IMPACT DE L'EVOLUTION DE LA FLORE MICROBIENNE SUR LES VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES LORS DU COMPOSTAGE EN CUVE DES DECHETS MENAGERS

CHENNAOUI M.[1,3], SALAMA Y.[2], AOUINTY B.[1], MOUNTADAR M.[3]

1. *Centre régional des métiers de l'éducation et de la formation (CRMEF). Laboratoire des Sciences de la Vie et de la Terre (SVT), El Jadida, Maroc*
2. *ENQUAS Consulting, Environnement, Qualité et Sécurité, Khouribga, Maroc*
3. *Laboratoire de l'Eau et Environnement, Faculté des Sciences. Université Chouaïb Doukkali, El Jadida, Maroc*

Résumé : La gestion des déchets constitue une préoccupation environnementale majeure pour les autorités en charge du secteur: Ministères, conseils de villes, communes,….La gestion de ces déchets et leur élimination devient donc une obligation. Le présent travail s'inscrit dans le contexte de la gestion et la valorisation des déchets solides urbains.Le recyclage des déchets ménagers par compostage est actuellement considéré comme une des composantes du développement durable.Pour bien contrôler le processus du compostage, on aétudié l'impact de la flore microbienne sur les paramètres physico-chimiques au cours du compostage des déchets ménagers à l'échelle pilote dans un bioréacteur. Les résultats obtenus ont montré que la flore microbienne modifie les paramètres physico-chimiques (T°, humidité, pH et gaz dégagés) lors de la transformation de la fraction organique des déchets solides dans délais de 60 jours et le compost final obtenu a été satisfaisant pour son application agricole.

Mots clés: déchets, compost, flore microbienne.

IMPACT OF THE EVOLUTION OF THE MICROBIAL FLORA ON THE VARIATIONS OF THE PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS DURING THE COMPOSTING IN TANK OF HOUSEHOLD WASTE

Abstract: Waste management is a major environmental concern for the authorities in charge of the sector: Ministries, town councils, municipalities, ... The management of these wastes and their disposal therefore becomes an obligation. The present work falls within the context of the management and valorization of solid urban waste. The recycling of household waste by composting is currently considered one of the components of sustainable development. To better control the composting process, the impact of microbial flora on physico-chemical parameters during the composting of household wastes on a pilot scale in a bioreactor was studied. The results obtained showed that the microbial flora modifies the physico-chemical parameters (T °, moisture, pH and released gases) during the transformation of the organic fraction of the solid waste within 60 days and the final compost obtained was satisfactory for its agricultural application.

Keywords: waste, compost, microbial flora.

INTRODUCTION

La quantité de déchets au Maroc augmente d'une année à l'autre, parallèlement à la croissance de la population. En effet, en 2010, le Maroc a produit 6, 5MT/an de déchets solides, soit 4, 5MT/an de déchets ménagers urbains et 2MT/an de déchets ménagers ruraux [1]. Traditionnellement, la gestion des déchets urbains, industriels et commerciaux consistait à les récupérer puis à les stocker. Une fois collectée, divers traitements peuvent être appliqués aux déchets. Le but de ces traitements peut servir à réduire la dangerosité des déchets, de revaloriser les matériaux par le recyclage, de produire de l'énergie à partir des déchets, ou encore réduire leur

Auteur correspondant: Chennaoui M. : mbchen66@yahoo.fr

volume, pour pouvoir en disposer plus facilement. Les méthodes de récupération varient beaucoup entre les différents pays et régions, et il serait impossible de les décrire tous [2-4]. Beaucoup de régions, surtout dans les pays les moins développés, dont le Maroc fait partie, n'ont pas de systèmes structurés de récupération des déchets. La gestion deces déchets et leur élimination devient une obligation. Par ailleurs, le recyclage des déchets ménagers par compostage est actuellement considéré comme une des composantes du développement durable [2-7]. Trois catégories de technologies de base ont été utilisées pour le compostage : en andain, en pile statique et en cuve. Chaque technologie peut être utilisée avec succès pour les convertir biologiquement en compost dans des conditions aérobies. La différence entre ces technologies est le niveau de contrôle du processus et les exigences de l'espace terrestre. Le système de compostage en cuve présente des avantages par rapport aux systèmes d'andains et pile statique, car il nécessite moins d'espace et offre un meilleur contrôle [8]. L'introduction du compost mûr dans le sol est une solution pour le maintien de la matière organique dans le sol [9]. Le compost est, en effet, un produit riche en matières organiques et en composés minéraux,capablesd'améliorer la fertilité du sol.

L'objectif de ce travail consiste à étudier l'impact de la flore microbienne sur la variation des paramètres physico-chimiques,au cours du compostage,à l'échelle pilote,des déchets ménagers

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Origine et caractérisation des déchets

Sur la base de la consommation marocaine, les déchets organiques ou déchets verts à composter,sontconstitués de 37% déchets de légumes, 35% des déchets de fruits, 13% des produits de thé de déchets et 15% des autres déchets.

Un échantillon de 20 kg a été pesé et manuellement haché en petits morceaux de 2 à 5 mm de longueur. Les déchets obtenus, homogénéisés avec 1 kg de terreau pour l'apport de la microflore, ont été transférés dans le bioréacteur. L'ajustement de l'humidité a été réalisée soit en ajoutant la quantité requise de l'eau ou par le séchage du mélange, sous les rayons du soleil, s'il y a un excès d'humidité.

1.2. Description du bioréacteur

La figure 1 montre le bioréacteur en laboratoire qui a été spécialement conçu et utilisé pour le compostage des déchets dans cette étude. Le bioréacteur est un fut métallique horizontal d'un volume d'environ 200 litres. L'épaisseur du métal est de 1mm. Le bioréacteur est conçu avec une ouverture dans la face supérieure pour l'introduction des déchets. Le bioréacteur est munit d'une soupape pour injecter et une pour retirer l'air et un robinet pour le lixiviat. L'étanchéité est assurée par un joint en caoutchouc.

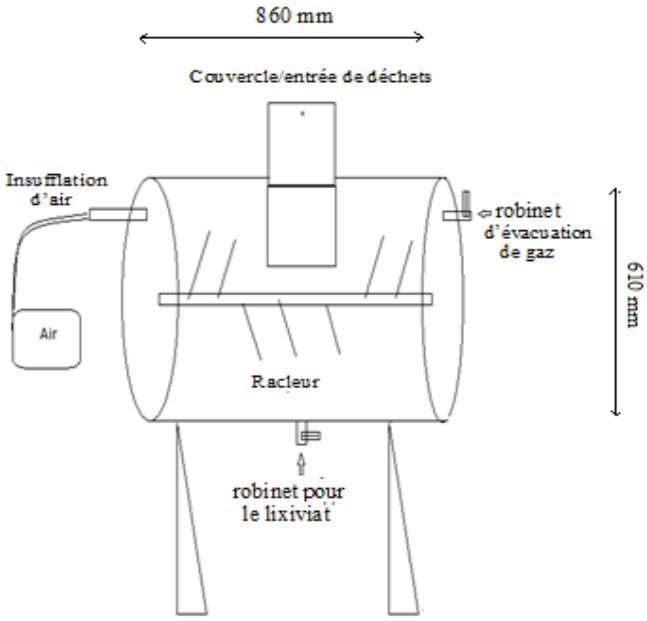

Figure 1: bioréacteur à l'échelle du laboratoire

1.3. Conditions de compostage

Le bioréacteur a été alimenté d'air tous les jours et les gaz formés, au cours du processus de la dégradation, ont été évacués à la fin de la journée. Ce processus est répété jusqu'à la stabilisation du compost. Le bioréacteur est ensuite retourné de manière périodique afin d'assurer une bonne aération du tas et permettre une fermentation aérobie. Le processus de compostage a pris environ 60 jours jusqu'à la stabilisation. Enfin, les valeurs des indicateurs nécessaires du processus ont été mesurées.

1.4. Préparation des échantillons pour analyses

Pour la caractérisation physico-chimique et microbiologique du compost, des échantillons élémentaires sont prélevés de l'intérieur de la cuve après chaque retournement, et réunis pour former un échantillon composite de 500 mg qui est mis dans un sac en plastique stérile. Tous les 5 jours un échantillon composite est prélevé pour être analysé.

1.5. Les méthodes d'analyse des paramètresmicrobiologiques

Dans un Erlenmeyer de 250 ml contenant 90 ml d'eau distillée stérile sont ajoutés aseptiquement 10 g de compost sec (après séchage à 30°C pendant une nuit). Ce mélange est agité mécaniquement à l'aide de barreaux magnétiques pendant 30 minutes dans le but delibérer le maximum de la charge microbienne. La suspension obtenue correspond à la dilution 10^{-1}. 10 ml de la dilution 10^{-1} sont prélevés aseptiquement et mis dans 90 ml d'eau distillée stérile donnant ainsi la dilution 10^{-2} qui est agitée pendant deux minutes avant de prélever 10 ml que l'on ajoute à 90 ml d'eau distillée stérile et ainsi de suite jusqu'à la dilution 10^{-8}. 1 ml est prélevé à partir de chaque dilution, en opérant de la dilution 10^{-8} à la dilution 10^{-1}, et ensemencé sur les différents milieux de culture, à l'aide d'un étaloir de verre stérile.

- **Microflore bactérienne totale**

Le dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FMAT) et de la flore thermophile (FT) est fait par comptage des colonies sur le milieu Plate Count Agar et incubés respectivement à 35°C et 55°C.

- **Microflore fongique**

L'analyse a été conduite selon la technique des suspensions-dilutions telle qu'elle est décrite parRapilly [10]. La culture est faite sur le milieu solide spécifique PDA additionné d'un antibiotique le chloramphénicol (Sigma) à raison de 5µg/ml. Les boîtes sont incubées à 30°C à l'obscurité pendant 3 jours au bout desquels le comptage des colonies est réalisé, puis les boîtes sont placées sous lumière blanche continue afin de favoriser la pigmentation des colonies tout en notant l'apparition de nouvelles colonies.

Expression des résultats: La détermination de la charge fongique est faite par comptage des colonies et les résultats sont exprimés en UFC (nombre d'Unités Formant Colonies) / g de compost selon la formule mathématique ci-dessous. Seules les boîtes contenant entre 15 et 30 colonies au niveau de deux dilutions successives sont retenues pour le dénombrement [11].

$$N = \frac{\Sigma \text{ colonies}}{VX(n1+0{,}1\ n2)Xd1}$$

Où : N: Nombre d'UFC par gramme de compost;
Σ colonies: Somme des colonies des boîtes interprétables;
V: Volume de solution déposée (1ml);
n1 : Nombre de boîtes considéré à la première dilution retenue;
n2: Nombre de boîtes considéré à la seconde dilution retenue;
d1 :Facteur de la première dilution retenue.

1.6. Les méthodes d'analyse des paramètresphysico-chimiques

- **Température**

La température a été mesurée en utilisant un thermomètre numérique Multi-Système (ST-9283B; Indiamart, Delhi, Inde).

- **Humidité**

La teneur en humidité a été mesurée après séchage de l'échantillon à 105 ° C pendant une nuit [12].

- **Matière organique**

La matière organique (MO) a été calculée à partir des cendres après séchage d'un échantillon de 20 g de poids sec à 550 ° C pendant 6 h [12].

- **Carbone organique total et azote total kjeldahl**

Carbone organique total (COT) et azote total Kjeldahl (NTK) ont été mesurés, respectivement par la méthode Walkley-Black et la méthode Kjeldahl [12,13]. Le rapport C/N est alors calculé en fonction de la concentration en COT et NKT.

- **pH et conductivité**

Le pH et la conductivité électrique (CE) ont été mesurées par mélange échantillon-eau (poids : volume = 1: 10). Les valeurs ont été lues respectivement sur le pH-522 WTW mètre et sur EC-214 conductimètre

- **Ammonium et nitrate**

Ammonium NH_4^+ d'azote a été mesurée par spectrophotométrie d'acide salicylique et de l'hypochlorite de sodium [14]. Nitrate NO^-_3 a été déterminée en utilisant la chromatographie ionique [15].

Toutes les analyses ont été triplées afin d'assurer la reproductibilité et la représentativité de l'échantillon.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1.Evolution de la flore microbienne

Le compostage est un processus aérobie de dégradation des composés organiques par l'action successive des micro-organismes

(bactéries et champignons) dont la concentration peut atteindre des millions par gramme de compost [16-19] ; leur évolution est en fonction des stades de compostage avec un profil défini, en fonction des espèces, à la nature et la structure des substrats et aussi liée principalement aux variations des paramètres physico-chimiques [20].

Au cours du processus de compostage réalisé, la flore microbienne varie considérablement (fig.1). Par ailleurs, la densité bactérienne est toujours plus élevée que la densité fongique quel que soit l'âge du compost.

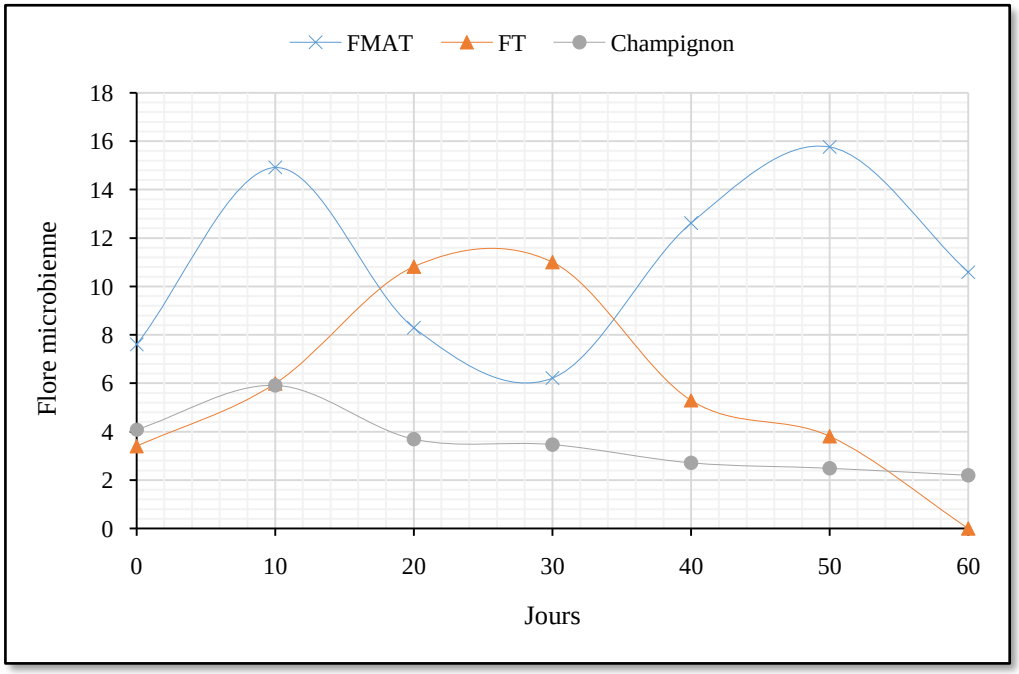

Figure 1 : Evolution de la flore microbienne durant la période du compostage.

Le début de la phase mésophile est caractérisé par une dominance de la flore mésophile qui est aux alentours de 3.10^6 ufc/g qui colonisent le milieu avec les champignons 370 ufc/g.Selon Kilbertus, ce sont les champignons qui colonisent en premier les substrats et dégradent préférentiellement la matière organique fraîche mais l'augmentation de la température entraîne leur diminution et leur nombre passe donc de 370 à 40 ufc/g à partir du 20e jour jusqu'au 25e jour ceci est en accord avec les travaux de Greenberg et Guene [21-23]qui ont déduit que la baisse du nombre de champignon est en raison d'installation de conditions peu favorables à leur prolifération.Vers le 20e jour, la phase thermophile s'installe, la température est de l'ordre de 64,3 °C, on assiste à un abattement de 2 unités logarithmiques pour les mésophiles. Ces derniers sont partiellement inactivés ou tués, et en contrepartie, le nombre des thermophiles augmente sensiblement et atteint alors 5 10^4 UFC/g vers le 25e jour.

Dans ce contexte, Beffa[20]trouve que le genre Thermus est parmi le groupe de bactéries thermophiles qui domine dans la dégradation de la matière organiqueAu cours de la phase de refroidissement après le 40e jour, il y a une réduction importante du nombre des thermophiles, ce qui plaide en faveur du bon déroulement du processus de compostage puisque leur nombre atteint 2 10^2 ufc/g. A la phase de maturation, on note un repeuplement du compost par la flore mésophile puisqu'elle atteint 3 10^5 ufc/g. Ces micro-organismes sont les plus attendus pour deux raisons principales : ils accélèrent le processus de décomposition et donnent un compost mûre en éliminant les pathogènes transportés par divers

composés de déchets. Ces microorganismes continuent de dégrader les substrats comme la cellulose, la lignine, etc., pour obtenir en fin de cycle un compost stable [24-26].

2.2.Evolution de la Température

La surveillance de la température permet une mesure indirecte de l'intensité de la dégradation aérobie par la flore microbienne. À des températures inférieures à 20°C, seules les micro-organismes psychrotrophes sont actifs. Entre 20 et 40°C, c'est le tour desmésophiles, mais les micro-organismes thermophiles sont actifs seulement à des températures comprises entre 40 et 70°C [27].

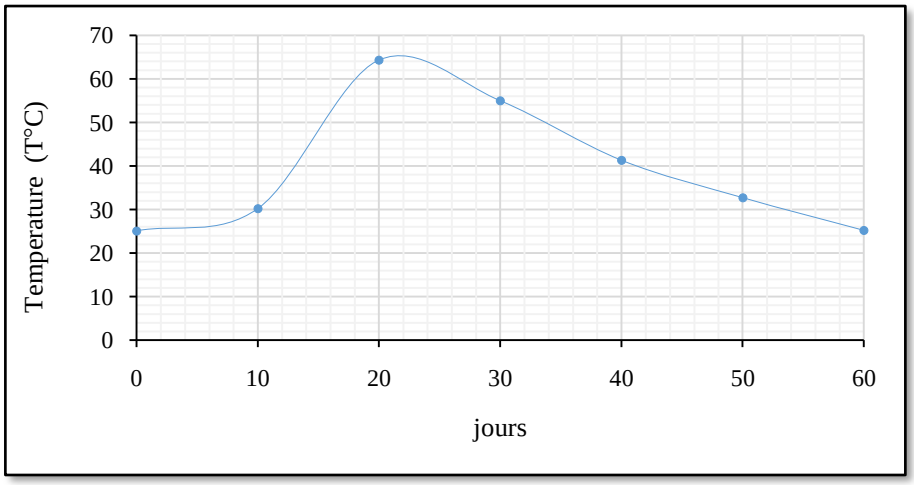

Figure 2 : Evolution de la température durant la période du compostage.

D'après la Figure 2, au début du compostage l'activité biologique s'installe à travers des micro-organismes mésophiles ce qui augmente la température de 25,1°C à 30,2 durant le 10e jour. Cette élévation de la température est la conséquence directe de l'oxydation de la matière organique des substrats [28,29]. Cette oxydation permet ainsi la libération de l'énergie contenue dans les liaisons chimiques des molécules constitutives [30].

Avec le compostage, l'intense activité des micro-organismes génère une élévation de la température à 64,3°C qui est atteinte au 20e jour et dure environ 6 jours ce qui permet l'installation des microorganismes thermophiles et thermo-tolérants [31-34].

Cependant, durant la phase de maturation qui succède à la phase thermophile, les pertes de chaleur par échange avec le milieu extérieur et la diminution des éléments nutritifs, engendrent une chute de température progressive et se rapproche de l'ambiante 25,2°C après 60 jours de compostage.

2.3.Evolution du pH

Le pH est un facteur important qui influence la plupart des réactions biochimiques catalysées par des enzymes, ce qui permet la biodisponibilité des nutriments et la solubilité des éléments minéraux pour les micro-organismes.

Le processus de compostage se caractérise par un pH initial de 7,5. L'évolution du pH en fonction du temps montre trois phases différentes (Fig.3). Le compostage passe par une phase acidogène de 20 jours, où le pH est aux alentours de 5,4.Ceci est dû à la formation des acides organiques lors de la dégradation de la matière organique par la flore microbienne. Vers le 40e jour, il y a un passage rapide par une phase de neutralité. Vers le 50e jour, il y a passage par une phase d'alcalinisation où le pH atteint 7,8. Cette phase est le résultat, d'une part, d'une production ammoniacale à partir de la dégradation des amines

protéiques lors du processus d'ammonification et d'autre part d'une libération des bases auparavant intégrées à la matière organique [35-37]. Cette stabilité est aussi la conséquence de la présence d'ions Ca^{2+} qui augmentent au cours du compostage suite à l'humification et qui jouent un rôle de tampon dans le milieu [38,39]. Le pH final, légèrement alcalin, de 8,1 fait du compost un produit sans risques pour le sol et pour les plantes. La valeur de pH obtenue dans cette expérimentation concorde avec les travaux de He et de Hellmann [40,41].

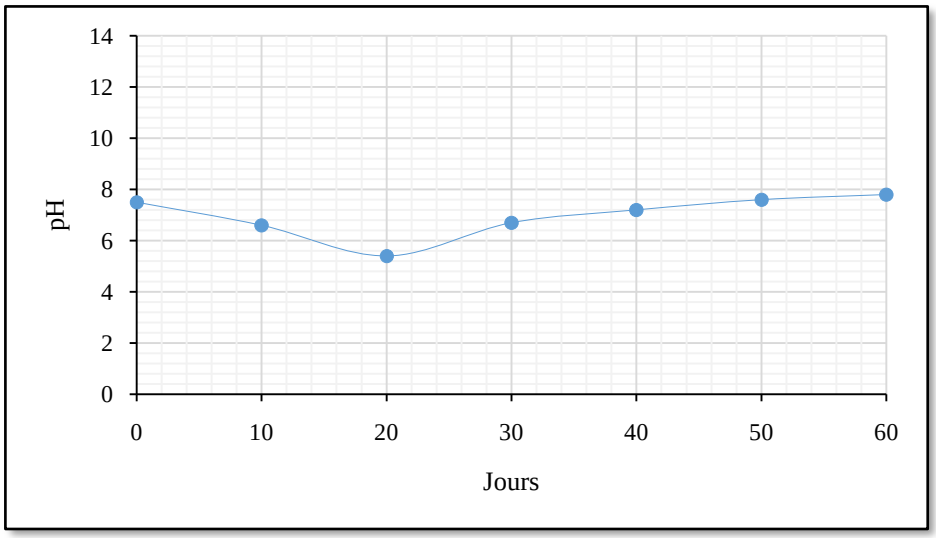

Figure 3 : Evolution du pH durant la période du compostage.

2.4.Evolution de l'humidité

Une bonne humidité est primordiale pour que l'activité des micro-organismes soit plus importante, ce qui accélère le processus ducompostage. Le taux d'humidité diminue significativement au cours du temps, environ 70% dans le compost jeune, il n'est plus que de 10% dans le compost mûr (fig. 4). On attribue cette perte d'eau à la lixiviation et à l'évaporation due à l'élévation de la température due à l'activité microbienne intense lors du compostage [42]

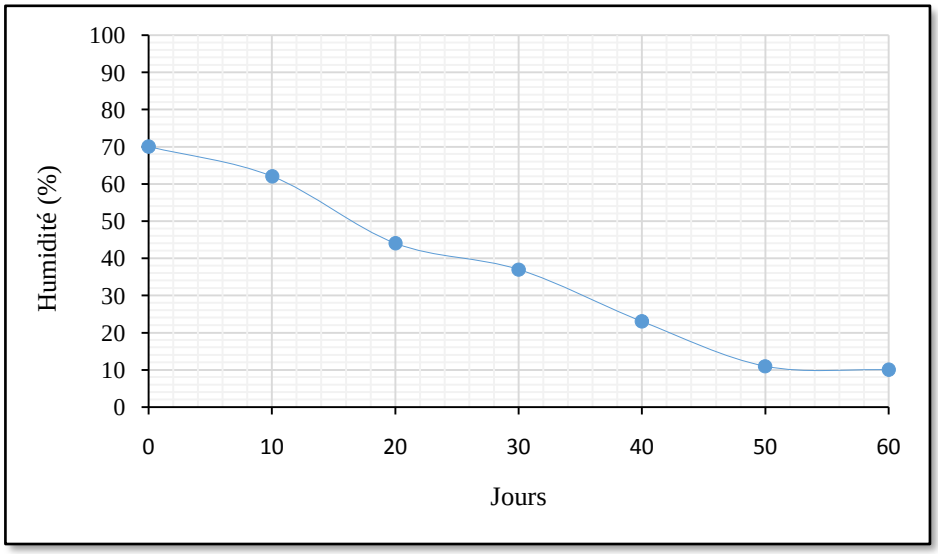

Figure 4 : Evolution de l'humidité durant la période du compostage.

2.5.Evolution de NH4+ et NO3-

Le contenu NH^+_4 dans la charge augmente d'abord pendant les 20 premiers jours du compostage pour atteindre une valeur de 1363 mg/kg puis diminue progressivement (Fig. 5), ce qui pourrait expliquer par la décomposition microbienne de la matière organique contenant de l'azote pour se convertir en ammoniac. La diminution de NH^+_4 est un indicateur d'un bon processus de la maturation. Zucconi et de Bertoldi[43,44]ont recommandé une teneur maximale deNH^+_4 de 400 mg/kg en compost mûr. Ainsi, la valeur de NH^+_4 dans le compost final obtenu répond donc à la demande des applications agricoles.

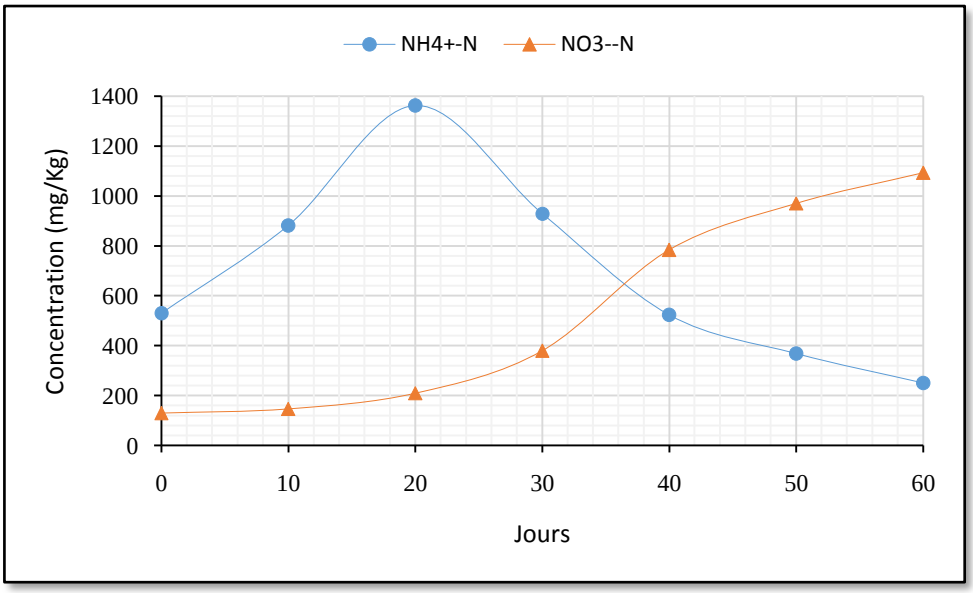

Figure 5 : Evolution de la teneur en NH_4^+ et NO_3^- durant la période du compostage.

La teneur en NO_3^- a gardé une tendance de croissance au cours du processus de compostage (fig. 5). Comme la température élevée (plus de 40 °C) a inhibé l'activité et la croissance des bactéries nitrifiantes dans la phase thermophile, il n'y a aucune augmentation significative en teneur de NO_3^- pendant la phase initiale du processus de compostage. Lorsque le processus de durcissement avait commencé, après le 20e jour, on a observé une augmentation rapide de la teneur en NO_3^-. Après cela, le processus de durcissement est terminé le 50e jour et la teneur en NO_3^- avait tendance à se stabiliser relativement pour atteindre 1093 mg/kg à la fin du compostage.

2.6.Evolution du C/N et de la matière organique MO

Le rapport C/N présente une déclinaison progressivement à cause de la minéralisation de la matière organique par la flore microbienne(Fig. 6). Le substrat initial a un C/N de 27. Dès que les composés carbonés facilement disponibles ont été épuisés, le taux de réduction C/N diminue. Cette diminution peut être expliquée par le fait que les micro-organismes consomment plus de carbone (composant principal des molécules organiques) que l'azote. Au début du compostage le rapport C/N était d'environ 27 et la fin du processus a été réduite à 11. Hirai [45]a proposé un rapport C/N est égal ou inférieur à 20 en tant que norme pour le compost mûr. Donc le compost obtenu peut être qualifiés comme un bon compost de qualité qui peut être appliqué dans les terres agricoles. La fraction organique a été minéralisée en composés stables par les activités microbiennes, ce qui explique sa diminution au cours du processus de compostage.Elle est passé

d'environ 92% à environ 48% après 60 jours de compostage.

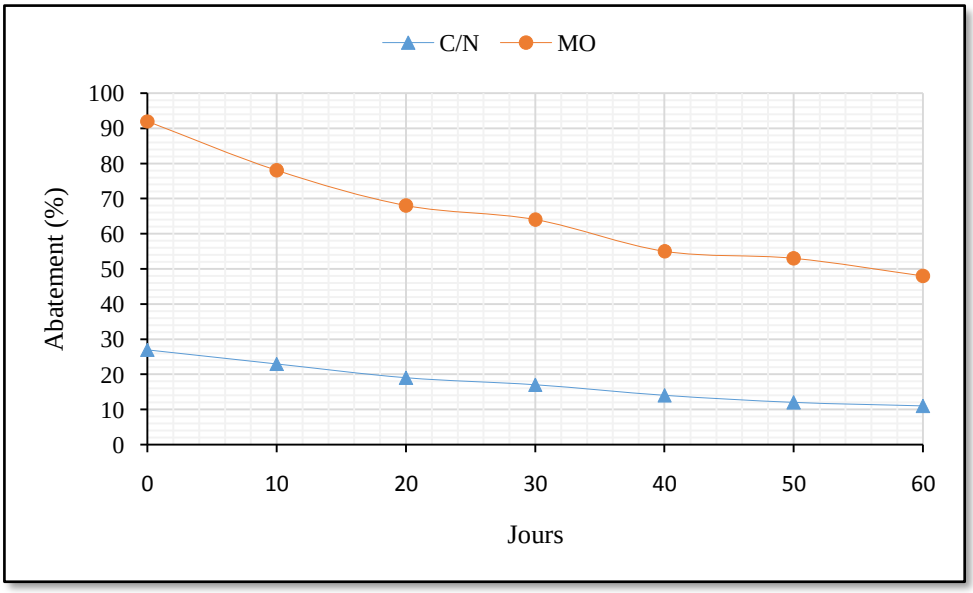

Figure 6 : Evolution du rapport C/N et de la teneur en matière organique durant la période du compostage.

2.7.Evolution de la CE

La CE reflète le degré de salinité du compost produit et indique ses possibles effets phytotoxiques/inhibiteurs sur la croissance des plantes utilisées comme engrais (par exemple faible taux de germination, flétrissement, etc…) [46]. Le compost avec une CE faible peut être utilisé directement alors que le compost de haute CE doit être bien mélangé avec de la terre ou d'autres matériaux à faible CE avant qu'il puisse être utilisé pour les cultures [47].

D'aprésla figure 7, la courbe de la teneur en CE représente une augmentation par rapport à la valeur initiale de 4,9 ms/cm à un maximum de 7,5 ms/cm au 20e jour, suivie d'une diminution progressive jusqu'à la fin du processus de compostage. L'augmentation initiale de la CE pourrait être causée par la libération de sels minéraux tels que les phosphates et les ions ammonium par la décomposition microbienne des substances organiques [48]. Pendant la progression du compostage, la volatilisation de l'ammoniac et de la précipitation des sels minéraux peuvent être les raisons possibles de la diminution de la CE jusqu'à la phase finale de compostage [49]. La CE du produit de compostage final ne dépasse pas la teneur limite de 3 ms/cm, ce qui indique que CE nepourrait pas nuire à la croissance des plantes [50].

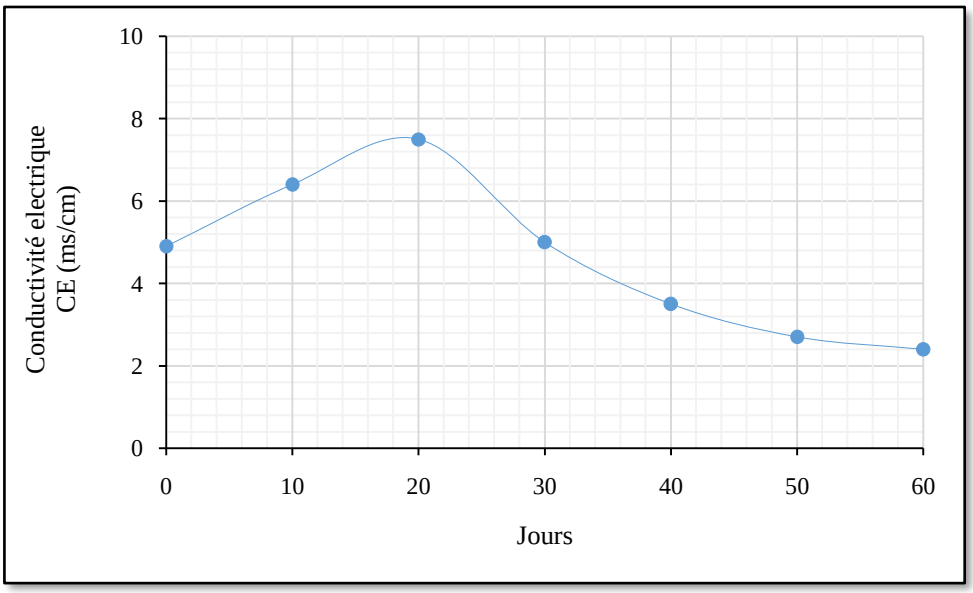

Figure 7 : Evolution de la conductivité électrique durant la période du compostage.

CONCLUSION

Le compostage des déchets ménagers se heurtent souvent à des problèmes concernant l'élimination de la fraction des indésirables (plastiques, déchets métalliques, etc.) et le contrôle du processus de fermentation des déchets putrescibles.L'évolution de la flore microbienne au cours du compostage en cuve des déchets ménagères conduit à des modifications importantes des paramètres physico-chimiques ce qui conduit en la transformation de ces déchets en un compost mûrdans un délais de 60 jours. En effet, Les indices opérationnels tels que la température et le pH ont été très utiles pour évaluer la performance de compostage et révèlent une activité microbienne vigoureuse. Le compost produit dans cette étude a été satisfaisant pour son application agricole en termes de rapport C/N et de la conductivité électrique comme un indice de sa teneur en sels. Cette étude doit être complétéeexpérimentalement par la valorisation agronomique du compost produit sur des cultures dans les champs.

Références bibliographiques

[1] SWEEP NET Le réseau régional d'échange d'informations et d'expertises dans le secteur des déchets solides dans les pays du Maghreb et du Machreq : Rapport sur la gestion des déchets solides au Maroc, 2014.

[2] Basalo,C.(1974). Les ordures ménagères en agriculture. T.S.M. L'Eau,69 :15-23.
(Cekmecelioglu et al., 2005).

[3] Golueke, C.G. (1977). The biological approach to solid Waste management. Compost Sci.,18 :, 4-9.

[4] Golueke, C.G. (1979). Composting: a review of rationale, principles and public health. Compost Sci.,17 :11-15.

[5] Djerrari M.F. (1993) : Élimination et valorisation des ordures ménagères par compostage, cas de l'U.T.O.M. de Rabat. Séminaire régional, l'environnement urbain, des approches municipales innovatrices, Marrakech-25-27 mai.

[6] El M'ssari A. (1993) : Elaboration d'une méthodologie de caractérisation des ordures ménagères et du compost de l'usine de Salé. Thèse 3ème cycle. Faculté des Sciences Moulay Ismail, Meknès.

[7] Soudi B. & Jemali B. (1995) : Problématique du compostage des déchets ménagers au Maroc : cas de Rabat-Salé, programme de la communauté européenne. Séminaire MED-URBS, Kénitra 26-27 juin.

[8] Cekmecelioglu, D., Demirci, A., Graves, R.E. et Davitt, N.H. (2005) : Applicability of Optimized in-vessel food composting for window system. Biosyst. Eng., 91, 479-486.

[9] Tiejen,C.(1975).The potential of composting in developing countries. Compost Sci.,16 :6-7.

[10] Rapilly F. (1968). Les techniques de mycologie en pathologie végétale. Annales des Epiphytes. INRA. 19 : 102 p.

[11] Dutruc-Rosset G. (2003). Techniques analytiques et de contrôle (Codex œnologique). Partie microbiologique. Office International de la Vigne et du Vin. 23 p.

[12] AFNOR (1999a) 694 Paris.

[13] Walkley A., Black I., Soil Sci, 63 (1934) 251–263.

[14] Lu, Y. (2000) : Analytical Methods on Soil Agrochemistry (in Chinese). China Agriculture Technology Press.

[15] Weis, F.S. (2002): Analytic Method of Water Quality on Water and Wastewater (4 the dn). China Environmental Science Press, Beijing.18 : 4-9.

[16] Barje F., Amir S., Winterton P., Pinelli E., Merlina G., Cegarra J., Revel JC., Hafidi M. (2008) : Phospholipid fatty acid analysis to monitor the co-composting process of olive oil mill wastes and organic household refuse. Journal of Hazardous Materials, 154:682–687.

[17] Jouraiphy A. (2007) : Compostage des boues activées déchets verts, analyse physicochimiques, microbiologiques, toxicologiques, bilan humique et valorisation agronomique, Thèse de doctorat, Université Caddi Ayyad, Faculté des sciences Semlalia, Marrakech.

[18] Amir S. (2005) : Contribution à la Valorisation de Boues de Stations d'Epuration par Compostage : Devenir des Micropolluants Métalliques et Organiques et Bilan Humique du Compost. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique, Toulouse, France.

[19] Amir S., Abouelwafa R., Medich A., Souabi S., Winterton P., Merlina G., Revel JC., PinelliE., Hafidi M. (2010) : Plfas of the microbial communities in composting mixtures of agroindustry sludge with different proportions of household waste. International Biodeterioration and Biodegradation, 64: 614–621.

[20] Rosenzweig et Statozky., 1980 : bacteria often possess a competitive advantage.

[21] Kilbertus G. (1985). Compostage des écorces. Rapport Université de Nancy I, 356p.

[22] Greenberg A.E., Shastid T.B., Ellgas W.M. (1986). Quality Controlling Monitoring. Biocycle 7: 36-38.

[23] Guene O. (2002). Integrated Traditional Composting within Domestic Solid Waste Management. Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management,Tunisia, 349-356.

[24] Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A. et Itavaara, M. (2000) : Biodegradation of lignin in a compost environment : A review. Biores Technol, 72: 169–183.

[25] Veeken, A.H.M., Adani, F., Nierop, K.G.J., de Jagar, P.A. et Hamelers, H.V.M. (2001) : Degradation of biomacromolecules during high-rate composting of whest straw-amended feces. J Environ Qual, 30: 1675–1684.

[26] Bolta S.V., Mihelic R., Lobnik F., Lestan D. (2003). Microbial Community Structure during Composting With and Without Mass Inocula. Compost Sci. Util. 11: 6-15.

[27] Mustin M. (1987) : Le compost, Gestion de la matière organique. Ed. François DUBUSC, Paris, 954p.

[28] Hassen A. et Belguith K. (2001) : Microbial characterization during composting of municipal solid waste. Bioresource Technology 80(3) :217-225.

[29] Ahn H.K., Sauer T.J., Richard T.L., Glanville T.D. (2009) : Determination of thermal properties of composting bulking materials. Bioresource Technology, 100 : 3974–3981.

[30] Ryckeboer J., Mergaert J., Vaes K., Klammer S., De Clercq D., Coosemans J., Insam H. et Swings J. (2003) : A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. Ann. Microbiol., 53 (4) : 349-410.

[1] Chang, Y. (1967) : The fungi of wheat straw compost. ii : Biochemical and physiological studies. Trans British Mycol Soc, 50 : 667–677.

[32] Chang, Y. et Hudson, HJ (1967) : The fungi of wheat straw compost. i : Ecological studies. Trans British Mycol Soc, 50 : 649–666.

[33] Strom, P.F. (1985) : Identification of thermophilic bacteria in solid waste composting. Appl Environ Microbiol, 50 : 906–913.

[34] Beffa, T., Blanc, M., Lyon, P.F., Vogt, G., Marchiani, M., Fischer, J.L. et Aragno, M. (1996) : Isolation of thermus strains from hot compost (60-80°C). Appl. Environ. Microbiol., 62 : 1723-1727.

[35] Kochtizky, O.W., Seaman, W.K. et Wiley, J. S. (1969) : Municipal Compostage research at Johnson City, Tennessee. Compost Sci., 9 : 5-16.

[36] Gray, K.R., Sherman, K. et Diddlestone, A.J. (1971) : Un examen de compostage. Partie 1. Processus Biochem., 31 :32-36.

[37] Peters, S., Schwieger, S.K.F. et Tebbe, C.C. (2000) : Succession of microbial communities during hot composting as detected by pcr-single-stran-conformation polymorphism-based genetic profiles of small-subunit rrna genes. Appl Environ Microbiol, 66 : 930–936.

[38] Juste C. (1980) Avantages et inconvénients de l'utilisations des composts d'ordures ménagères comme amendement organique des sols ou supports. INRA Bordereaux. Journées internationales sur le compost. Madrid

[39] Morel, J.L., Guckert, A., Nicolardot, B., Benistant, D., Catroux,G. and Germon, .J.C. (1986). Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage. Agronomie, 6 : 693-701.

[40] He X.T., Logan T.J.,Traina S.J. (1992). Physical and Chemical Characteristics of Selected U.S Municipal Solid Waste Composts. J. Environ. Qual. 24 : 543-552.

[41] Hellmann B., Zelles L., Palojarvi A., Bai Q. (1997). Emission of Climate-Relevant Trace Gases and Succession of Microbial Communities during Open-Windrow Composting.Appl. Environ. Microbiol. 63 :1011-1018.

[42] Jemali B., Soudi B., Lhadi E. K. (1996) : Contrôle des paramètres du compostage et appréciation de la qualité du compost des déchets ménagers de la Wilaya de Rabat-Salé. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires,16 (2).

[43] Zucconi, F. et de Bertoldi, M. (1987) : Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste.

[44] De Bertoldi, M., Vallini, G. and Pera, A. (1983). The biology of composting : a review Waste Management &Research, 1 :157-176.

[45] Hirai, M., Chanyasak, V. et Kubota, H. (1983) : A standard measurement for compostmaturity. Biocycl, 24 : 54–56.

[46] Lin, C. (2008) : A negative-pressure aeration system for composting food wastes. Biores Technol, 99 : 7651–7656.

[47] Chen, J. (1999). Characteristic and applications of domestic animal wastes. In Animal Waste Products Quality and Treatment Alternatives Manual, Soil Surveyand Testing Center (pp. 15–22). National Chung Hsing University, Taiwan.

[48] Gómez-brandon, M., Lazcano, C. et Domínguez, J. (2008) : The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. Chemosphere, 70 : 436–444.

[49] Wong, J.W.C., Li, S.W.Y. et Wong, M. H. (1995) : Coal fly ash as a composting material for sewage sludge : effects on microbial activities. Environ Technol, 16: 527–537.

[50] Soumaré, M., Demeyer, A. et Tack, F. (2002) : Chemical characteristics of malian and belgian solid waste composts. Biores Technol, 81:97–101.