à la teneur en matière organique stable, la richesse en substances humiques et les éléments minéraux durant la phase de maturation [14, 18, 27, 34]. Les indices de germination du compost 2 (*Figure 4*), aux mêmes concentrations, sont relativement faibles en comparaison avec ceux du compost 1. Ceci pourrait s'expliquer, en dehors de l'action des substances phytotoxiques, par une probable forte charge ionique (salinité) des extraits hydrosolubles et la conductivité électrique [18]. En effet, la salinité peut provoquer un éventuel effet osmotique. Cette hypothèse paraît plausible car, les boîtes contenant les extraits du compost 2 se desséchaient très rapidement (en moins de 24 heures). Il faut signaler également que les doses de 100 % (extraits bruts) ont présenté des effets répressifs sur la germination des graines pour tous les extraits des deux composts. Les résultats des tests de phytotoxicité trouvés dans cette étude sont similaires à ceux déjà obtenus dans d'autres travaux antérieurs [18, 20] qui confirment que l'effet répressif du compost n'est pas uniquement lié aux caractéristiques des composts, mais aussi aux doses appliquées et au type de culture. Les tests de phytotoxicité peuvent également être utilisés pour la détermination des doses optimales ou le seuil de toxicité d'un compost pour chaque culture avant tout amendement organique. Les indices de germination des graines d'arachide dans les deux composts produits excèdent 50 %. Donc, les deux composts produits sont non toxiques et par conséquent sont stables et mûrs [18].

3-2-4. Quelques caractéristiques des composts produits

Les rendements obtenus, après séchage à l'air libre et tamisage à l'aide d'un tamis de maille 12 mm, sont respectivement de 59,8 % et 57,6 % pour l'andain 1 et l'andain 2 et ces ratios sont proches des valeurs de la littérature [20]. Quant aux propriétés physiques, les composts obtenus sont de textures granuleuses, d'odeur de terre, de couleur noire et brune-noirâtre respectivement pour l'andain 1 et l'andain 2. A la fin du processus, les matières initiales constituant des deux andains n'étaient plus reconnaissables à l'œil nu. Ces différentes propriétés physiques constituent donc certaines des caractéristiques d'un compost mûr [8, 18, 26].

4. Conclusion

Les composts obtenus à base du co-compostage de paille de brousse, de tontes de gazon, d'épluchures et restes de choux avec les adjuvants de déjections animales ont montré des caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et biologiques appréciables pour la valorisation en agriculture. En effet, les teneurs en matière organique totale (C_1 : 32,78 et C_2 : 35,30 %), en azote (C_1 : 1,12 et C_2 : 1,40 %) et en phosphore (C_1 : 1159 et C_2 : 1096,77 ppm) ainsi que les rapports en MOT/COT (C_1 : 1,87 et C_2 : 1,90) et ceux en C/N (C_1 : 14,64 et C_2 : 12,60), sont des valeurs qui rentrent toutes dans la gamme des normes internationales des composts de qualité. Les abattements de la densité microbienne ont variés de 3,2 \log_{10} à 6 \log_{10} ; les taux et indices de germination sur des graines d'arachides se révèlent meilleurs pour la dose de 25 %. L'ajout des adjuvants et la détermination du rapport C/N des substrats ont amélioré sensiblement la qualité et la maturité des composts qui ont été produits dans une durée de 55 jours.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'Agence Universitaire de la Francophonie, Antenne Afrique des Grands Lacs de Bujumbura qui a financé le stage, à tous les enseignants et/ou chercheurs et aux personnels d'appui des laboratoires du Département de Génie Chimique et Biologie Appliquée de l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'UCAD-Sénégal qui ont appuyé l'expérimental de cette étude et, aux lecteurs du manuscrit pour leur contribution.

Références

- [1] - H. CHENITI, « *La gestion des déchets urbains solides : cas de la ville d'Annaba* », Thèse unique, Badji Mokhtar- Annaba- University, Algérie, (2014) 136 p.
- [2] - J. U. TSHALA, A. M. KITABALA, J-P. M. TUNDA, M. K. MUFIND, A. M. KALENDA, G. K. KAPELE, L. K. NYEMBO, Vers une valorisation des déchets ménagers en agriculture (péri) urbaine à Kolwezi : caractérisation et influence de la saisonnalité, *Journal of Applied Biosciences*, 112 (2017) 11072 - 11079
- [3] - A. RHOUMA, I. MOUGOU et H. RHOUMA, Croissance urbaine et environnement : Déchets urbains (Tome I). *Editions universitaires européennes*, (Avril 2019) 92 p.
- [4] - S. KAZA, L. C. YAO, P.BHADA-TATA and F. VAN WOERDEN, "What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050". Urban Development Series, Washington, DC: World Bank. © World Bank, (2018)
- [5] - L. B. LONGANZA, L. K. KIDINDA, D. T. TAMINA, A. T. JACOB et M. T. IKATALO, Valorisation agricole des déchets comme alternative à leur gestion dans les villes d'Afrique subsaharienne : caractérisation des déchets urbains à Lubumbashi et évaluation de leurs effets sur la croissance des cultures vivrières, *Afrique Science*, 11 (2) (2015) 76 - 84
- [6] - E. NGNIKAM, P. NAQUIN, R. OUMBE et B. DJIETCHEU, Evolution des caractéristiques des déchets solides ménagers dans la ville de Yaoundé au Cameroun (1995-2015), *Déchets Sciences et Techniques*, N° 74 (2017) 1 - 16. <https://oi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3654> (20 janvier 2020)
- [7] - M. R. BANGOURA, « *Gestion des déchets solides ménagers et ségrégation socio-spatiale dans la ville de Conakry* », Thèse Unique, Université de Toulouse II (France), (2018) 560 p.
- [8] - E. TEMGOUA, E. NGNIKAM, H. DAMENI et G. S. KOUDEUKAMENI, Valorisation des ordures ménagères par compostage dans la ville de Dschang, Cameroun, *Tropicultura*, 32 (1) (2014) 28 - 36
- [9] - M. T. MELLA, A. ZANGUINA, K. S. ADDAM et M. M. LAOUALI, Composting of the Urban Garbage: Assessment of the Nutrient Elements for the Plants, Case of Niamey in Niger. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, Vol. 2, Issue 12, (2018) 12 - 19 p
- [10] - T. H. ILUNGA, M. J. BANZA, M. L. LUKUSA, K. I. MUKUNTO, H. L. MALONGA, L. A. KANYENGA et K. L. NYEMBO, Influence du moment d'application du NPK sur la croissance et le rendement du maïs (*Zea mays* L.) installé sur un ferralsol, *Journal of Applied Biosciences*, 127 (1) (2018) 12794 - 12804
- [11] - O. GARBA, M. T. MELLA, S. A. KIARI, M. H. I. GREMA et A. ZANGUINA, Valorisation de glume de mil et balle de riz par compostage : caractérisations physico-chimiques des composts, *Afrique Science*, 17 (4) (2020) 29 - 38
- [12] - E. M. L. KASONGO, T. M. MWAMBA, P. M. TSHIPOYA, J. M. MUKALAY, Y. S. USENI, M. K. MAZINGA et L. K. NYEMBO, Réponse de la culture de soja (*Glycine max* L. (Merril) à l'apport des biomasses vertes de *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray comme fumure organique sur un sol ferralsol à Lubumbashi, R.D. Congo, *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 63, (2013) 4727 - 4735

- [13] - S. NGOM, I. DIEYE, M. B. THIAM, A. SONKO, R. DIARRA, K. DIARRA et M. DIOP, Efficacité agronomique du compost à base des cultures maraîchères dans la zone des Niayes au Sénégal, *Agronomie Africaine*, 29 (3) (2017) 269 - 278
- [14] - E. G. K. GNIMASSOUN, J. B. D. ETTIEN et D. MASSE, Caractéristiques des propriétés physico-chimiques et chimiques d'un compost issu d'un mélange de rafles de palmier et de fientes de volaille au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14 (1) (2020) 289 - 305, <http://www.ifgdg.org>
- [15] - E. COMPAORE, L. S. NANEMA, S. BONKOUNGOU et M. P SEDOGO, Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture, *Journal of Applied Biosciences*, 33 (2010) 2076 - 2083
- [16] - A. H. T. BIEKRE, B. T. TIE et D. O. DOGBO, Caractéristiques physico-chimiques des composts à base de sous-produits de ferme de Songon en Côte d'Ivoire, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12 (1) (2018) 596 - 609, DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.45>
- [17] - T. RAFOLISY, L. THURIES, P. TECHER, G. MOUSSARD et J. M. PAILLAT, Co-compostage de boues de laiterie et de fumier de bovins à l'Île de la Réunion : Hygiénisation, pertes de nutriments et homogénéité du compost produit, *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, Vol. 19, N° 4 (2015) 329 - 337
- [18] - A. BOKOBANA, O. TOUNDOU, L. KOLANI, K. A. A. AMOUZOUVI, E. KOLEDZI, K. TOZO et G. TCHANGBED. ménagers par co- compostage avec la légumineuse *Cassia occidentalis* L. et quelques adjuvants de proximité pour améliorer la qualité agronomique de composts, *Déchets, Sciences et Techniques*, N° 73 (2017) 1 - 13
- [19] - B. ROGER, « Le calcul du rapport Carbone/Azote - Les guides composteurs », (2012), www.guidescomposteurs.com (Janvier, 2020)
- [20] - M. DIENG, A. S. DIEDHIOU et F. M. SAMBE, Valorisation par compostage des déchets solides fermentescibles collectés à l'École Supérieure Polytechnique de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar : Etude de l'effet phytotoxique sur des plants de maïs et d'arachide, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (3) (2019) 1693 - 1704, ISSN 1997-342X (online), ISSN 1991-8631 (print)
- [21] - N. GUERMOUD et A. ADDOU, Etude et caractérisation des déchets ménagers de la ville de Mostaganem (Ouest- Algérie), *Déchets Sciences et Techniques*, N° 66 (2014) 45 - 50
- [22] - K. E. KOLEDZI, G. BABA, G. MATEJKA, G. LUDINGTON, K. N. SEGBEAYA, G. TCHANGBEDJI, A. PILABANA et G. MORIZOT, Conception, installation et fonctionnement d'une installation décentralisée de tri-compostage de résidus solides urbains dans les quartiers de Lomé, *Déchets Sciences et Techniques*, N° 62 (2012) 36 - 41
- [23] - H. BROMBLET et G. SOMAROO, Analyse synthétique des retours d'expérience sur les techniques de compostage dans les pays en développement, *Déchets Sciences et Techniques*, N° 70 (2015) 19 - 28, doi:10.4267/dechets-sciences-techniques.3292
- [24] - J. LACOUR, R. BAYARD, E. EMMANUEL et R. GOURDON, "Évaluation du potentiel de valorisation par digestion anaérobie des gisements de déchets organiques d'origine agricole et assimilés en Haïti", *Déchets Sciences & Techniques - Revue Francophone d'Écologie Industrielle*, (60) (2011) 31 - 41
- [25] - K. E. KOLEDZI, G. BABA, C. TCHAKPEDEOU, K. N. SEGBEAYA, S. TCHEGUENI, G. MATEJKA et G.TCHANGBEDJI, Dynamique d'activité des Composts : Cinétique de minéralisation de la matière organique biodégradable, *European Journal of Scientific Research*, 81 (1) (2012) 69 - 77
- [26] - T. OUTENDE, «*Évaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (Zea mays L. Var. Ikenne) et de la tomate (Lycopersicon esculentum L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo*», Thèse unique, Université de Lomé (Togo) en cotutelle avec l'Université de Limoges (France), (2016) 213 p.

- [27] - L. E FELS, « *Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmier: validation de nouveaux indices de maturité* », Thèse unique, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, (2014) 273 p.
- [28] - A. OUDART, E. PAUL et J. M. PAILLAT, Modeling organic matter stabilization during windrow composting of livestock effluents, *Environment Technology*, 33 (19) (2012) 2235 - 2243
- [29] - M. CHENNAOUI, Y. SALAMA, A. MAKAN et M. MOUNTADAR, Compostage en cuve des déchets ménagers et valorisation agricole du compost obtenu, *Algerian journal of arid environment*, 6 (2) (2016) 53 - 66, ISSN 2170-1318
- [30] - B. LECLERC, Document de mise à jour du « Guide des Matières Organiques » de l'ITAB : PARIS CEDEX 12: ITAB, (2014) 32 p, http://www.itab.asso.fr/downloads/com-agro/a_complements_guide_mo_2014.pdf, (12 Mars 2020)
- [31] - D. W. PRIBYL, A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor, *Geoderma*, 156 (3 - 4) (2010) 75 - 83, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.2010.02.003> (17 September 2020)
- [32] - M. MUSTIN, Compostage : de l'Afrique à Paris, Août 2016, <http://reseaucompost.org/wordpress/conférence-Compostage-Michel-Mustin-Paris>, (17 Février 2020)
- [33] - D. N. TAHRAOUI, « *Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la Commune de Chlef, Algérie* », Thèse unique, Université de Limoges, France, (2013) 244 p.
- [34] - T. YANGUI, A. DHOUIB, A. RHOUMA and S. SAYADI, Potential of hydroxytyrosol-rich composition from olive mill wastewater as a natural disinfectant and its effect on seeds vigour response, *Food Chemistry*, 117 (1) (2009) 1 - 8