

COMPOSTAGE EN CUVE DES DECHETS MENAGERS ET VALORISATION AGRICOLE DU COMPOST OBTENU

CHENNAOUI Mohammed^{*1,3}, SALAMA Youssef², MAKAN Abdelhadi²,
MOUNTADAR Mohammed³

⁽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

E-mail: mbchen66@yahoo.fr

Résumé.- Le présent travail s'inscrit dans le contexte de la gestion et la valorisation des déchets solides urbains. L'évolution des paramètres physicochimiques et microbiologiques au cours du compostage à l'échelle pilote des déchets ménagers a été étudiée. La maturité du process et la valeur agronomique du produit fini ont été examinées. Les résultats obtenus ont montré que la fraction organique des déchets solides pourrait être composté avec succès dans 60 jours et révélant une activité microbienne vigoureuse. Le compost final a été satisfaisant pour son application agricole. Les essais de phytotoxicité menés sur des cultures de blé et de la tomate, montrent que l'incorporation de 25% du compost au support de culture permet un taux de germination allant jusqu'à 85% contre 70% pour le témoin pour la variété de blé. Dans le cas de la tomate, il est enregistré un taux de germination de l'ordre de 67% contre 58% pour le témoin.

Mots clés: Déchets, compost, valorisation, test de maturité.

COMPOST AGRICULTURAL VALORIZATION OBTAINED BY COMPOSTING HOUSEHOLD WASTES IN A BIOREACTOR

Abstract.- This work is in the context of the management and recycling of solid urban waste. The evolution of the physicochemical and microbiological parameters during composting pilot scale household waste was studied. The maturity of the processes and the agronomic value of the finished product were examined. The results showed that the organic fraction of solid waste could be composted successfully in 60 days and revealing a vigorous microbial activity. The final compost has been satisfactory for its agricultural application. Phytotoxicity tests conducted on wheat and tomato crops, show that the incorporation of 25% culture support the compost allows a germination rate of up to 85% against 70% for the control for the variety of corn. In the case of tomatoes, we recorded a germination rate of about 67% against 58% for the control.

Key words: Waste, compost, recycling, maturity test.

Introduction

Le développement des activités humaines et industrielles concourt certainement à l'augmentation de la production des déchets qui ont des impacts néfastes sur la santé humaine et sur les ressources en eau. La gestion de ces déchets et leur élimination devient une obligation. Par ailleurs, le recyclage des déchets ménagers, après compostage, est actuellement considéré comme une des composantes du développement durable [1-3].

Au Maroc, la génération totale de déchets solides est de 6,852 millions de tonnes métriques [4]. La génération de déchets urbains est actuellement environ 0,67 kilos par jour par habitant, considérant que la génération de déchets ruraux est d'environ 0,3 kilos par jour. La collecte des déchets solides urbains est régulière et presque quotidienne, elle est estimée à 5,5 millions de tonnes par an. En 2013, la collecte des déchets solides urbains couvre à peu près les 74% des déchets générés dans des superficies urbaines. Or, seulement moins de 1% des déchets générés au total sont compostés et pourtant les ordures ménagères se caractérisent par la prédominance des déchets fermentescibles (déchets végétaux et de cuisine) et par leur humidité élevée [5-7].

L'introduction du compost mûr dans le sol est une solution pour le maintien de la matière organique dans le sol [8]. Le compost est, en effet, un produit riche en matières organiques et en composés minéraux, capable d'améliorer la fertilité du sol.

L'objectif de ce travail consiste à étudier, sous conditions naturelles, les propriétés chimiques, physiques et microbiologiques des déchets ménagères au cours du compostage en cuve et à évaluer la valeur agronomique du produit fini.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Origine et caractérisation des déchets

Sur la base de la consommation marocaine, les déchets organiques ou des déchets verts à composter seront constitués 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 vertical d'un volume d'environ 200 litres. L'épaisseur du métal est de 1 mm. Il est conçu avec une ouverture dans la face supérieure pour l'introduction des déchets. Il est munit d'une soupape pour injecter et une pour retirer l'air et un robinet pour le lexiviat. L'étanchéité est assurée par un joint en caoutchouc.

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 aérobique. Le processus de compostage a pris environ 60 jours jusqu'à la stabilisation. Enfin, les valeurs des indicateurs nécessaires du processus ont été mesurées.

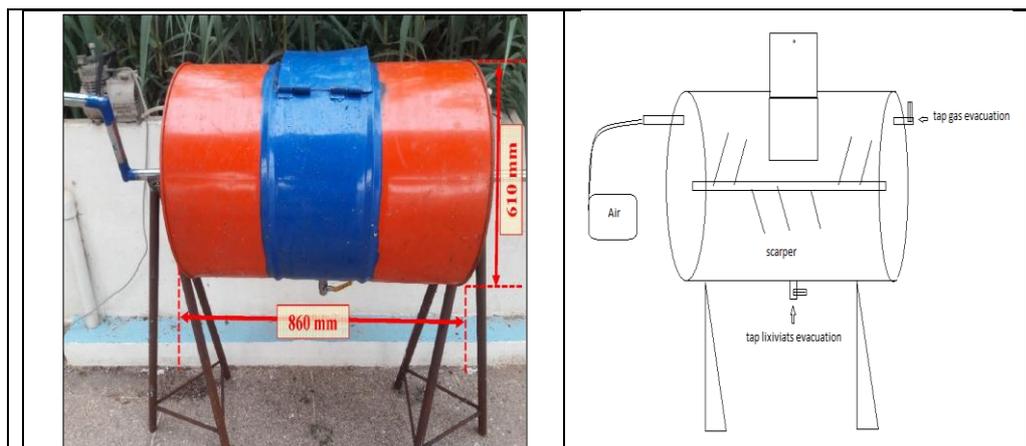


Figure 1.- Bioréacteur à l'échelle du laboratoire

1.4.- Préparation des échantillons pour les analyses

Les échantillons sont prélevés à l'occasion du retournement. Le prélèvement de 100 g de matière dans des sacs stériles, est réalisé 3 fois à différents niveaux du tas de manière à obtenir un échantillon aussi représentatif que possible.

1.5.- Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques

1.5.1.- Température

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

1.5.2.- Humidité

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

1.5.3.- 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 heures.

1.5.4.- Carbone organique total et azote total Kjeldahl

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

1.5.5.- pH et conductivité

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

Instruments, Agadir, Maroc).

1.5.6.- Ammonium et nitrate

L'ammonium NH_4^+ d'azote a été mesuré par spectrophotométrie d'acide salicylique et de l'hypochlorite de sodium [9]. Nitrate NO_3^- a été déterminée en utilisant la chromatographie ionique [10].

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

1.6.- Méthodes d'analyses des paramètres microbiologiques

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 le but de libérer 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.

1.6.1.- 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.

1.6.2.- Microflore fongique

L'analyse a été conduite selon la technique des suspensions-dilutions telle qu'elle est décrite par RAPILLY (1968) [11]. 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.

1.6.3.- 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 [12].

$$N = \frac{\Sigma \text{colonies}}{V \times (n_1 + 0,1 n_2) \times d_1}$$

N: Nombre d'UFC par gramme de compost;

Σ colonies: Somme des colonies des boîtes interprétables;

V: Volume de solution déposée (1ml);

n_1 : Nombre de boîtes considérées à la première dilution retenue;

n_2 : Nombre de boîtes considérées à la seconde dilution retenue;

d_1 : Facteur de la première dilution retenue.

1.7.- Test de phytotoxicité

Il est basé sur le pouvoir germinatif des graines de deux cultures (blé et tomate) en présence du compost. Ces tests consistent à semer un même nombre de graines dans des pots contenant du sable seul, compost seul ou sable additionné de 25 à 75% du compost et à raison de 3 pots par catégorie. Après 10 jours d'incubation à 25°C, la maturité du compost a été évaluée suivant le pourcentage de germination par rapport au témoin.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Evolution de la Température

La surveillance de la température permet une mesure indirecte de l'intensité de la dégradation aérobie. À des températures inférieures à 20°C, les micro-organismes psychrotrophes seulement sont actifs. Entre 20 et 40°C, ce sont les mésophiles qui se développent, mais les micro-organismes thermophiles sont actifs seulement à des températures comprises entre 40 et 70°C [13].

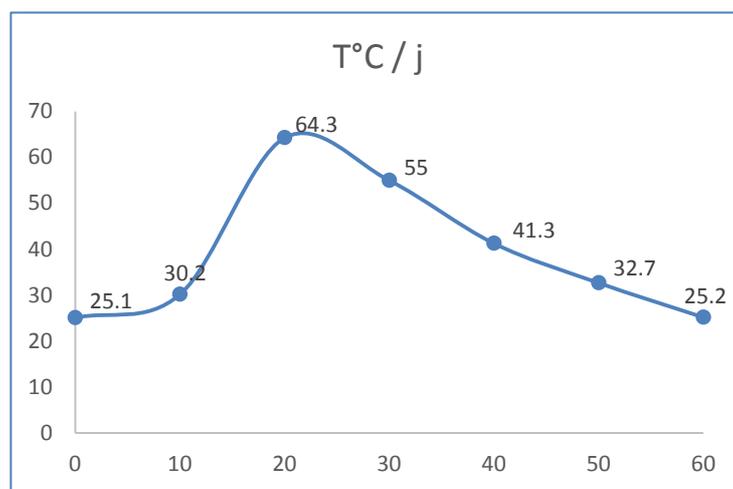


Figure 2.- Evolution de la température durant la période du compostage

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 10^e jour (fig. 2). Cette élévation de la température est la conséquence directe de l'oxydation de la matière organique des substrats [14,15]. Cette oxydation permet ainsi la libération de l'énergie contenue dans les liaisons chimiques des molécules constitutives [16].

Avec le compostage, l'intense activité des micro-organismes génère une élévation de la température à 64,3°C qui est atteinte au 20^e jour et dure environ 6 jours ce qui permet l'installation des microorganismes thermophiles et thermo-tolérants [17-20].

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.

2.2.- 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. Vers le 40^e jour, il y a un passage rapide par une phase de neutralité. Au 50^e 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 [21-23]. 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 [24, 25]. Le pH final légèrement alcalin 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 al.* (1992) et de HELLMANN *et al.* (1997) [26, 27].

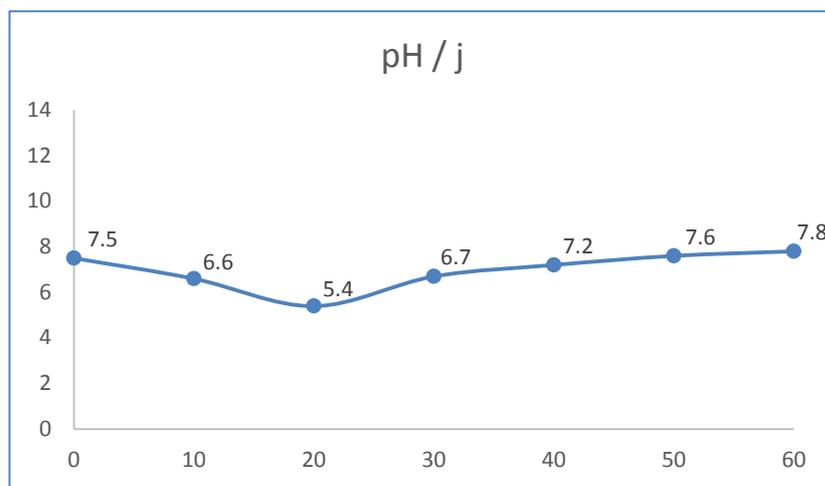


Figure 3.- Evolution du pH durant la période du compostage

2.3.- Evolution de l'humidité

Une bonne humidité est primordiale pour que l'activité des micro-organismes soit plus importante, ce qui accélère le processus de compostage. 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). Il est attribué 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 [28].

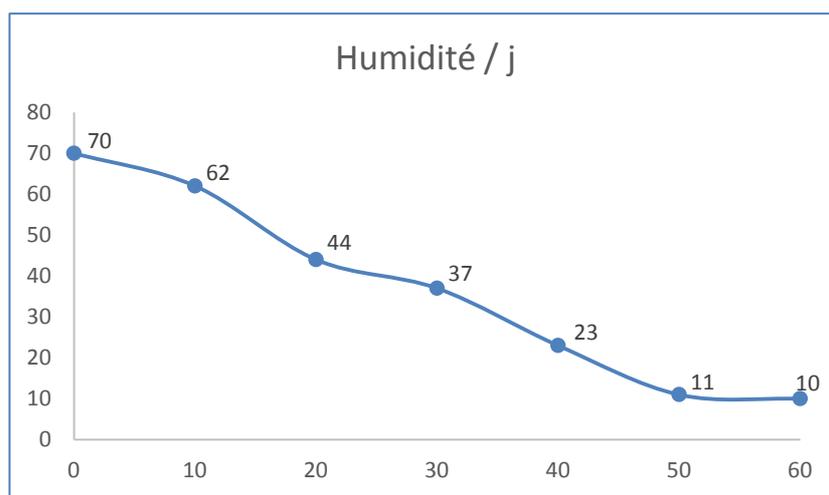


Figure 4.- Evolution de l'humidité durant la période du compostage

2.4.- Evolution de NH_4^+ et NO_3^-

Le contenu NH_4^+ dans la charge d'abord augmente pendant les 20 premiers jours du compostage pour atteindre une valeur de 1363 mg/kg puis diminue progressivement (fig. 5), ce qui pourrait être expliqué par la décomposition microbienne de la MO 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 BERTOLDI (1987) et DE BERTOLDI *et al.* (1983) ont recommandé une teneur maximale de NH_4^+ de 400 mg/kg en compost mûr [29,30]. Ainsi, la valeur de NH_4^+ dans le compost final obtenu répond donc à la demande des applications agricoles.

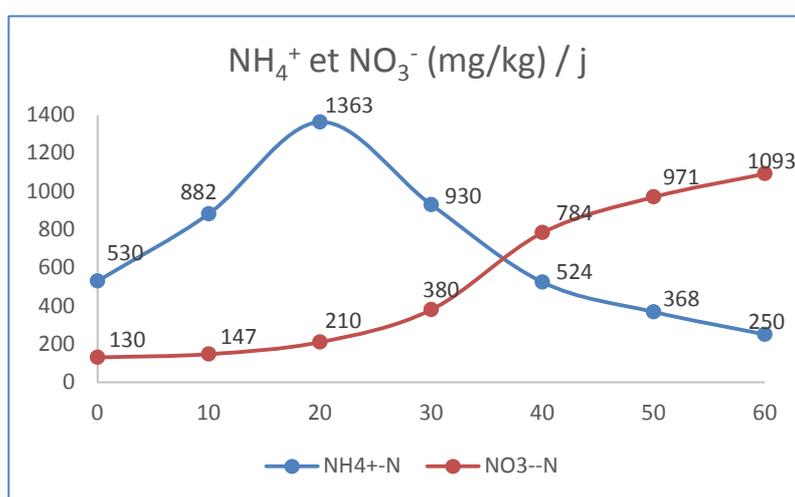


Figure 5.- Evolution de la teneur en NH_4^+ et NO_3^- durant la période du compostage

La teneur en NO_3^- a gardé une tendance de croissance au cours du processus de compostage (fig. 5). 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 de la teneur de NO_3^- pendant la phase initiale du processus de compostage. Lorsque le processus de durcissement avait commencé après le 20^e jour, il est observé une augmentation rapide de la teneur en NO_3^- . Le processus de durcissement est

terminé le 50^e jour et la teneur en NO_3^- avait tendance à se stabiliser relativement pour atteindre 1093 mg/kg à la fin du compostage.

2.5.- Evolution du rapport C/N et de la matière organique (MO)

Selon la figure 6, le rapport C/N présente une déclinaison progressivement à cause de la minéralisation de la matière organique. 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 *et al.* (1983) ont proposé un rapport C/N égal ou inférieur à 20 en tant que norme pour le compost mûr [31]. Donc le compost obtenu peut être qualifié comme étant un 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 passée d'environ 92% à environ 48% après 60 jours de compostage.

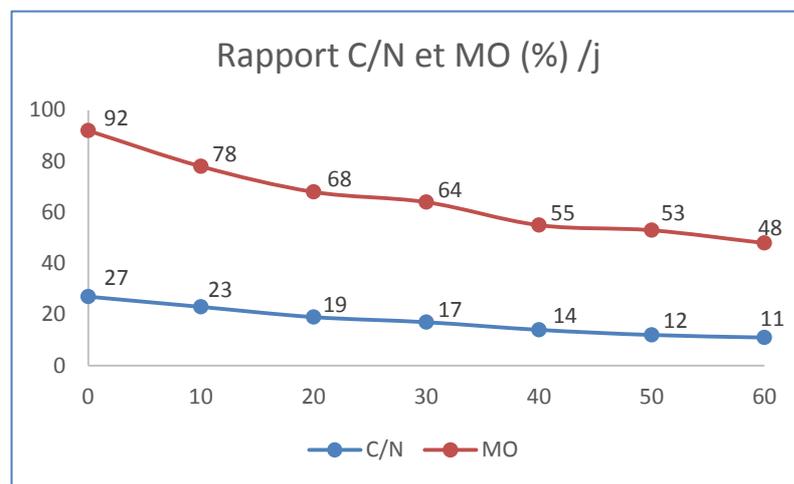


Figure 6.- Evolution du rapport C/N et de la teneur en matière organique durant la période du compostage

2.6.- 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...) [32]. 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 [33]. Conformément à la 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 20^e 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 des substances organiques [34]. 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 [35]. La CE du produit de compostage final ne

dépasse pas la teneur limite de 3 ms/cm, ce qui indique que le compost serait bénéfique à la croissance des plantes [36].

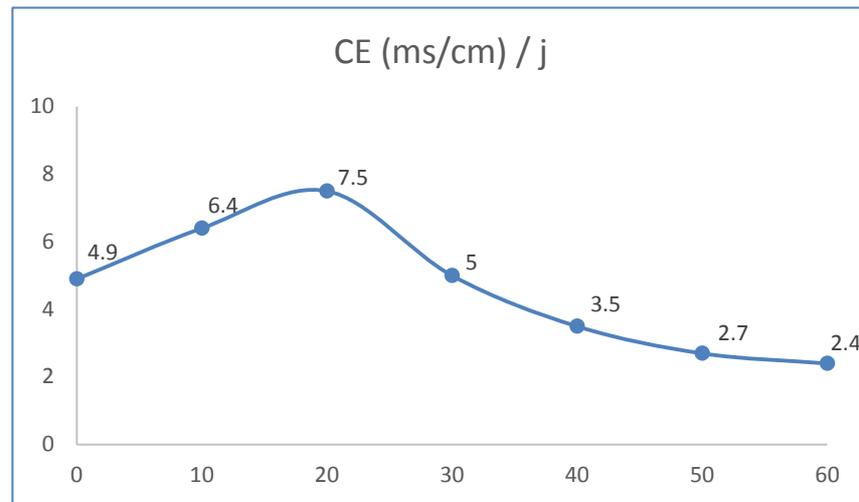


Figure 7.- Evolution de la conductivité électrique durant la période du compostage

2.7.- 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 [37-40]. Leur évolution est en fonction des stades de compostage avec un profil défini, en fonction des espèces, de la nature et de la structure des substrats, est aussi liée principalement aux variations des paramètres physico-chimiques [41].

Au cours du processus de compostage réalisé, la flore microbienne varie considérablement (fig. 8). Par ailleurs, la densité bactérienne est toujours plus élevée que la densité fongique quel que soit l'âge du compost.

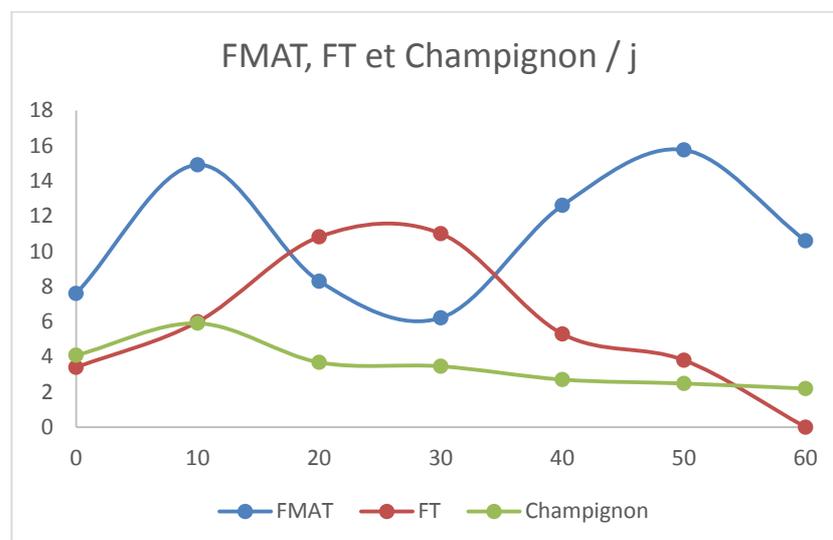


Figure 8.- Evolution de la flore microbienne durant la période du compostage

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 20^e jour jusqu'au 25^e jour ceci est en accord avec les travaux de GREENBERG *et al.* (1986) et GUENE (2002) qui ont déduit que la baisse du nombre de champignons est due à l'installation de conditions peu favorables à leur prolifération [42-44]. Vers le 20^e 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 le nombre des thermophiles augmente sensiblement et atteint alors 5.10^4 ufc/g vers le 25^e jour.

Dans ce contexte, BEFFA *et al.* (1996) trouvent que le genre *Thermus* est parmi le groupe de bactéries thermophiles qui domine dans la dégradation de la matière organique [19]. Au cours de la phase de refroidissement après le 40^e 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 $2 \cdot 10^2$ ufc/g. A la phase de maturation, il est noté 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 mure 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 [45-47].

2.8.- Test de maturité de compost

Les tests de maturité bactériologiques, mycologiques, du rapport C/N ne permettent pas toujours de se rendre compte de la maturité d'un compost. Ceci nous a conduits à entreprendre des tests biologiques, basés sur des essais de germination sur le compost pur ou mélangé au sol. Les résultats des analyses sont consignés dans le tableau I.

Tableau I.- Test de germination de deux variétés de blés et de tomate sur compost pur ou mélangé au sol

	Sable (témoin)	Sable+1/3 de compost	Sable + 2/3 de compost	Compost (100%)
Blé	70	85	57	23
Tomate	58	67	0	0

Au vu des résultats, il apparaît que l'incorporation d'une dose de 25% du compost au sol permet un taux de germination de 85% pour le blé et 67% pour la tomate. En revanche, les cultures sur un substrat contenant 75% à 100% du compost sont plutôt réprimées. De HANN (1981) et ABAD BERJON (1997) signalent que l'effet dépressif du compost n'est pas lié uniquement aux caractéristiques des composts, mais il est aussi fonction des doses appliquées [48, 49].

Conclusion

L'évolution des déchets ménagers en cours du compostage en cuve conduit à des modifications importantes de leur composition. Les résultats obtenus montrent que ces

déchets peuvent être compostés avec succès en 60 jours. Les indices opérationnels tels que la température, pH et les gaz dégagés ont été très utiles pour évaluer la performance de compostage et révèlent une activité microbienne vigoureuse. Cette évolution conduit à une stabilisation du produit fini que l'on peut valoriser en agriculture. Par ailleurs, les résultats obtenus à travers des essais agronomiques ont montré que le compost des déchets ménagers peut être considéré comme un amendement organique qui permet d'améliorer les propriétés physiques et chimiques des sols et par conséquent les rendements de cultures.

Références bibliographiques

- [1].- Basalo C., 1974.- Les ordures ménagères en agriculture. T. S. M., l'Eau, 69 : 15-23.
- [2].- Golueke C. G., 1977.- The biological approach to solid waste management. Compost Sci., 18: 4-9.
- [3].- Golueke C. G., 1979.- Composting : a review of rationale, principles and public health. Compost Sci., 17: 11-15.
- [4].- SWEEP NET, 2014.- 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, 57 p.
- [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 les 25-27 mai, Pp 25-27.
- [6].- El M'Ssari A., 1993.- Elaboration d'une méthodologie de caractérisation des ordures ménagères et du compost de l'usine de Salé. Thèse 3^{ème} cycle, Faculté des Sciences Moulay Ismail, Meknès, 200 p.
- [7].- Souidi B. et Jemali B., 1995.- Problématique du compostage des déchets ménagers au Maroc : cas de Rabat-Salé. Programme de la communauté européenne. Séminaire MED-URBS, Kénitra, les 26-27 juin, Pp 26-27.
- [8].- Tiejien C., 1975.- The potential of composting in developing countries. Compost Sci., 16 : 6-7.
- [9].- Lu Y., 2000.- Analytical Methods on Soil Agrochemistry (in Chinese). China Agriculture Technology Press, Pp 305-336.
- [10].- Wei F. S., 2002.- Analytic Method of Water Quality on Water and Wastewater (4th edn). China Environmental Science Press, Beijing, 18: 4-9.
- [11].- Rapilly F., 1968.- Les techniques de mycologie en pathologie végétale. Annales des Epiphytes, INRA, 19: 102 p.
- [12].- Dutruc-Rosset G., 2003. Techniques analytiques et de contrôle (Codex œnologique). Partie microbiologique. Office International de la Vigne et du Vin, Paris, 23 p.

- [13].- Mustin M., 1987.- Le compost, Gestion de la matière organique. Ed. François DUBUSC, Paris, 954 p.
- [14].- Hassen A. et Belguith K., 2001.- Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology* 80(3): 217-225.
- [15].- 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.
- [16].- 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.
- [17].- Chang Y., 1967.- The fungi of wheat straw compost. *Biochemical and physiological studies. Trans British Mycol Soc*, 50: 667-677.
- [18].- Chang Y., et Hudson, H. J., 1967.- The fungi of wheat straw compost. *Ecological studies. Trans British Mycol. Soc.*, 50: 649-666.
- [19].- Strom P. F., 1985.- Identification of thermophilic bacteria in solid waste composting. *Appl. Environ. Microbiol.*, 50: 906-913.
- [20].- 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.
- [21].- Kochtizky O. W., Seaman W. K. et Wiley J. S., 1969.- Municipal Compostage research at Johnson City, Tennessee. *Compost Sci.*, 9 : 5-16.
- [22].- Gray K. R., Sherman K. et Diddlestone A. J., 1971.- Un examen de compostage. *Partie 1. Processus Biochem.*, 31: 32-36.
- [23].- 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 rna genes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66: 930-936.
- [24].- Juste C., 1980.- Avantages et inconvénients de l'utilisation des composts d'ordures ménagères comme amendement organique des sols ou supports. *INRA Bordereaux, Journées internationales sur le compost, Madrid.*
- [25].- 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.
- [26].- 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.

- [27].- 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.
- [28].- 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):43-50.
- [29].- Zucchini F. et de Bertoldi M. , 1987.- Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. *Quality and Use, Elsevier Applied Science*, Pp. 30-50.
- [30].- De Bertoldi M., Vallini G. and Pera A., 1983.- The biology of composting: a review *Waste Management & Research*, 1:157-176.
- [31].- Hirai M., Chanyasak V. et Kubota H. , 1983.- A standard measurement for compost maturity. *Biocycl.*, 24 : 54-56.
- [32].- Lin C., 2008.- A negative-pressure aeration system for composting food wastes. *Biores. Technol.*, 99: 7651–7656.
- [33].- Chen, J., 1999.- Characteristic and applications of domestic animal wastes. In *Animal Waste Products Quality and Treatment Alternatives Manual*, Soil Survey and Testing Center. National Chung Hsing University, Taiwan, Pp. 15-22.
- [34].- 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.
- [35].- 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.
- [36].- Soumaré M., Demeyer A. et Tack F., 2002.- Chemical characteristics of malian and belgian solid waste composts. *Biores. Technol.*, 81: 97-101.
- [37].- Barje F., Amir S., Winterton P., Pinelli E., Merlina G., Cegarra J., Revel J. C., 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.
- [38].- 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, 148 p.
- [39].- Amir S., 2005.- Contribution à la Valorisation de Boues de Stations d’Epuración par Compostage : Devenir des Micropolluants Métalliques et Organiques et Bilan Humique du Compost. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique, Toulouse, France, 312 p.

- [40].- Amir S., Abouelwafa R., Medich A., Souabi S., Winterton P., Merlina G., Revel J. C., Pinelli E., Hafidi M., 2010.- Pfls of the microbial communities in composting mixtures of agroindustry sludge with different proportions of household waste. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 64: 614-621.
- [41].- Rosenzweig et Statozky, 1980.- Bacteria often possess a competitive advantage. *Appl. Environ. Microbiol.*, 39: 354-360.
- [42].- Kilbertus G. , 1985.- Compostage des écorces. Rapport Université de Nancy I, 356p.
- [43].- Greenberg A. E., Shastid T. B., Ellgas W. M., 1986.- Quality Controlling Monitoring. *Biocycle*, 7 : 36-38.
- [44].- 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.
- [45].- Tuomela M., Vikman M., Hatakka A. et Itavaara M., 2000.- Biodegradation of lignin in a compost environment : A review. *Biores. Technol.*, 72: 169-183.
- [46].- 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 wheat straw-amended feces. *J Environ Qual*, 30: 1675-1684.
- [47].- 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.
- [48].- De Hann S., 1981.- Results of municipal waste compost research over more than fifty years at the Institute for Soil Fertility at Haren/ Gorninge, the Netherlands. *Neth .J. agric. Sci.*, 29: 49-61.
- [49].- Abad Berjon M. M. D., 1997.- Climent Morato, P. Aragon Revuelta. and A. Camarero Simon . The influence of solid Urban Waste compost and nitrogen - mineral fertilizer on grow the and productivity in potatoes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 28:1653-1661.