

Influence du rapport C/N des intrants sur la qualité du compost produit

Daniel RUCAKUMUGUFI^{1*}, Emery NKURUNZIZA¹, Patrice BIGUMANDONDERA²,
Salvator KABONEKA³, Codou Mar DIOP⁴ et Vestine NTAKARUTIMANA¹

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

² Université du Burundi, Institut de Pédagogie Appliquée, Laboratoire de Chimie, Sciences de la Terre et de
l'Environnement, BP 5223 Bujumbura, Burundi

³ Université du Burundi, Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie, Laboratoire d'Amélioration des Productions
Végétales et Protection de l'Environnement, BP 2940 Bujumbura, Burundi

⁴ Université Cheikh Anta DIOP (UCAD), Ecole Supérieure Polytechnique, Laboratoire d'Electrochimie et des Procédés
Membranaires, BP 5085 Fann-Dakar, Sénégal

(Reçu le 21 Avril 2022; Accepté le 20 Juin 2022)

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

Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'influence du rapport C/N des intrants sur la qualité du compost. Des déchets fermentescibles et déjections d'élevage ont servi à monter quatre types d'andains de rapports C/N différents : C₁ (C/N = 30), C₃ (C/N = 35) et C₄ (C/N = 25) avec comme adjuvant bouses de vache, C₂ (C/N = 30) avec fiente de poule comme adjuvant. La technique de compostage en andain aéré a été adoptée. Le processus de compostage a duré 65 jours (C₁ et C₂) et 75 jours (C₃ et C₄). Les résultats révèlent que les 4 composts produits sont matures et stables. Ainsi, les températures maximales atteintes sont de 70,5 °C (C₁); 68,7 °C (C₂); 64,5 °C (C₃) et 64,9 °C (C₄); les valeurs de pH légèrement basiques : 8,8 (C₁), 8,4 (C₂), 8,5 (C₃) et 7,9 (C₄); teneurs en MOT résiduelles : 33,55 % (C₁), 37,56 % (C₂), 46,45 % (C₃) et 45,01 % (C₄); rapport C/N : 12,82 (C₁), 14,28 (C₂), 16,54 % (C₃) et 14,04 (C₄); abattement de la densité microbienne variant jusqu'à 8,05 log₁₀; les IG, plus sensibles pour les graines de maïs (*Zea mays* L.), sont meilleurs pour la dose de 25 % : 230,84 % (C₁), 187,74 % (C₂), 177,15 % (C₃) et 178,69 % (C₄). Les résultats trouvés montrent que ces composts peuvent être utilisés comme amendements agricoles et ceux de rapport C/N : 30 des intrants sont appréciables par rapport aux autres.

Mots-clés : *compostage, fermentescible, andain, densité microbienne, adjuvant, phytotoxicité.*

Abstract

Influence of the C/N ratio of inputs on the quality of the compost produced

The aim of this work is to assess the influence of the C/N ratio of inputs on compost quality. Fermentable waste and livestock droppings were used to assemble four types of windrows with different C/N ratios : C₁ (C/N = 30), C₃ (C/N = 35) and C₄ (C/N = 25) with cow dung as an adjuvant, C₂ (C/N = 30) with chicken

droppings as an adjuvant. The technique of composting in aerated windrow has been adopted. The composting process lasted 65 days (C1 and C2) and 75 days (C3 and C4). The results reveal that the 4 composts produced are mature and stable. Thus, the maximum temperatures reached are 70.5°C (C1); 68.7°C (C2); 64.5°C (C3) and 64.9°C (C4); slightly basic pH values : 8.8 (C1), 8.4 (C2), 8.5 (C3) and 7.9 (C4); residual TOM contents : 33.55 % (C1), 37.56 % (C2), 46.45 % (C3) and 45.01 % (C4); C/N ratio : 12.82 (C1), 14.28 (C2), 16.54 % (C3) and 14.04 (C4); reduction of microbial density varying up to 8.05 log10; GlS, more sensitive for maize seeds (*Zea mays* L.), are better for the 25% dose : 230.84 % (C1), 187.74 % (C2), 177.15 % (C3) and 178.69 % (C4). The results found show that these composts can be used as agricultural amendments and they have a C/N ratio : 30 of the inputs are appreciable compared to the others.

Keywords : *composting, fermentable, windrow, microbial density, adjuvant, phytotoxicity.*

1. Introduction

La croissance démographique et le développement des activités humaines, qu'ils soient domestiques, agricoles, industrielles ou commerciales, concourent inéluctablement à l'augmentation de la production des déchets solides ménagers (DSM) [1 - 4]. Dans la ville de Bujumbura, Capitale économique du Burundi, un simple passage permet de constater une certaine défaillance au niveau de la gestion des DSM et jusqu'à présent, cette ville ne dispose d'aucun espace aménagé pour accueillir les déchets. Il convient de signaler que le seul dépotoir à ciel ouvert dont dispose la ville de Bujumbura a été officiellement fermé pour cause de saturation. Malheureusement, les camions des sociétés chargées de la collecte des DSM dans la municipalité de Bujumbura continuent à y amener des déchets, ce qui constitue une réelle menace sur la santé humaine et l'environnement surtout que ces derniers sont déposés dans la rue et tout près des maisons situées aux alentours de cette décharge. De manière générale, les déchets produits dans les pays en développement sont particulièrement riches en matières organiques et peuvent être utilisés notamment pour fabriquer du compost [5 - 8]. La technique de compostage constitue une solution naturelle de gestion de DSM et une biotechnologie simple et facile à suivre et contrôler [2, 8, 9]. Pour produire un compost de qualité, un bon nombre de paramètres physico-chimiques et biologiques doivent être tenu en compte avant et durant le processus de compostage. De ces paramètres, le rapport C/N paraît être l'un des paramètres importants du fait qu'il permet d'apprécier l'aptitude du substrat au traitement par compostage et renseigne sur la qualité du compost obtenu [10 - 13]. La valeur optimale du rapport C/N pouvant garantir un bon démarrage et un bon déroulement du compostage se situe entre 25 et 35 selon plusieurs auteurs [7, 9, 13 - 15]. A part que cette gamme choisie nous paraît vaste, les proportions des substrats carbonés et azotés à composter sont calculées sur base des pourcentages volumiques [8, 16, 17] au lieu d'exprimer les quantités à mélanger en Kg sur 100 Kg de matières sèches (% MS) [7, 18]. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'influence du rapport C/N des intrants sur la qualité du compost.

2. Matériel et méthodes

2-1. Site et matériel expérimental

Les expériences de compostage ont été menées sur une parcelle vide proche des bâtiments du Département de Chimie, Faculté des Sciences de l'Université du Burundi, [290 23' 3 Longitude Est, 30 22' 55 de latitude Sud et 847 m d'altitude]. Les DSM ont été collectés sélectivement dans le quartier Nyakabiga, proche de l'Université du Burundi et dans les enceintes de cette même Université. Ces déchets se composent de paille

de brousse, de tontes de gazon, de pelures de pomme de terre, de manioc, de patate douce, de banane et de pertes de choux. Deux types d'adjuvants de déjections d'élevage sont utilisés à savoir les bouses de vache et les fientes de poules. Ensuite, les différents déchets triés à la source (sur les sites de leur production) sont emballés séparément dans des sacs et acheminés sur le lieu de compostage. Le matériel et outils ci-après ont été utilisés pour l'installation des andains : un hangar couvert de tôles, des briques pour la délimitation des dispositifs, d'un râteau, charriot-brouette, d'une pelle, d'une fourche, des bâches, d'un seau, d'un arrosoir, des bidons (de 20 litres de capacité), d'un tuyau d'arrosage, d'une balance, d'une latte et d'une sonde de température.

2-2. Méthodes

Quatre types d'andains ont été réalisés selon le rapport C/N des intrants :

- C₁ - rapport C/N des intrants = 30 et dont l'adjuvant composé de bouses de vache ;
- C₂ - rapport C/N des intrants = 30 et dont l'adjuvant composé de fientes de poule ;
- C₃ - rapport C/N des intrants = 35 et dont l'adjuvant composé de bouses de vache ;
- C₄ - rapport C/N des intrants = 25 et dont l'adjuvant composé de bouses de vache.

2-2-1. Détermination des proportions du mélange de base

Des analyses physico-chimiques de chaque substrat est un préalable pour l'installation d'un compostage. Ainsi, après avoir fixé le rapport C/N (R_m) du mélange des intrants, nous avons procédé à la détermination des proportions des composants du mélange. La Formule (1) [7, 18] nous a servi de base de calcul et le **Tableau 1** présente ces proportions exprimées en Kg sur 100 kg de matières sèches :

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^j n_i \times R_i}{\sum_{i=1}^j n_i} \quad (1)$$

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

2-2-2. Méthode de compostage

La technique adoptée fut le compostage en andain aéré naturellement par couches successives avec alternances des fractions compostables. Sous un hangar en tôles, 8 composteurs (deux par andain) ont été construits et chaque dispositif avait une forme d'un parallélépipède de base carré avec 1,5 m de côté et d'une hauteur de 0,30 m. Des trous d'aération ont été placés aux côtés non adjacents des dispositifs. Lors de la mise en andain, les matières compostables sont ajoutées par couches successives à raison de 20 kg (% MS). De bas en haut, chaque couche est constituée comme suit : fraction de pailles, tontes de gazon, mélange d'épluchures et de choux, déjections d'élevage. Au total, 4 couches ont été constituées. On a arrosé avec 28 L d'eau de robinet pour la première et la deuxième couches chacune, pour la troisième et la quatrième couches, on a utilisé 56 L chacune [7, 19]. Chaque andain est couvert de bâches pour éviter un excès d'évaporation. Des retournements hebdomadaires sont effectués.

2-2-3. Analyses des paramètres de compostage

Dans le but de suivre le processus de compostage et d'évaluer la qualité des composts produits, les échantillons destinés à l'analyse ont été prélevés, mélangés et soumis à l'opération de quartage [11, 17, 20]. Les paramètres ci-après ont été contrôlés :

2-2-3-1. Analyses Masse volumique, Hauteur, Température, Humidité, Aération

La masse volumique (ρ en kg/dm^3) a été mesurée sur les entrants et compost mûrs par pesée manuelle [7, 21]. L'évolution de la hauteur a été suivie journalièrement à l'aide d'une latte ($\pm 1\text{mm}$ de précision) suivant les deux diagonales de chaque andain. La température est mesurée chaque jour pendant tout le processus du compostage, à l'aide d'un thermomètre à sonde et à différents coins et profondeurs de l'andain pour avoir la moyenne de température du tas [7, 8, 15]. L'humidité a été mesurée sur les entrants, au cours du processus de compostage et sur le compost mûr par la méthode AFNOR NF U44- 171 (1996). L'humidité a été déterminée quotidiennement par pesée d'une poignée de compost [7, 10, 15, 21].

2-2-3-2. Paramètres physico-chimiques et agronomiques de qualité du compost

Les mesures des paramètres concernés ont été menées de la manière suivante : le pH (eau) des échantillons est déterminé sur une suspension aqueuse à un ratio S/L de 1/5 [4, 21] ; le carbone organique total (COT) et l'azote total Kjeldahl (NTK) ont été mesurés respectivement par la méthode Walkley-Black et la méthode Kjeldahl ; la teneur en matière organique total (MOT) par calcination dans un four de type Nabertherm à 550°C pendant 4 heures ; le phosphore et potassium sont déterminés respectivement par colorimétrie et par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) à flamme [4, 7, 15, 17, 21, 22].

2-2-4. Evaluation de quelques critères d'innocuité

2-2-4-1. Analyses microbiologiques des adjuvants et des composts produits

Les méthodes d'analyses microbiologiques et dénombrement des microorganismes sont conformes aux normes NF EN ISO 4833-1 et NF 08-14 [19]. Ces analyses ont été menées sur les adjuvants et sur les composts produits.

2-2-4-2. Eléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques (ETM) recherchés sont : Pb, Cd, Zn, Mn, Cu, Ni, Cr, Co [15, 22]. Les analyses ont été effectuées par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) à flamme au laboratoire de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU).

2-2-4-3. Test de phytotoxicité

Une phytotoxicité des composts produits a été évaluée par calcul du taux de germination (G en %) et d'indice de germination (IG en %) sur les graines d'arachides (*Arachis hypogaea* L.) et de maïs (*Zea mays* L.) [23]. Dix graines de chaque culture sont placées dans des boîtes de pétri contenant du papier filtre imbibé de 5 mL d'eau distillée seule (témoin), d'extraits aqueux de compost de 25 - 50- 75 et 100 % à raison de 3 boîtes par catégorie. Après 72 heures d'incubation à 25°C , le taux de germination et l'indice de germination sont calculés pour chaque essai [19].

2-2-5. Analyses statistiques

Les résultats relatifs aux diverses analyses réalisées ont subi l'analyse de la variance (ANOVA) et la comparaison des moyennes par le test de Duncan par utilisation du logiciel *IBM SPSS Statistics 20* au seuil de probabilité de 5 %.

3. Résultats et discussion

3-1. Proportions des entrants

Les proportions des intrants des quatre andains montés à sont présentées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Proportions des différents substrats et adjuvants entrants

Paramètres	Andain	Paille	TG	E+PC	Adjuvant		Total	Moyenne C/N
					B _v	F _p		
Masse en kg (% MS)	C ₁	38	27	27	8	-	100	30
	C ₂	40	26	26	-	8	100	30
	C ₃	63,6	14,2	14,2	8	—		35
	C ₄	12,4	39,8	39,8	8	—		25
C/N	C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄	42.39	21.61	24.12	19.36	14.52	—	—

où, C = compost ; TG = Tontes de gazon ; E+PC = Epluchures + Pertes de choux ; B_v = Bouses de vache ; F_p = Fientes de poule

L'andain 3 avec un rapport C/N = 35 est de proportion élevée en paille, ce qui est normale puisque les pailles sont réputées riches en carbone. Par contre, l'andain 4 dont le rapport C/N = 25 est de proportion faible en pailles et élevée en TG et E + PC. En conséquence, plus le rapport C/N est élevé, plus la proportion en matière carbonée est élevée et celle en matière azotée est faible. Inversement, plus bas est le rapport C/N, plus la proportion en matière azotée des intrants est élevée et celle en matière carbonée est faible. Indépendamment des origines des entrants, pour des rapports C/N égaux (les andains produits à Bujumbura et ceux produits à Dakar de C/N = 30), les proportions de chaque type d'intrant se trouvent dans des rapports presque égaux [7].

3-2. Caractéristiques physico-chimiques

3-2-1. Caractéristiques physico-chimiques des intrants et composts produits

Les **Tableaux 2** et **3** présentent respectivement la comparaison des paramètres physico-chimiques obtenus avec les valeurs de référence et/ou de la littérature et la comparaison statistique des paramètres physico-chimiques des 4 composts produits à Bujumbura.

Tableau 2 : Comparaison des valeurs physico-chimiques aux valeurs obtenues par d'autres auteurs et quelques normes internationales

Paramètres	C1i _B	C1f _B	C2i _B	C2f _B	C3i _B	C3f _B	C4i _B	C4f _B	Normes et références
ρ (kg/dm ³)	0,16 ± 0,01	0,43 ± 0,05	0,21 ± 0,01	0,47 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,26 ± 0,01	
Hauteur (%)	100 ± 0,07	38,61 ± 1,34	100 ± 0,06	36,76 ± 0,74	100,16 ± 0,38	51,12 ± 0,76	100,05 ± 0,31	44,07 ± 0,70	
M.S. (%)	66,14 ± 1,15	79,75 ± 2,34	72,29 ± 1,96	83,15 ± 0,24	75,28 ± 0,97	81,53 ± 1,17	56,93 ± 0,60	87,12 ± 1,88	> 30% [15, 17]
pH	-	8,8 ± 0,26	-	8,4 ± 0,17	-	8,53 ± 0,21	-	7,90 ± 0,30	7,5-9,3 [7, 13]
MOT (% MS)	86,54 ± 1,70	33,55 ± 1,32	86,49 ± 0,89	37,56 ± 1,02	87,84 ± 1,47	46,45 ± 0,53	86,37 ± 0,84	45,01 ± 1,06	> 20% [15, 17]
COT (% MS)	47,06 ± 1,81	15,24 ± 0,16	46,91 ± 1,56	15,85 ± 0,17	47,98 ± 1,97	17,08 ± 0,67	46,15 ± 0,98	15,86 ± 0,20	> 0,25% [3]
NTK (%)	1,58 ± 0,13	1,19 ± 0,06	1,61 ± 0,04	1,11 ± 0,03	1,58 ± 0,13	1,03 ± 0,02	1,61 ± 0,07	1,13 ± 0,01	< 3% [15, 17]
P (en %)	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,00	0,11 ± 0,00	0,12 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,11 ± 0,00	0,13 ± 0,00	0,13 ± 0,00	< 3% [15, 17]
K (%)	-	1,4 ± 0,06	-	1,46 ± 0,09	-	1,67 ± 0,02	-	1,53 ± 0,03	< 3% [15, 17]; > 1% [3, 14]
N+P+K (%)	-	2,71 ± 0,00	-	2,69 ± 0,06	-	2,80 ± 0,09	-	2,79 ± 0,09	< 7% [7, 15]
C/N	30,04 ± 1,32	12,82 ± 0,72	30,06 ± 0,17	14,28 ± 0,45	35,00 ± 0,06	16,54 ± 0,26	25,03 ± 0,12	14,04 ± 0,27	10-15 [22, 4]; > 8 [3, 15]

où, *i* = initial; *f* = final

L'observation des résultats consignés dans le **Tableau 2** montre que les densités des intrants sont faibles et passent à tout au moins au double pour les composts mûrs correspondants. Cette faible densité est due notamment à la présence des pailles et tontes de gazon caractérisées par de teneurs élevées en matières sèches au moment du compostage, car ayant perdue la majeure partie d'eau qu'elles contenaient. Les valeurs moyennes de la matière sèche des intrants varient entre 56,93- 75,28 % et, en fin de compostage, subissent une augmentation pour atteindre des valeurs variant entre 79,75- 87,12 %, résultats qui sont comparables à ceux trouvés par d'autres auteurs [15, 17]. Les valeurs de pH, teneurs en MOT, NTK, P, K ; rapport de C/N (sauf pour C3f) sont dans la gamme de celles des normes internationales [3, 15, 17, 22] ou comparables aux valeurs trouvées par d'autres auteurs [4, 7, 13]. Pour rappel le C/N des substrats de départ pour C3 est de 35.

Tableau 3 : Comparaison statistique des caractéristiques physico-physiques des 4 composts produits

Paramètres	C1	C2	C3	C4	P-value
ρ (kg/dm ³)	0,43 ± 0,05b	0,47 ± 0,01c	0,23 ± 0,01a	0,26 ± 0,01a	0
Hauteur (%)	38,61 ± 1,34b	36,76 ± 0,74a	51,11 ± 0,07d	44,06 ± 0,70c	0
M.S. (%)	79,75 ± 2,34a	83,15 ± 0,24b	81,53 ± 1,16ab	87,12 ± 1,88c	0,003
pH	8,8 ± 0,26b	8,4 ± 0,17b	8,5 ± 0,20b	7,90 ± 0,30a	0,01
MOT (%MS)	33,55 ± 1,32a	37,56 ± 1,02b	46,45 ± 0,53c	45,00 ± 1,06c	0
COT (%MS)	15,24 ± 0,16a	15,85 ± 0,17a	17,08 ± 0,67b	15,80 ± 0,19a	0,002
NTK (%)	1,19 ± 0,05c	1,11 ± 0,02b	1,03 ± 0,02a	1,13 ± 0,01bc	0,003
P (ppm)	1180,61 ± 51,72b	1150 ± 46,48ab	1088,77 ± 0,31a	1333,67 ± 0,44c	0
K (%)	1,4 ± 0,055a	1,46 ± 0,09ab	1,60 ± 0,02c	1,50 ± 0,03b	0,001
N+P+K	3,71 ± 0,00a	3,69 ± 0,06a	2,79 ± 0,08a	2,79 ± 0,08a	0,16
C/N	12,82 ± 0,72a	14,28 ± 0,45b	16,54 ± 0,26c	14,04 ± 0,27b	0

L'analyse des résultats du **Tableau 3** montre que le rapport C/N des composts C₁, C₂ et C₄ rentre dans la gamme de composts de bonne qualité (10-15). A l'exception des valeurs N, P, et K ainsi que celles de pH des trois composts (C₁, C₂ et C₃) qui ne sont pas significativement différentes au seuil de confiance de 95 %, les moyennes des autres paramètres pour les 4 composts sont différentes entre elles. Ces différences peuvent être attribuées aux rapports de C/N des substrats de départ et/ou au type d'adjuvant qui sont différents. Par ailleurs, à partir des valeurs de MOT de ces 4 composts, il se remarque que C₁ et C₂ sont beaucoup plus minéralisés, preuve d'un bon déroulement du processus de compostage.

3-2-2. Quelques paramètres de suivi du processus de compostage

Au cours du processus de compostage, il a été notamment suivi l'évolution de la température et de la matière organique, les résultats sont présentés aux **Figures 1** et **2**

3-2-2-1. Température

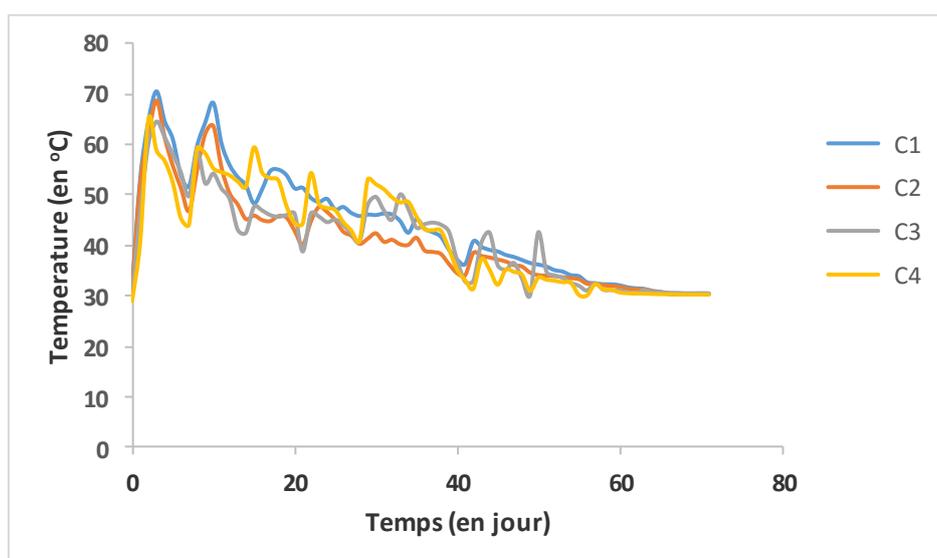


Figure 1 : Evolution de la température en fonction du temps de compostage

La surveillance de la température permet une mesure indirecte de l'intensité de la dégradation aérobie [16]. L'observation de la **Figure 1** révèle que les températures des quatre andains ont augmenté très rapidement pour atteindre les maxima de 70,5°C ; 68,7°C ; 64,5°C et 64,9°C respectivement pour C1, C2, C3 et C4 au troisième jour de compostage. Au cours du processus de compostage, les montées de températures des quatre andains ont évolué pratiquement de la même manière avec des valeurs élevées atteintes respectivement pour C1 (70,5°C) et C2 (68,7°C). Après le troisième jour, les températures diminuent graduellement jusqu'au jour du retournement. La fréquence de retournement a été fixée à une fois par semaine. A chaque retournement, il s'observait une montée de température dans les andains. Au début du compostage, l'activité biologique s'installe à travers des microorganismes mésophiles ($T_{\text{ambiante}} < T < 45^{\circ}\text{C}$) qui attaquent très rapidement les composés facilement dégradables (les sucres, l'amidon et les graisses) [16]. La forte élévation de température induit le remplacement des germes mésophiles par des thermophiles [8, 16]. La création des conditions optimales dans le tas (aération par retournement, taux d'humidité, ..) ont permis de maintenir la phase thermophile ($45 < T < 80^{\circ}\text{C}$) à 32 jours ; 19 jours ; 27 jours et 28 jours respectivement pour C1, C2, C3 et C4. La phase de maturation, les pertes de chaleur par échange avec le milieu extérieur, la diminution des éléments nutritifs et la mort de micro-organismes décomposeurs engendrent une chute de température progressive pour se rapprocher de la température initiale (30°C) après 60 jours (pour C1 et C2) et 70 jours (pour C3 et C4) de compostage (**Figure 1**). Pour les andains installés et suivis à Dakar, les températures maximales sont atteintes au 2^{ème} jour de compostage [69,3°C (C_{1D}); 66,6°C (C_{2D})] et pour ceux de Bujumbura (de même rapport C/N = 30 des intrants et mêmes adjuvants), les températures maximales sont atteintes au 3^{ème} jour [70,5°C (C_{1B}) ; 68,7°C (C_{2B})]. Ces températures sont proches les unes des autres et les andains avec l'adjuvant bouses de vache [(C_{1D}), (C_{1B})] sont d'une évolution légèrement plus élevée comparativement aux deux autres d'adjuvant de fientes de poule [(C_{2D}), (C_{2B})]. La phase de maturation commence au 41^{ème} jour pour les deux andains suivis à Dakar et au 60^{ème} jour pour ceux de Bujumbura, soit une différence de 19 jours. Cet écart de période de maturation peut trouver comme explication principale la différence de conditions climatiques entre ces deux régions. En effet, au cours du processus de compostage, à Dakar régnait la saison sèche, la température moyenne mensuelle variait entre 24°C et 26°C et le vent était sec et chaud. Par contre, à Bujumbura, au cours de la période de compostage, la température moyenne mensuelle oscillait autour de 20°C et on a connu une alternance entre un vent chaud-humide et froid-humide. Les résultats sur l'évolution des températures des andains (**Figure 1**) sont conformes à ceux obtenus par d'autres chercheurs [8, 17, 19, 26].

3-2-2-2. Matière organique

La fraction organique du substrat a été minéralisée en composés stables par les activités microbiennes, ce qui explique sa diminution au cours du processus de compostage [19, 27].

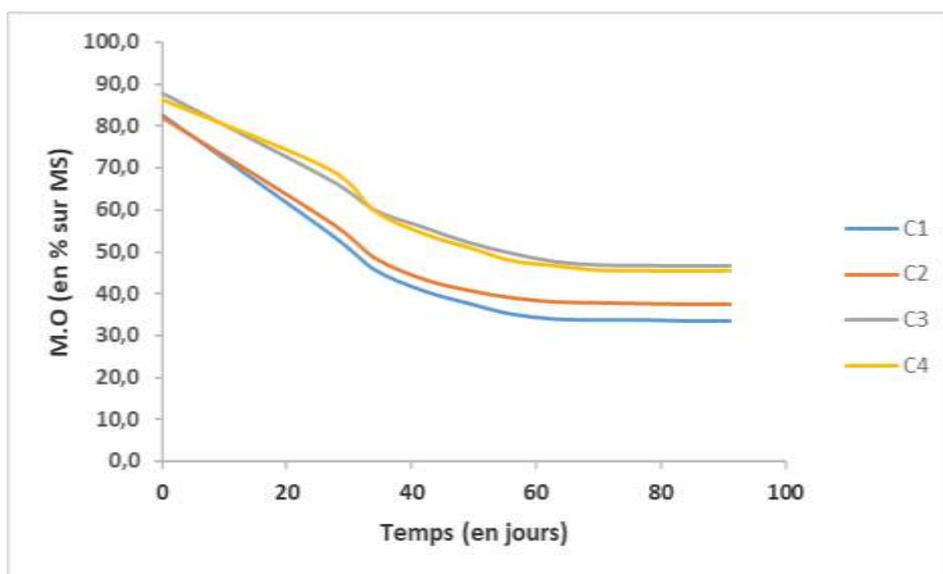


Figure 2 : Evolution de la matière organique en fonction du temps de compostage

La lecture de la **Figure 2** montre que la tendance des courbes de cette figure peut être décomposée en trois phases principales. i) la première qui va du début jusqu'au 27^{ème} jour pour C4 et jusqu'au 34^{ème} jour pour C1, C2 et C3; ii) la deuxième phase du 27^{ème} jour jusqu'au 70^{ème} jour pour C4 et du 34^{ème} jour jusqu'au 60^{ème} jour pour les trois premiers andains; iii) la troisième et celle de variation constante débute au 60^{ème} jour pour les trois premiers composts et au 70^{ème} jour pour C4. Ces deux premières phases peuvent être rapportées et assimilées à la minéralisation des matières organiques facilement biodégradables par les microorganismes. La troisième phase correspond quant à elle à l'épuisement des matières facilement biodégradables. Les composts C1 et C2, qui ont connu les températures les plus élevées [70,5°C (C1) et (68,7°C (C2), semblent être de cinétique et de degré de minéralisation beaucoup plus élevés avec des teneurs en matières organiques résiduelles plus basses (33,6 et 37,5 %) comparativement à celles des composts C3 et C4 (46,8 et 47,45 %), soient des taux de diminution de 59,40 %, 54,45 %, 46,70 et 47,45 % respectivement pour les composts 1, 2, 3 et 4. Cette différence de minéralisation serait attribuable à la différence des rapports C/N des substrats de départ des 4 composts qui étaient de 30 pour C1 et C2 ainsi que 35 et 25 respectivement pour C3 et C4. Pour les composts C3 et C4, bien que l'équilibre qualitatif est établi entre les matières carbonées/matières azotées, on remarque un déséquilibre quantitatif entre les proportions de ces deux catégories de matières, lequel déséquilibre serait à l'origine du ralentissement de leur minéralisation comparée à celle des deux premiers. Cette hypothèse est plus plausible étant donné que les valeurs des pertes en MO des composts produits à Dakar sont proches de celles des deux premiers composts produits à Bujumbura (dont C/N de départ = 30). Toutefois, la diminution en MO des quatre composts produits à Bujumbura sont comprises entre 40- 60 %, valeurs qui rentrent dans la gamme de celles rapportées par la littérature [19, 27, 28].

3-3. Innocuité des composts produits

3-3-1. Eléments traces métalliques

Les résultats des analyses des éléments traces métalliques (Cd, Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Co) effectuées sur les composts produits sont présentés dans le **Tableau 4**.

Tableau 4 : Teneurs en éléments traces métalliques des composts produits en comparaison avec quelques normes et résultats d'autres auteurs

Source	Cd (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)
cette étude	0,25	35,2	4,3	138	< 4	3,58	3,57
Normes Françaises [14, 22]	< 3	< 300	< 100	-	< 100	< 50	-
Normes Suisses [14, 22]	< 2	< 400	< 100	-	< 120	< 30	-
NFU 44-051 [17,22]	< 3	< 600	< 300	-	< 180	< 60	-
[30]	1	40	8	-	3	5	-

Les résultats des analyses des ETM : Cd, Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, Co effectuées sur les composts obtenus sont respectivement de 0,25 ; 35,2 ; 4,3 ; 138 ; < 4 ; 3,58 ; 3,57. Toutes les concentrations trouvées sont inférieures aux valeurs limites admises par différentes normes. Ces faibles teneurs en ETM sont notamment liées à la collecte sélective des déchets compostés, ce qui constitue une preuve que le tri à la source des DSM est un passage obligé pour une gestion optimale des déchets solides.

3-3-2. Caractéristiques bactériologiques

Les analyses microbiologiques sont réalisées sur les adjuvants (sources de microorganismes) et les composts produits. Les résultats obtenus sont consignés au **Tableau 5**.

Tableau 5 : Caractéristiques microbiologiques des adjuvants et des composts produits

Echantillons	Types de microorganismes (en Unité Format Colonie : UFC/g)			
	Flore mésophile aérobie totale (FMAT / g)	Coliformes fécaux / g	Pseudomonas aeruginosa / g	Escherichia coli / g
Bouses de vache	213.10 ⁷	113.10 ⁶	64	< 10
Fientes de poule	80.10 ⁷	280	< 10	< 10
Compost 1 (C1)	4.10 ⁵	54	109.10 ²	< 10
Compost 2 (C2)	3.10 ⁵	< 10	26.10 ³	< 10
Compost 3 (C3)	11.10 ⁵	40	57.10 ²	< 10
Compost 4 (C4)	15.10 ⁵	< 10	81.10 ²	< 10

La FMAT et les *Coliformes fécaux* sont les plus abondants et les analyses microbiologiques des composts obtenus montrent des abattements de la densité microbienne variant de 3,14 log₁₀ à 8,05 log₁₀, ce qui témoigne une bonne hygiénisation [19]. Les *Escherichia coli* sont absents du début jusqu'à la fin du processus de compostage et dans certains composts (C1 et C4), les *Coliformes fécaux* disparaissent complètement. Seuls les *Pseudomonas aeruginosa* ont connu une croissance modérée dans les composts mûrs par rapport à leur concentration dans les adjuvants (**Tableau 5**). Ces résultats d'analyse microbiologiques sont en accord avec ceux obtenus par d'autres auteurs [7, 19, 29] et classent nos 4 composts dans la catégorie sans danger pour la santé de l'homme et des animaux.

3-3-3. Test de phytotoxicité des composts produits

Les tests d'Indice de Germination (IG) ont été utilisés pour étudier la toxicité des composts obtenus et évaluer leur degré de maturité. Les essais expérimentaux ont porté sur des graines de maïs (M) et d'arachides (A) pour différentes doses des extraits aqueux de composts et les résultats sont présentés à la **Figure 3**.

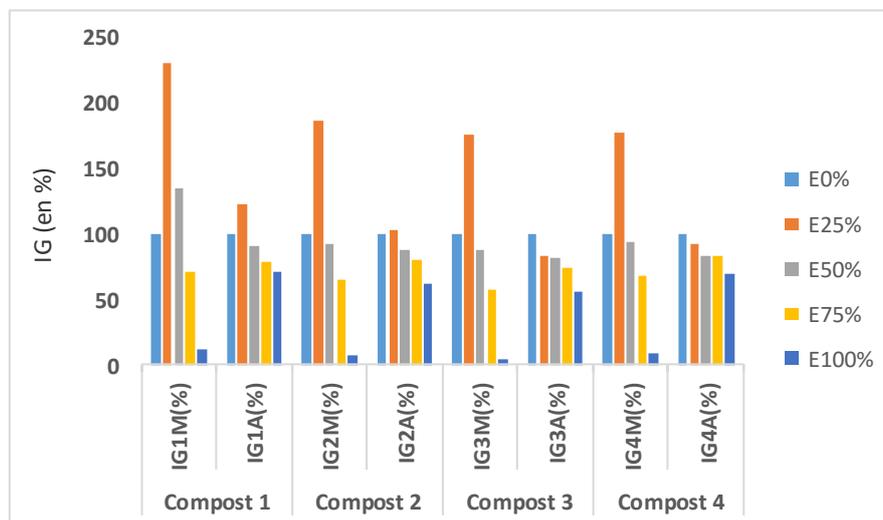


Figure 3 : Test de phytotoxicité des composts obtenus avec les graines de maïs et d'arachides

Les résultats obtenus révèlent que les IG sont inversement proportionnels aux doses des extraits de composts. Les indices de germination varient de 3,9 à 230,84 % pour le maïs (*Zea mays* L.) et de 56,50 à 123,75 % pour l'arachide (*Arachis hypogaea* L.). On note que la dose de 100 % est répressive pour la culture de maïs (*Zea mays* L.). La lecture des graphiques de la **Figure 3** montre que l'incorporation de la dose de 25 % de compost induit d'excellente rentabilité avec une sensibilité plus remarquable pour la culture de maïs (*Zea mays* L.) où l'IG relevé est de 230,84 % (C1) et 187,74 % (C2). Les valeurs d'IG supérieures à 50 % témoignent la maturité et la non toxicité des 4 composts produits. Les résultats des tests de phytotoxicité trouvés dans cette étude sont similaires à ceux obtenus dans d'autres travaux antérieurs [7, 16, 19]. Pour les composts C₁ et C₂, les valeurs trouvées sont comparables à celles des composts produits à Dakar [7] et, se révèlent plus performants par rapport à C₃ et C₄. Ainsi, vis-à-vis des résultats trouvés, nous trouvons que la phytotoxicité du compost n'est pas seulement liée à son immaturité mais aussi aux doses utilisées et aux types de cultures considérées (**Figure 3**).

4. Conclusion

Cette étude s'est fixée l'objectif d'évaluer l'influence du rapport C/N des intrants sur la qualité du compost produit à partir du compostage de la fraction fermentescible des déchets solides ménagers associés aux déjections d'élevage (bouses de vache et fientes de poule) collectés dans la ville de Bujumbura. A partir des résultats des analyses physico-chimiques, microbiologiques et biologiques menées sur les quatre composts produits et dont les rapports des intrants sont de 30 (C1 et C2) ; 35 (C3) et 25 (C4), on a remarqué que tous les 4 composts sont de bonne qualité. Toutefois, il convient de souligner que les composts de rapport C/N des intrants égal à 30 sont meilleurs notamment en terme d'évolution de température [70,5°C (C1) et 68,7°C (C2)], de vitesse et de degré de minéralisation avec des teneurs en MO résiduelles de 33,6 % (C1) et 37,5 % (C2) ainsi que d'IG de 230,84 % (C1) et 187,74 % (C2). Ainsi, le rapport C/N = 30 des intrants peut être pris comme valeur optimale pour produire un compost de meilleure qualité.

Références

- [1] - S. SOUABI, K. TOUZARE, H. DIGUA, F. KHALIL et M. TAHIRI, Triage et valorisation des déchets solides à la décharge publique de la ville de Mohammédia, *Les techniques de laboratoire*, 6 (25) (2011) 121 - 139
- [2] - 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
- [3] - 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, DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v11i2i1.12>
- [4] - A. BOKOBANA, O. TOUNDOU, L. KOLANI, K. A. A. AMOUZOUVI, E. KOLEDZI, K. TOZO et G. TCHANGBEDJI, Traitement de déchets 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
- [5] - 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://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3654>
- [6] - 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.
- [7] - D. RUCAKUMUGUFI, M. DIENG, V. NTAKARUTIMANA, F. M. SAMBE, P. BIGUMANDONDERA et C. M. DIOP, Co-compostage des déchets solides ménagers avec les déjections d'élevage : optimisation du rapport C/N des substrats de départ, *Afrique Science*, 18 (2) (2021) 94 - 107
- [8] - 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
- [9] - J. FAVERIAL, Compostage et vermicompostage des effluents d'élevage. Une alternative durable pour le recyclage des déchets d'origine animale, Université des Antilles-Guadeloupe (France), (2016) 163 p.
- [10] - H. BROMBLET et G. SOMAROO, Les techniques de compostage de déchets d'origine naturelle en Afrique et dans les Caraïbes, *Plateforme Re- Sources*, (2015). <https://www.plateforme-re-sources.org/wp-content/uploads/2015/05/FS-Compostage>, (Avril 2021)
- [11] - 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
- [12] - M. LO, E. H. M. SONKO, D. DIENG, S. NDIAYE, C. DIOP, A. SECK et A. GUEYE, Co-compostage de boues de vidange domestiques avec des déchets maraîchers et des déchets de poissons à Dakar (Sénégal), *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13 (6) (2019) 2914 - 2929
- [13] - M. MUSTIN, Compostage : de l'Afrique à Paris, Janvier 2016, <http://compostaparis.blogspot.com/2016/01/conference-composter-en-afrique.html>, (Avril 2021)
- [14] - 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
- [15] - H. NTALANI, A. M. ELOUMA NDINGA, I. G. NTSATOUABAKA-BANZOUZI-MPOLO, A. V. LIPINDA et J — M. OUAMBA, Essais de valorisation des déchets solides ménagers biodégradables par compostage en milieu urbain au Congo, *Afrique Sciences*, 16 (2) (2020) 59 - 69
- [16] - 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
- [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] - B. ROGER, « Le calcul du rapport Carbone/Azote — Les guides composteurs », (2012), www.guidescomposteurs.com, (Mai 2021)
- [19] - M. DIENG, A. S. DIEDHIOU et F. M. SAMBE, Valorisation par compostage des déchets solides fermentescibles collectés à l'Ecole 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)
- [20] - M. BONNAH, G. BABA et N. B. SEGBEAYA, Quantification des déchets solides ménagers de la ville de Kara et scénarisation de la gestion, *European Journal of Scientific Research*, Vol. 148, N°2 (2018) 179 - 187
- [21] - 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
- [22] - AFNOR, « Norme NFU 44-051. Amendements organiques. « Dénomination, spécification et marquage », (2018) 12 p., <http://www.afnor.fr> (Mai 2021)
- [23] - D. RAJ et R. S. ANTIL, Phytotoxicity evaluation and response of wheat to agro-industrial waste composts. *Arch Agro Soil Sci*, Cross Ref Google Scholar, 58 (2012a) 73 - 84
- [24] - E. TEMGOUA, E. NGNIKAM, H. DAMENI et G. S. KOUDEUKAMENI, Valorisation des ordures ménagères par compostage dans la ville de Dschang, Cameroun, *Tropicicultura*, 32 (1) (2014) 28 - 36
- [25] - 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
- [26] - O. TOUNDOU, A. AGBOGAN, O. SIMALOU, D. S. S. KOFFI, T. AWITAZI et K. TOZO, Impact du compostage sur la réhabilitation de la carrière de calcaire de Sika-Kondji (Togo) : effets sur l'attraction des animaux et sur la performance du maïs (*Zea mays* L.). *Vertigo*, 17 (3) (2017), DOI : 10400/vertigo.18838.<http://journals.openedition.org/vertigo/18838>
- [27] - M. B. POUYA, Z. GNANKAMBARY, O. M. SAVADOGO, N. OUANDAOGO, M. P. SEDOGO et F. LOMPO, Valorisation agronomique des résidus de *Jatropha Curcas* L. comme fertilisant organique au Burkina Faso, *Afrique Science*, 16 (5) (2020) 81 - 92

- [28] - A. I. M. SEMA, E. K. KOLEDZI, N. M. KROU et M. TCHA-THOM, 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) (2021) 353 - 366, DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i1.30>
- [29] - 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.
- [30] - K. E. KOLEDZI, G. BABA, S. TCHEGUENI, K. N. SEGBEAYA, M. KORIKO, G. MATEJKA et G. TCHANGBEDJI, Composting of urban solid waste in Lomé, Togo : fate of some heavy metals (Ni , Cu , Zn , Pb and Cd), *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (2) (2014) 821 - 830