

Contrôle des paramètres du compostage et appréciation de la qualité du compost des déchets ménagers de la Wilaya de Rabat-Salé

Boumehti JEMALI ¹, Brahim SOUDI ¹ ♦ & El Kébir LHADI ²

(Reçu le 28/11/1995 ; Accepté le 14/03/1996)

مراقبة طرق التسميد وتقدير جودة سماد النفايات المنزلية بولاية الرباط - سلا

يهدف هذا البحث إلى : (أ) تقييم عملية إزالة المواد الغير القابلة للتحويل إلى ذبال بوحدة معالجة النفايات بمدينة الرباط، (ب) متابعة و بحث مدى تأثير قلب الأكوام عدة مرات على عملية التحلل الهوائي للنفايات المعالجة مسبقا، و (ت) تقييم جودة الذبال المنتج كمادة عضوية مسمدة من خلال مميزاته الفيزيائية و الكيميائية. و تبين على أن عملية إزالة المواد الغريبة متوسطة، و أن جزءا هاما منها يمر عبر وحدة المعالجة مما يعكس سلبا على جودة الذبال المنتج. و قد لوحظ أيضا أن قلب الأكوام عدة مرات، خاصة خلال الخمسة عشرة يوما الأولى له أثر فعال و إيجابي على ارتفاع الحرارة الباطنية للأكوام و على عملية التحلل البيولوجي للنفايات بصفة عامة. هذا، و قد تبين كذلك أن الرطوبة المثالية تتراوح ما بين 40% و 57%، و الوقت الضروري الأدنى للتحلل الهوائي للنفايات لا يقل عن شهر. أما فيما يخص الذبال المنتج، فإنه يعتبر ذا قيمة مسمدة عضوية و معدنية حقيقية، إلا أن احتوائه لنسب هامة من المواد الغير القابلة للتفسيخ و بعض المعادن الثقيلة الملوثة Zn, Pb, Cu إضافة إلى حجم النفايات الذي يفوق 40 ملم يحد من جودته و مجال استغلاله في الميدان الفلاحي.

الكلمات المفتاحية : نفايات منزلية - مواد قابلة للتفسيخ - مواد غير قابلة للتفسيخ - تحويل إلى ذبال - قلب الأكوام - ذبال - معادن ثقيلة.

Contrôle des paramètres du compostage et appréciation de la qualité du compost des déchets ménagers de la Wilaya de Rabat-Salé

Les unités de compostage des déchets ménagers se heurtent souvent à des problèmes concernant l'élimination des indésirables et le contrôle du processus de fermentation des déchets putrescibles. Dans cette optique, la présente étude a porté sur (i) l'évaluation de l'efficacité d'élimination des indésirables à l'UTOM (Unité de Traitement des Ordures Ménagères) de la wilaya de Rabat-Salé, (ii) l'étude de l'effet de la variable fréquence de retournement des tas sur la processus de décomposition des ordures ménagères ayant subi un broyage et un criblage grossier comme prétraitements préabables, et (iii) l'évaluation de la qualité du compost produit concernant sa composition physique et chimique. L'efficacité d'élimination des indésirables à l'UTOM s'est avérée moyenne, se répercutant ainsi sur la qualité du compost. Cette expérimentation a montré une relation étroite entre le nombre de retournement et la température interne des tas, particulièrement durant les deux premières semaines. L'intervalle optimale d'humidité pour assurer une décomposition aérobique chaude est situé entre 40 à 57%, et la durée nécessaire au processus est d'au moins un mois. Le compost produit se caractérise par une charge importante d'indésirables et de micro-polluants représentés principalement par les éléments traces Pb, Cu et Zn.

Mots clés : Ordures ménagères - Matières fermentescibles - Matières indésirables - Compostage - Retournement des tas - Compost - Métaux lourds

Monitoring of the municipal solid waste composting and assesment the compost quality in Wilaya Rabat - Salé

The Municipal Solid Waste Composting Units (MSWCU) knows always problems concerning undesirables materials elimination and the controlling of the aerobic biodegradation process of the putrescibles matters. In this optical, the present study is carried with (i) the evaluation of MSWCU efficiency of Rabat-Salé Wilaya city to eliminate the undesirables (plastics, metals, glass,...), (ii) the examination of the effect of frequency of pile turning on the aerobic biodegradation process of the pretreated MSW, and (iii) the evaluation of physical and chemical compost quality. The study showed that the MSWCU did not provide sufficient finished compost quality. The experiment demonstrate that, especially, during the first two weeks, the more frequently a pile is turned, the faster is dries and the internal temperature rose much more rapidly. The study showed that turning accelerate the aerobic biodegradation process of the putrescibles matters. The study indicate that the most appropriate moisture for composting is between 40 and 57 % and the process duration require more than one month. The undesirables materials proportion and heavy metals Pb, Cu, Zn contents are too high in compost product, so an alternative method must be considered to reduce this pollution.

Keys Words : Municipal Solid Waste - Putrescibles matters - Undesirables materials - Composting - Pile turning - Compost - Heavy metals

¹ Dep.Sciences du Sol, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202- Instituts, Rabat (Maroc)

² Laboratoire de l'Eau et de l'Environnement, Faculté des Sciences, B.P.20 El Jadida (Maroc)

♦ Auteur correspondant

INTRODUCTION

Comme c'est le cas dans les pays en développement, au Maroc les ordures ménagères se caractérisent par la prédominance des déchets fermentescibles (déchets végétaux et de cuisine) et par leur humidité élevée (Djerrari, 1993 ; El M'ssari, 1993 ; Soudi & Jemali, 1995). De ce fait, le compostage des ordures ménagères locales constitue la technique la plus prometteuse par comparaison aux autres voies d'élimination comme l'incinération.

Un des éléments fondamentaux du compostage des ordures ménagères est l'élimination de la fraction des indésirables (plastiques, déchets métalliques, etc.) et le maintien des températures élevées nécessaires pour (i) la destruction des agents pathogènes, (ii) la stabilisation et l'humification de la matière organique fraîche, et (iii) la réduction de la masse et du volume des ordures (Gottas, 1959 ; Jeris & Regan, 1973 ; Haug, 1980 ; Mustin, 1987 ; Finstein, 1992).

Le compost, produit du compostage des ordures ménagères se considère en premier lieu comme un produit d'amendement organique permettant la protection des entités structurales du sol (Mayset *al.*, 1973 ; Juste & Solda, 1979 ; Juste, 1980 ; Herando *et al.*, 1989 ; Shiralipour *et al.*, 1992 ; McConnell *et al.*, 1993) ou comme support de cultures hors-sol. Ce produit représente également une source de macro-nutriments (particulièrement, P, K, Ca, Mg, Na) et tous les micronutriments (Hortenstine & Rothwell, 1973 ; Shiralipour *et al.*, 1993).

Il est aussi une source non négligeable d'azote (Dugan & Wiles, 1976 ; Sommers & Giordano, 1984 ; Soudi *et al.*, 1992).

Toutefois l'obstacle majeur qui limite souvent sa valorisation agricole est sa charge importante en déchets indésirables et en micro-polluants (Fourez, 1986 ; Rayser *et al.*, 1986). Cette charge dépend (i) de la filière de traitement adoptée, (ii) du degré de destruction de la matière organique par les micro-organismes thermophiles, et (iii) de la contamination induite par l'interaction physico-chimique entre la fraction fermentescible et les déchets indésirables (Baconet *al.*, 1989 ; Wagner *et al.*, 1990).

La présente étude, réalisée à l'Unité de Traitement des Ordures Ménagères (UTOM) de la Wilaya de Rabat-Salé, s'est fixée comme objectifs principaux :

(i) la caractérisation physique des ordures brutes et celles prétraitées (broyées et criblées), (ii) la détermination de l'effet du facteur fréquence de retournement sur l'activité des micro-organismes du compost mesurée par la température, les pertes d'eau, le pH et l'évolution du rapport C/N, et (iii) l'évaluation de la qualité du compost obtenu en comparaison avec les normes de réutilisation comme produit d'amendement des sols.

MATÉRIEL & MÉTHODES

• Description de la filière de l'UTOM

Les ordures ménagères collectées sont pesées, triées partiellement et déversées dans une fosse bétonnée profonde. Au moyen d'un grappin suspendu et mobile, elles sont par la suite déversées sur une trémie de réception qui alimente le broyeur à bras en acier dont le débit réel est d'environ 8 tonnes par heure. L'opération de broyage permet le déchiquetage et la réduction de la granulométrie des ordures fraîches. Des broyeurs, elles sont véhiculées par des tapis roulants en caoutchouc vers des cribleurs à maille ronde de 10 cm de diamètre et à deux étages. Les cribleurs, animés d'un mouvement vibratoire, assurent l'élimination partielle des plastiques, cartons, métaux et autres objets dont la granulométrie est supérieure à sa maille. Les ordures sont par la suite acheminées vers l'aire de fermentation.

• Caractérisation physique des déchets

Pour déterminer la composition physique des déchets ménagers, trois tas représentatifs de masse unitaire de 200 kg ont été pris directement et de façon aléatoire à trois points de la chaîne : à l'entrée, après broyage et criblage, et après stabilisation. Cette opération est répétée trois fois et à trois dates différentes. Ce choix est retenu selon les recommandations des études antérieures (Maystre & Diserens, 1989). La méthode adoptée est le tri manuel des ordures en catégories de déchets.

• Méthodes d'analyses

Pour la caractérisation chimique du compost, des échantillons élémentaires sont prélevés de différents points de l'intérieur du tas, et réunis pour former un échantillon composite de 5 kg. Cet échantillon subit, par la suite, un tri manuel pour écarter les déchets indésirables.

La conductivité électrique et le pH sont déterminés sur un extrait aqueux 1/10. L'azote minéral (N-NH₄ et N-NO₃) est extrait à l'eau distillée, filtré sur papier filtre Whatman avant distillation.

Le phosphore assimilable est extrait au bicarbonate de sodium et déterminé par colorimétrie à l'aide de l'acide ascorbique. Le bore assimilable est extrait à l'eau chaude et dosé selon la méthode décrite par Wolf (1971). Les matières humiques ont été extraites selon la méthode décrite par Bennani (1993) et dosées selon la méthode décrite par Chaminade (1958).

La minéralisation des éléments P, K, Ca, Mg, Na, Cd, Cu, Zn, ... est effectuée sur une prise à partir de l'échantillon élémentaire séché à 105°C, broyée et tamisée à 2 mm par attaque tri-acide avec HNO₃ (1:1 et concentré)/H₂O₂(30 %)/HCl (1:1) (USEPA, 1990). Le phosphore total est dosé selon la méthode au molybdate d'ammonium. Les autres éléments et oligo-éléments sont dosés par spectrométrie d'absorption atomique.

Le carbone et l'azote total sont déterminés respectivement selon les méthodes Annie et Kjeldahl (Lasse, 1985).

• Description de l'essai de compostage

Cette expérimentation a été conduite à l'UTOM de la Wilaya de Rabat-Salé. Six tas semblables des ordures ménagères broyées et criblées, à une maille ronde d'un diamètre de 10 cm, ont été disposés en plein air sous forme de tas coniques déposés sur une surface bétonnée.

Les dimensions d'un tas unitaire sont de 1,5 m de hauteur selon l'axe vertical et 3 m de diamètre basal. Les tas sont disposés de telle manière à éviter le tassement de la masse des ordures et pour garantir un espace lacunaire aéré. Le retournement est effectué mécaniquement de telle façon que les couches extérieures se retrouvent au centre, où elles seront soumises aux températures élevées. Les rythmes de retournement adoptés sont regroupés dans le tableau 1.

Les paramètres température, humidité, C/N et pH ont fait l'objet de suivis réguliers pendant deux mois.

Les tas T₁ et T₂ non retournés sont retenus comme témoins. Les traitements T₄, T₅ et T₆ encadrent le traitement T₃ adopté par l'UTOM à la cadence de 4 jours après le deuxième retournement.

Tableau 1 . Nombre et fréquence de retournement des tas

Tas	Nombre de retournements	Durée de compostage avant chaque retournement (jours)
T ₁	0	-
T ₂	0	-
T ₃	2	2, 6, 10
T ₄	3	2, 6, 10
T ₅	4	2, 6, 10, 14,
T ₆	6	2, 6, 10, 14, 18, 22, 30

RÉSULTATS & DISCUSSION

Les caractéristiques physiques des ordures ménagères brutes, regroupées dans le tableau 2, montrent que la fraction fermentescible se prêtant au compostage représente à elle seule 73 % de la totalité des ordures.

Tableau 2. Composition physique des ordures ménagères brutes et pré-traitées (en % poids frais)

Fraction	Ordures ménagères	
	Brutes(a)	Broyées et criblées(b)
Fermentescibles	73,00	91,72
Papiers-cartons	7,50	2,54
Plastiques	6,25	1,52
Métaux	2,30	1,56
Textiles	1,50	0,87
Cuir-Caoutchouc	0,83	0,70
Poterie-Cailloux	0,68	0,31
Bois	0,62	0,53
Verres	0,62	0,25
Divers	0,38	0,50

Cette fraction se compose principalement de déchets végétaux et de cuisine. Les papiers et cartons représentent la deuxième part prépondérante avec 7,5%. Dans cette fraction dominant en particulier les cartons forts d'emballage. Les plastiques représentent 6,25% et se retrouvent essentiellement sous forme de sachets d'emballage. Les déchets métalliques constituent 2,3 % et sont représentés par les boîtes de conserve, les aérosols, les fils métalliques, les piles... Les autres catégories (verres, textiles, cuirs, caoutchoucs,...) contribuent avec une part d'environ 11 %.

Il importe de noter que les propriétés physiques des ordures locales diffèrent de celles des pays industrialisés. Elles sont plus riches en matières fermentescibles, et presque deux fois plus humides.

En revanche, elles sont moins chargées en déchets à pouvoir calorifique élevé tels que les plastiques, cuirs-caoutchoucs, bois, ... et en matériaux non combustibles (métaux, verres, céramiques,...).

L'évaluation de l'efficacité de traitement de l'UTOM montre une augmentation relative de 25,6% des matières fermentescibles et une réduction importante des plastiques, papiers-cartons et verre (Figure 1).

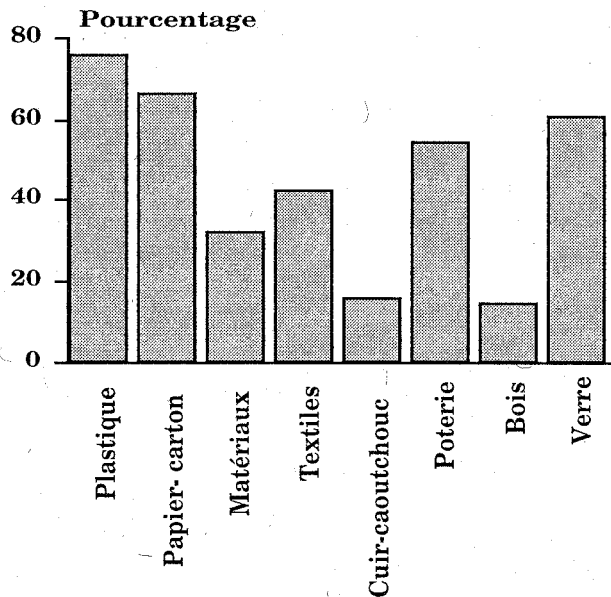


Figure 1. Pourcentage de réduction des indésirables à l'UTOM (en poids)

À la suite du broyage et du criblage, on évalue une réduction moyenne de 56 % de la fraction des indésirables. Le reliquat de ces déchets ne représente après pré-traitement que 8 % en poids des ordures fraîches. L'évaluation des performances de la chaîne par le biais du coefficient de sélectivité $C_s = T_{ac}/T_r$ (T_{ac} : taux d'accumulation de plastique dans le compost, T_r : taux de récupération de la matière organique) a donné une valeur de 0,38 considérée comme moyenne (El M'ssari, 1993). Les résultats relatifs à l'étude de l'effet de la variable fréquence de retournement sur les paramètres fondamentaux du compostage (T , %H, C/N, pH) montrent, durant les phases initiales (20 premiers jours), une étroite relation entre le nombre initial de retournement et la température interne des tas (Figures 2 et 3).

La température augmente immédiatement après chaque retournement jusqu'à pratiquement la fin de la phase thermophile. L'amplitude de son élévation était maximale dans le cas du T_6 le plus fréquemment retourné.

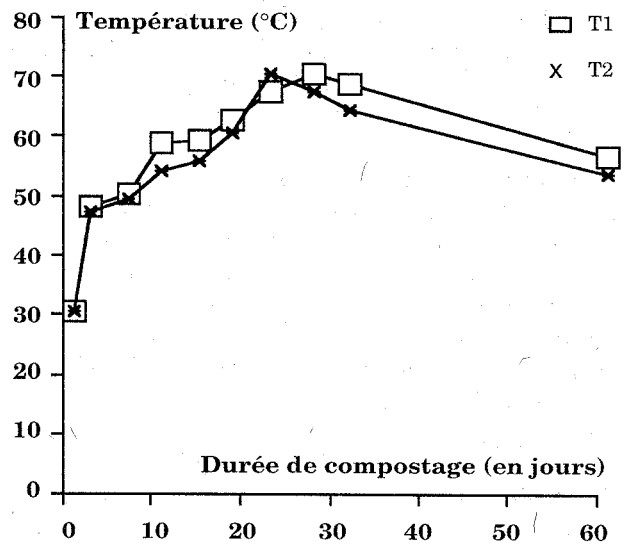


Figure 2. Évolution de la température interne des tas non retournés

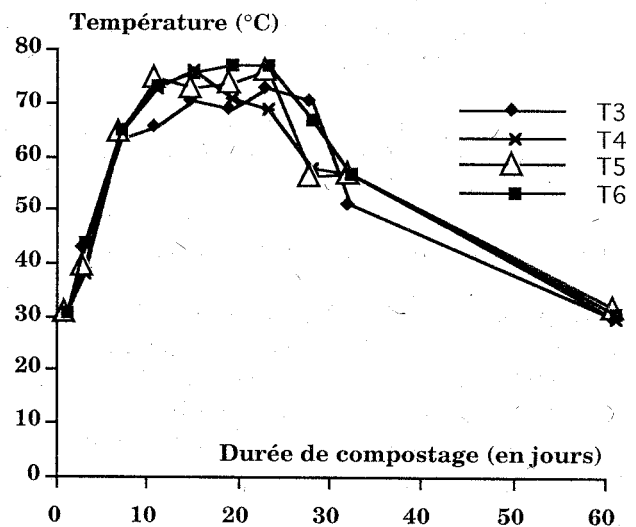


Figure 3. Évolution de la température interne des tas retournés

Les pertes d'eau des tas brassés (T_3, T_4, T_5, T_6) sont en général supérieures à celles des tas T_1, T_2 (Figure 4) et varient de 1,78 à 2,1% par jour pendant la première semaine.

On attribue ceci à la lixiviation de l'excès d'eau, à l'évaporation accentuée par les retournements et la montée de la température qui a atteint $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ au bout du 7^{ème} jour. Les pertes d'eau des tas T_1 et T_2 sont en moyenne de 1,15% par jour durant la première semaine et sont attribuées principalement à la lixiviation de l'excès d'eau. L'humidité des tas T_1 et T_2 diminue progressivement pour atteindre 43% vers la fin du deuxième mois.

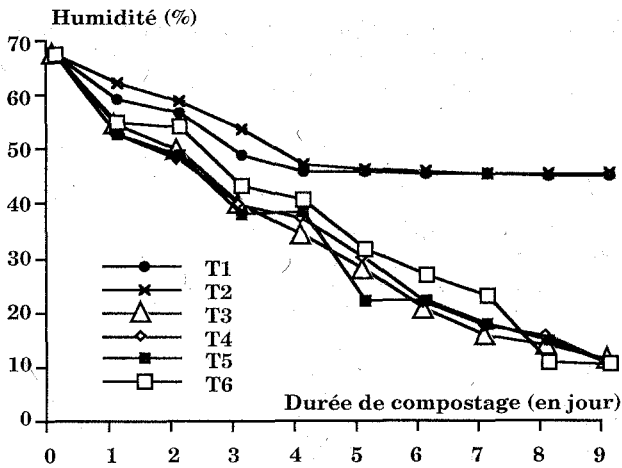


Figure 4. Évolution de l'humidité pondérale des 6 tas d'ordures ménagères mis en compostage

Au 21^{ème} jour, on assiste à l'élevation de la siccité des composts dans le sens croissant. T₁, T₂, T₆, T₃, T₄, T₅ en raison des différences des températures atteintes et du nombre de retournement qui influent sur l'évaporation. Les moyennes des pertes d'eau varient entre 0,88 à 1,4 % par jour.

À la 4^{ème} semaine, les températures des tas T₃, T₄, T₅ et T₆ chutent respectivement de 71 à 68, 4°C; 67 à 56°C; 74 à 54,4°C et 75 à 65°C du 22^{ème} au 27^{ème} jour. La chute brutale de la température de T₄ et T₅ ne peut être due au retournement ou à la stabilité des composts. En revanche, elle peut être la conséquence de la faible teneur en eau des composts (<38%) qui ralentie l'activité des micro-organismes.

La baisse des différents rapports C/N des tas retournés diminue et diverge de 1 à 2 unités au bout d'une semaine (Figure 5).

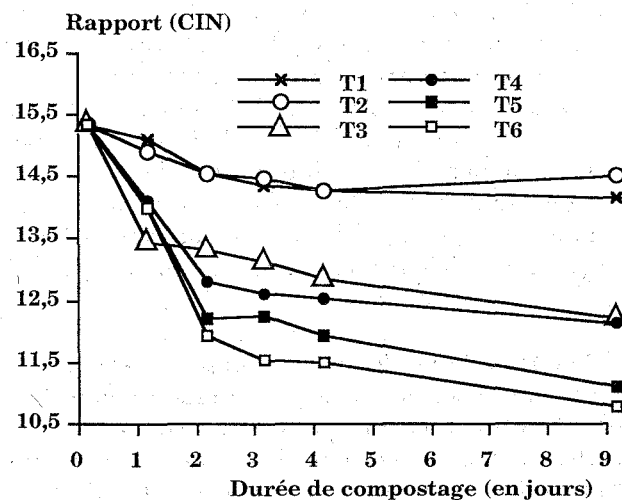


Figure 5. Évolution du rapport C/N au cours du compostage des ordures ménagères

Ceci peut être attribué au faible rapport de départ qui induit des pertes d'azote sous forme de NH₃.

Au cours du compostage, deux périodes peuvent être définies : la première s'étale le long de la phase thermophile (T < 45°C). Durant cette période, les rapports C/N des traitements T₁ et T₂ diminuent très lentement (14 < C/N < 15). L'évolution des rapports C/N des traitements T₃, T₄, T₅ et T₆ chutent dès la première semaine pour présenter ensuite des valeurs inférieures à 14.

À la fin de la deuxième semaine, les traitements T₅ et T₆ restent presque regés (11,7 < C/N < 12,05), tandis que le rapport C/N du traitement T₄ diminue de manière plus lente. À partir de la 3^{ème} semaine, la décroissance du rapport C/N est plus faible qu'en première période. Cependant, les rapports du traitement T₅ et surtout T₆ diminuent plus que les autres. Ce dernier présente en fin du premier mois le plus faible rapport C/N = 11,4. À partir de la 5^{ème} semaine, le processus entre dans une nouvelle phase; les différents rapports C/N progressent de manière quasi-similaire "phase de maturation".

L'évolution du pH (Figure 6) montre que les fermentations aérobiques tendent à rle milieu basique. Le pH des tas retournés T₃, T₄, T₅ et T₆ a subi une élévation d'environ 2,6 unités durant les 3 premières semaines. Les tas T₁ et T₂ non retournés ont enregistré une augmentation d'environ 1,42 unités. Ceci nous permet de stipuler qu'au cours du compostage des ordures ménagères, le pH augmente plus vite tant que les conditions aérobiques se maintiennent.

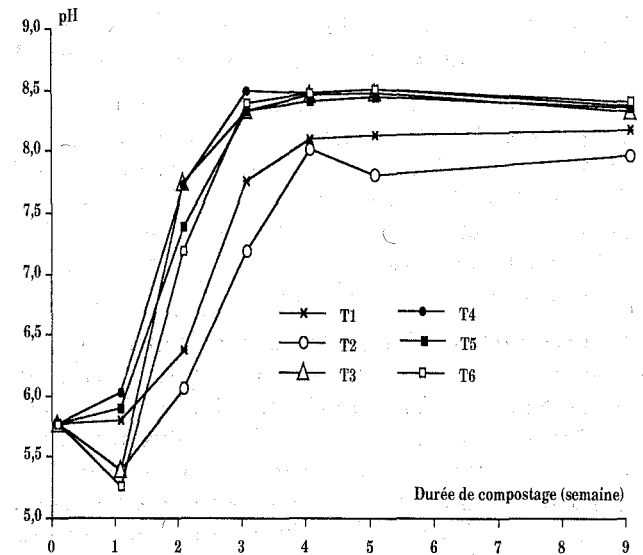


Figure 6. Évolution du pH des ordures ménagères au cours du compostage

Toutefois, entre les tas retournés, l'évolution du pH ne montre pas de différences notables au cours du processus de compostage.

Dans la pratique du compostage en tas ou en andains, le nombre et la qualité des retournements du substrat mis en compostage sont fondamentaux pour le contrôle du processus. En effet, l'évolution des principaux paramètres (% H, T°C, C/N, pH), qui influencent l'activité des micro-organismes du compostage, est tributaire du contrôle de l'aération.

Le retournement des ordures prétraitées mises en compostage à des intervalles de temps identiques au traitement T₆ permet ainsi le redressement et le maintien des conditions d'humidité et d'aération du substrat à l'optimum lors de la phase de stabilisation, et également la réduction du temps et de l'espace nécessaires au traitement des ordures. Toutefois, pour des dimensions plus grandes des tas, il serait judicieux et faisable de retourner à des intervalles moins espacés.

D'après cette étude, on considère que le processus de compostage arrive à son terme si la température interne du tas est inférieure à 35°C dans les conditions optimales d'aération et d'humidité (40 à 50 %) et dans les conditions où le compost présente un rapport C/N < 11 et un pH > 8.

• Évaluation de la qualité du compost obtenu

Selon les normes suisses (Ryser *et al.*, 1988), françaises (Mustin, 1987) et belges (Fourez, 1986), deux facteurs importants contribuent à rebuter la valorisation agricole du compost obtenu: l'abondance et la présence visible des indésirables (> 8 %) et la granulométrie grossière (> 40 mm).

Les caractéristiques chimiques du compost rapportées dans le tableau 3 montrent sa richesse en matières organiques, matières humiques, en éléments fertilisants majeurs (N, P, K), en éléments secondaires (Ca, Mg, Fe,...) et en oligo-éléments biodisponibles (B, Mn...). La salinité varie entre 2,14 et 4,5 mmhos/cm.

D'autre part, les valeurs normatives concernant les teneurs maximales admises du compost urbain en métaux lourds toxiques (Cd, As, Hg, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr) varient selon les pays. La différence entre normes pour un élément va du simple au quadruple. Ainsi, les teneurs du compost local en métaux lourds se trouvent inférieures aux normes USA (Adams, 1993) alors que les normes belges (Fourez, 1986) interdisent son emploi aux cultures vivrières à cause des teneurs élevées en Cu et Zn.

Tableau 3. Composition chimique du compost des ordures ménagères de l'UTOM de Rabat-Salé (âgé d'un mois)

Paramètres		Résultats
Humidité	(%)	48
pH (1:1)		8,40
Conductivité (1:10)	(mmhos/cm)	2,50
Matière organique	(% MS)	37,41
Acides humiques	(% MS)	3,05
Acides fulviques	(% MS)	0,94
N total	(% MS)	1,58
P ₂ O ₅ total	(% MS)	0,85
P ₂ O ₅ assimilable	(% MS)	0,38
K ₂ O total	(% MS)	0,75
CaO total	(% MS)	6,50
MgO total	(% MS)	0,50
N-NH ₄	(mg/kg MS)	1300
N-NO ₃	(mg/kg MS)	132
Cd total	(mg/kg MS)	2,15
Cd DTPA extractible	(mg/kg MS)	0,10
Cu total	(mg/kg MS)	160
Cu DTPA extractible	(mg/kg MS)	37,10
Mn total	(mg/kg MS)	580
Mn DTPA extractible	(mg/kg MS)	79,80
Ni total	(mg/kg MS)	19,20
Ni DTPA extractible	(mg/kg MS)	0,35
Fe total	(mg/kg MS)	16500
Fe DTPA extractible	(mg/kg MS)	302
Co total	(mg/kg MS)	12
Al total	(mg/kg MS)	3200
Ba total	(mg/kg MS)	750
B soluble	(mg/kg MS)	15
Cr total	(mg/kg MS)	38
Pb total	(mg/kg MS)	270
Zn total	(mg/kg MS)	664

Par ailleurs, les normes suisses (Ryser *et al.*, 1988) sont assez basses et excluent totalement la possibilité de valorisation agricole du compost de l'UTOM. Par ailleurs, le suivi des teneurs du compost en certains métaux lourds à travers les tas retournés a montré une nette concentration au cours du processus (Tableau 4) attribuée aux pertes de matières organiques liées à la fermentation et principalement à la contamination de la fraction biodégradable par les déchets impropres au compostage qui passent à travers la chaîne. Ainsi, un dosage judicieux du compost produit s'impose de manière impérative.

Selon Anid (1981), lorsque le compost présente des teneurs élevées ou variables en métaux lourds, il est toujours recommandé de réserver son utilisation pour les cultures non alimentaires (floriculture, pépinières), et pour la viticulture où le contact entre racines profondes et le compost en surface est minimum.

Tableau 4. Variation de la concentration moyenne en métaux lourds du compost des ordures ménagères

Métal	À 1 semaine		À 3 semaines		À 2 mois	
	Teneur (mg/kg MS)	CV (%)	Teneur (mg/kg MS)	CV (%)	Teneur (mg/kg MS)	CV (%)
Cd	0,78± 0,11	14,10	1,78± 0,23	12,74	2,57± 0,54	20,89
Cu	120± 10	08,33	218± 22,56	10,35	195,7± 25,6	13,10
Zn	816,7± 156,1	19,11	1207± 174,05	14,32	1234± 264	21,42
Pb	268,7± 8,6	03,20	350,25± 29,05	08,30	438,25± 25,9	05,80
Ni	7,6± 4,60	60,93	17,17± 5,34	31,15	28,67± 19,62	67,18
Fe	9991± 860	08,60	13068± 198	10,80	1498,8± 1148	07,60
Mn	586± 168	21,80	840± 185,74	22,11	885± 181,45	20,50

C.V. : Coefficient de variation,
 n : nombre de répétitions avec n = 12

Il serait encore plus prudent d'éviter l'emploi du compost en culture maraîchère si on n'est pas en mesure d'assurer la constance de sa qualité.

Il importe de souligner que dans le sol, le comportement chimique des éléments métaux est plus ou moins complexe et variable selon les types d'interaction entre métaux et colloïdes du sol et autres propriétés du sol comme le pH et la CEC. Dans ce sens, des normes empiriques moins restrictives conditionnent l'utilisation du compost urbain principalement sur la base du concept d'équivalent-Zinc du compost (Berry Man *et al.*, 1976), et du pH et sur la capacité d'échange cationique (C.E.C) du sol (El Bassan & Thorman, 1979).

Ces normes permettent de calculer le nombre d'années d'applications du compost sans danger d'accumulation excessive des métaux lourds.

En tout état de cause, lorsque les teneurs en métaux lourds du compost urbain limitent sa valorisation agricole, il convient de limiter les apports de façon à ne pas dépasser les seuils limites pour la protection des sols.

La dose d'apport doit tenir tout à la fois (i) des propriétés physico-chimiques du sol concerné (pH, CEC, texture, teneur en éléments métaux, ...), et du compost, (ii) des besoins de la culture envisagée en N, P, K et oligo-éléments, et (iii) de la sensibilité des cultures vis-à-vis des éléments ou substances phytotoxiques.

CONCLUSION

À la lumière des résultats de caractérisation des ordures ménagèrebrutes, on peut retenir que les catégories plastiques, les déchets métalliques et les "cartons" sont les principaux macro-polluants. La répartition de ces fractions après triage, broyage et criblage reste plus ou moins élevée.

Concernant le processus de fermentation aérobie, on peut conclure que la fréquence et la qualité de retournement représente le paramètre fondamental de la technique. Compte tenu de l'humidité élevée des ordures et de leur richesse en matières fermentescibles, le retournement fréquent dans les phases initiales est nécessaire pour le maintien du substrat dans la gamme optimale d'aération et d'humidité.

Comparativement aux autres traitements, le calendrier de retournement adopté pour le T₆ a permis d'atteindre les températures les plus élevées, d'assurer une bonne homogénéisation, de limiter l'émission des mauvaises odeurs et d'accélérer le processus de compostage. Des suivis mi-mensuels des paramètres température, teneur en eau, rapport C/N et pH du substrat mis en compostage fournissent des informations suffisantes sur l'état d'avancement du processus. Sur le plan de la composition physique et chimique du compost, le taux de matières potentiellement polluantes (plastiques, déchets métalliques) est assez élevé. Comparativement aux normes, seules les teneurs en Pb, Cu, et Zn peuvent être contraignantes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Ahmed BELKHADIM gérant de l'UTOM de la Wilaya de Rabat-Salé pour son assistance technique.

RÉFÉRENCES CITÉES

Adams N.E. (1993) Composting Food waste on the Farm. *Bicycle*, June : 73-76

Anid P. (1981) Valorisation agricole du compost urbain. *Annales de Gembloux* 1981-87 : 125-136

Bacon C.D., Switzenbaum M.S., wagner D.J. (1989) Variation of heavy metals concentrations in municipal sludge and compost, Div. wat. pollut. cont. Mass, Dept of Env. Qual. Eng., Rept. No 106.89.2

- Bennani F.M. (1993) Influence de la matière humique, du fer et de l'aluminium sur l'évolution du phosphore monocalcique en milieu acide. Thèse 3ème cycle. Faculté des Sciences Dhar El Mahraz-Fès
- Berry Man C., Caldwell T.H., Davies H.T., Eagle D.J., Farrar K., Patterson J.B.E. & Thomas R. (1976) Organic Manures by Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, British Crown Copyright, pp 124
- Chamide R. (1958) Influence de la matière organique humidifiée sur l'efficacité de l'azote. *Ann. agron.* 9: 167-192
- 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
- Duggan J.C. & Wiles C.C. (1976) Effects of municipal compost and nitrogen fertilizer on selected soils and plants. *Compost Sci.* 15 (5) : 24-31
- El Bassam N. & Thorman A. (1979) : Potentials and limits of organic wastes in crop production. *Compost. Sci.* 17 : 24-31
- 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
- Finstein, M.S. (1992) Composting in the context of Municipal Solid Waste Management, in *Environmental Microbiology*, Wiley-Liss, Inc., pp. 335-374.
- Fourez Ir. R. (1986) La réglementation des produits apportant des matières organiques. Colloque "la gestion de la matière organique des sols-Athènes"
- Gottas H.B. (1959) Compostage et assainissement. O.M.S. Genève, 206p.
- Haug R.T. (1980) Compost Engineering : principales and practice : Ed. ANN ARBOR Science. Michigan USA 655p.
- Herando S., Lobo M.C. & Polo A. (1989) Effect of the application of municipal refuse compost on the physical and chemical proprieties of soil. *Sci. Total Environ.* 81/82 : 589-596
- Hortenstine C.C. & Rothnwell D.F. (1973) Pelletized municipal refuse compost as soil amendment and nutrient source of sorghum. *J. Environ. Qual.* 2(3) : 343-344
- Jeris J.S. & Regan R.W. (1973) Controlling Environmental parametres for optimum composting. *Compost science* 23 p.
- Juste C. & solda P. (1979) Etude des possibilités d'utilisation des composts d'ordures ménagères comme supports de cultures maraichères. INRA Bordereaux/MECV (convention n° 75-135) 22 p+ Annexes
- 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
- Lasse C. (1985) Analyse des boues. Tome 2. Analyses chimiques : association française pour l'étude des eaux AFNOR-Paris
- Mays D.A., Terman G.L. & Duggan J.C. (1973) Municipal compost : effects on crop yields and soil properties. *J. Environ. Qual.* 2(1) : 89-92
- Maystre L. & Diserens T. (1989) Analyse de la composition des déchets ménagers et assimilés du canton de Genève I.G.E., Lausanne, Mars
- Mc Connell D.B., Shiralipour A. & Smith W.H. (1993) Compost application improves soil properties. *Biocycle* June 61-63
- Mustin M. (1987) Le compost, Gestion de la matière organique. Ed. François DUBUSC, Paris, 954p.
- Ryser J.P., Candinas T. & Gysi C. (1988) Directives d'utilisation et exigences de qualité pour le compost de déchets de jardin et de cuisine. *Revue Suisse Agric.* 20(6) : 305-312
- Shiralipour A. Mc Connell D.B. & Smith W.H. (1992) Compost : physical and chemical properties of soils as affected by MSW compost applciation . *Biomass & Bioenergy* 3(3-4) : 195-211
- Shiralipour A. Mc Connell D.B. & Smith W.H. (1993) Applying compost to crops. *Biocycle*, June : 70-72
- Sommers L.E. & Giordano P.M. (1984) Use of nitrogen from agricultural, industrial and municipal wastes. *In nitrogen in crop production ASA-CSSA.677* South Segoe Road, Madison, WI 53711
- Souidi B., Chiang C.N., Stitou M., Hachouma S.A. & Sbai. (1992) Evaluation de la valeur fertilisante azotée des fumiers de ferme et des composts industriels. *Acte Inst. Agron. Vet (Maroc)* 12(3) : 5-15
- Souidi 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
- USEPA (1980) Analytical Method for the National Sewage Sludge. Office of Water (WH-585)
- Wagner D.J., Bacon G.D., Knocke W.R. & Switzenbarum M.S. (1990) Changes and variability in concertration of heavy metals in sewage sludge during composting (in press)
- Wolf B. (1971) The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions. *Com. Soil. Sci. Plant Anal.* 2 : 263-374