

LE COMPOSTAGE, une pratique méconnue de gestion de déchets

par Marc CULOT et Sophie LEBEAU
(FUSAGx - Laboratoire d'écologie microbienne,
Passage des Déportés, 2, 5030 Gembloux)

1. Introduction

La prise de conscience des capacités limitées de notre planète à fournir les éléments nécessaires à notre mode de vie actuelle et à assimiler les déchets générés par notre société nous incite notamment à recycler au mieux nos déchets, ressuscitant ainsi un certain intérêt pour le compostage.

Les matières organiques abandonnées en tas entrent spontanément en fermentation anaérobie. Celle-ci génère d'abord des acides organiques et des dérivés azotés responsables de mauvaises odeurs, ensuite des toxiques divers, mais aussi des composés organiques réduits (comme le méthane) beaucoup plus actifs dans l'effet de serre que le gaz carbonique.

Le compostage bien conduit permet précisément d'éviter ces phénomènes puisqu'il s'agit d'une transformation de la matière organique par un processus aéré.

Le compostage est une pratique très ancienne. Elle serait vieille de 5.000 ans en Chine, elle a été couramment utilisée chez les Mayas, chez les Grecs et elle est bien connue en Inde. Elle est en grand développement aux Etats-Unis depuis 20 ans, mais encore peu développée en Wallonie, où l'on attend sans doute qu'elle fasse ses preuves !

Malgré son ancienneté, il s'agit néanmoins d'une technique délicate, qui, mal appliquée (comme c'est le cas le plus souvent), aboutit à un produit insatisfaisant, présentant des odeurs désagréables et une réelle phytotoxicité. Par contre, un compost équilibré, réussi, produit d'un compostage bien mené, présente une odeur agréable d'humus et de nombreux intérêts pour le sol et les plantes cultivées, bien plus que toute autre matière organique.

2. Définitions

Le compost est évidemment le fruit du compostage, qui est lui-même une technique de conversion biologique de matières organiques, sous conditions contrôlées, aérées, en un produit stable, hygiénique, riche en humus. Ce produit peut être utilisé dans les sols afin d'en améliorer les qualités chimiques, physico-chimiques et biologiques conduisant à une meilleure productivité.

La qualité du compost sera liée aux matières premières et à la manière dont le processus de compostage sera mené.

Quelquefois, le terme compostage est utilisé pour désigner toute décomposition biologique de matières organiques, y compris sans oxygène. Ainsi, l'expression compostage anaérobie qui lui a été abusivement associée est actuellement rejetée par quasi tous les acteurs dans le domaine.

Sans critères de caractérisation qualitative, qui devraient conduire à des labellisations, le terme compost peut couvrir du meilleur au pire des amendements organiques.

Un compostage idéal peut être réalisé de deux façons différentes. Selon un processus lent et froid d'une part, et selon un processus plus rapide, comportant une phase à température élevée, variant idéalement entre 55 et 65°C, mais qui atteint couramment 80°C.

Le premier concerne des couches généralement minces de substrats comme le compostage de surface (épandage d'un fumier, d'un mulch), le lombricompostage (décomposition de la matière organique par des vers de terre) ou des petits tas de matières ligneuses très peu fermentescibles. On compte alors autant sur le travail d'une microfaune que sur celui des bactéries. Le second concerne des processus de fermentations à moyenne et haute température mesurée dans la masse du substrat (tas, andains, silo-couloir, fermenteurs aérobies...), car les couches externes sont ordinairement à une température proche de la température ambiante.

Seul le second procédé sera envisagé dans ce texte.

3. But du compostage

Comme nous l'avons déjà écrit, le but du compostage est de faire un produit de qualité qui participe au retour au sol de la matière organique et des éléments minéraux qui lui sont associés.

Par rapport à la réintégration de la matière organique directement dans le sol, le compostage préalable présente de nombreux avantages, dont les principaux sont :

- une homogénéisation des matières,
- un rééquilibrage du rapport C/N,
- une stabilisation de la matière organique qui évite les problèmes au stockage (odeurs, pertes d'azote),
- une réduction, voire une élimination des semences de mauvaises herbes,
- un apport de matière organique de bonne structure qui améliore les qualités physiques du sol et, par voie de conséquence, favorise l'absorption et la rétention de l'eau et réduit l'érosion,
- un développement meilleur de l'activité biologique du sol qui accroît les échanges nutritionnels entre le sol et les plantes et réduit les risques d'attaque par les organismes phytopathogènes.

Dans une perspective de recyclage de déchets organiques, le compostage permet en outre :

- une destruction plus ou moins importante des polluants organiques par biodégradation,
- une dilution des matières toxiques peu ou pas dégradables en permettant ainsi de les répartir sur une plus grande surface de sols. Il faut évidemment veiller à gérer ces épandages dans une perspective de respect de la qualité des sols à long terme,
- une réduction importante ou une suppression des agents pathogènes,
- un apport d'éléments fertilisants complémentaires aux sols, qui seraient perdus sans ce recyclage.

4. Matières compostables

Le compostage s'adresse à toutes les matières organiques plus ou moins fermentescibles. Le souci d'obtenir un compost sain de bonne qualité va évidemment conditionner le choix des matériaux de départ. Le tri à la source prend donc toute son importance en tant qu'étape préliminaire au compostage de déchets hétérogènes tels que les ordures ménagères.

Parmi les matières compostables, on retrouve le plus souvent les déchets urbains (boues de stations d'épuration urbaines, les ordures ménagères), les déchets agricoles (sous-produit des cultures et de l'élevage) ou industriels (par exemple, les déchets d'industries agroalimentaires) et, bien

sûr, tous les déchets organiques domestiques, y compris certains emballages de papier, carton...

5. Paramètres du compostage

Les paramètres physico-chimiques d'un bon compostage sont nombreux et interdépendants.

La première phase consiste à préparer la matière organique pour que les éléments facilement fermentescibles puissent être dégradés rapidement par des microorganismes aérobies. Elle consiste à fragmenter suffisamment la matière pour offrir une surface de contact importante à l'attaque des microorganismes.

Les facteurs principaux agissant sur la décomposition de la matière organique par les microorganismes sont l'oxygène et l'humidité (Epstein, 1997 & Bilitewski, 1994). La température est également primordiale mais elle est le résultat de l'activité microbienne.

D'autres facteurs limitants sont aussi, comme dans tout processus biologique, le pH et les éléments nutritifs.

Ces différents paramètres vont être successivement examinés.

5.1 L'aération

Le compostage est un processus aérobie, l'oxygène a donc un rôle primordial. L'oxygène n'a pas qu'un rôle endogène (métabolisme et respiration) au niveau des bactéries aérobies mais il est indispensable pour l'oxydation des matières organiques.

Lors de la métabolisation, la concentration en oxygène va diminuer et celle du CO₂ va croître. L'oxygène ne peut pas descendre sous une limite sans entamer les processus de fermentation anaérobie. Une bonne aération de la matière est donc primordiale.

Il existe deux façons d'aérer un compost : par un système statique ou par un système actif ou à aération forcée.

Dans le premier cas, seule la porosité assure l'aération de la masse. Une structure lacunaire doit être privilégiée en corrigeant éventuellement la compacité du substrat par des agents structurants.

Parmi les systèmes actifs, il faut encore faire la distinction entre deux familles : les systèmes à aération forcée avec un ventilateur ou un aspirateur et les systèmes par brassage de la masse ou retournement des andains.

Ce dernier nécessite de plus grands espaces mais est moins exigeant quant à la structure du tas. De plus, l'évaporation étant importante, il permet de mieux maîtriser l'humidité par arrosage éventuel.

La sur-aération est néfaste car elle entraîne des pertes de chaleur et d'humidité telles que le métabolisme des microorganismes, et donc tout le phénomène de compostage est ralenti ou stoppé (Girovitch, 1996).

5.2. L'humidité

Le site principal de l'activité microbienne dans les sols ou dans les composts est le fin film d'eau à la surface des particules (Mathur, 1991). L'eau est également essentielle pour dissoudre et transporter les substances que les microorganismes ne peuvent absorber que sous forme dissoute.

L'humidité du compost a trois origines. Les matières organiques à composter apportent leur propre humidité (en général, entre 55 à 60 %) (Naylor, 1996). Le compostage est producteur d'humidité par le simple fait que l'oxydation de la matière

organique donne, en sus du CO₂, de l'eau. Mais, il est souvent nécessaire de compléter en eau la matière à composter pour accélérer le démarrage et empêcher que l'eau ne devienne trop rapidement un facteur limitant.

Il est habituellement recommandé de lancer le compostage avec une teneur moyenne en eau de 65 à 70 %.

L'excès d'humidité sature les interstices et rend les conditions asphyxiantes. L'humidité maximale admise est donc fonction de la structure du produit (Diaz *et al.*, 1993 & Haug, 1993).

D'un autre côté, l'humidité diminue par évaporation lors de l'aération forcée ou du retournement, renforcée par l'augmentation de la température.

En pratique, le compostage est extrêmement ralenti sous 45 % d'humidité.

L'évaporation de l'eau est un facteur important du refroidissement du compost.

Si la teneur en eau devient trop faible, il est alors nécessaire d'arroser les composts pour la poursuite du bon déroulement du processus.

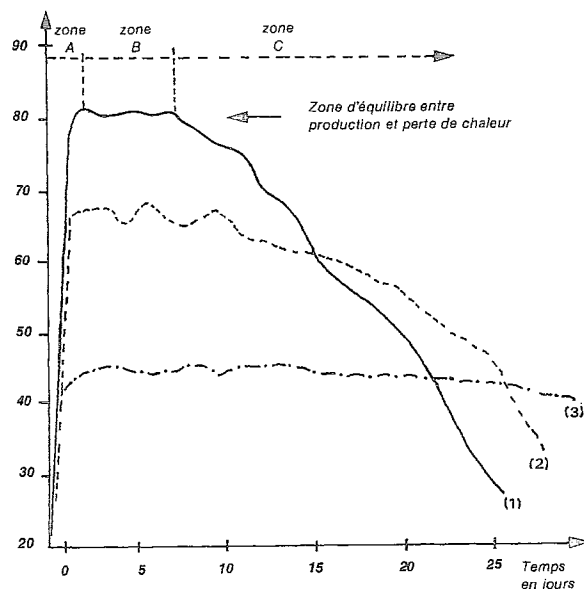
5.3. La température

Les microorganismes produisent de l'énergie dégagée sous forme de chaleur lors de l'oxydation des matières organiques.

La température atteinte varie en fonction de la composition du substrat. Au plus un déchet est fermentescible (riche en carbone facilement oxydable), au plus la température s'élèvera.

La température est un paramètre majeur du compostage ; il favorise les activités microbiennes, l'hygiénisation (pathogènes, graines d'adventices) et l'évaporation

Graphique tiré de Mustin, 1987



Zone A : La production de chaleur est active et supérieure aux pertes.

Zone B : Zone d'équilibre : Plateau thermique.

Zone C : Les déperditions deviennent prépondérantes, la température diminue...

— Courbe 1 : substrat très fermentescible

- - - Courbe 2 : substrat moyennement fermentescible

..... Courbe 3 : substrat peu fermentescible

La température optimale est celle où l'effet d'hygiénisation est atteint ($\pm 60^\circ\text{C}$ pendant plusieurs jours : domaine des bactéries thermophiles). Une température plus élevée est à déconseiller

sous peine de voir un ralentissement de l'activité de la majorité des microorganismes, une évaporation exagérée et une carbonisation partielle de la matière. D'autre part, la température doit au moins atteindre les 40°C (domaine des bactéries mésophiles) pour obtenir une transformation suffisante des matières mais cette température sera insuffisante pour une hygiénisation.

Dans les systèmes à aération forcée, le contrôle de la température se fait, le plus souvent, par sondes qui gèrent automatiquement le système d'aération mécanique.

La température extérieure joue un rôle important (Diaz *et al.*, 1993). Au plus le climat est froid et venteux, au plus les volumes doivent être importants pour compenser les déperditions de chaleur et pour assurer une température suffisante du tas.

5.4. Les conditions physico-chimiques

Comme tout processus naturel, les conditions physico-chimiques doivent être adéquates pour une bonne évolution du compost.

Le pH

Durant le compostage, le pH chute habituellement dans les premiers temps à cause de la formation d'acides organiques (Diaz *et al.*, 1993).

Ces acides servent également de nourriture pour les populations microbiennes.

Ensuite, le pH remonte pour se stabiliser idéalement vers 7, mais l'accumulation d'ammoniac et autres substances alcalinisantes peut faire monter le pH à des valeurs aussi élevées que 8,5 à 9.

Le rapport C/N

Pendant les phénomènes de fermentation aérobie, les microorganismes consomment 5 à 20 fois plus de carbone que d'azote. Un rapport C/N de 25 au départ est donc une valeur minimale favorable au compostage. Si l'on tient compte en outre du fait qu'une partie du carbone est physiquement inattaquable, le rapport C/N moyen peut être largement supérieur à cette valeur.

En cas d'excès d'azote, une partie sera perdue sous forme d'ammoniac. Par contre, une carence en azote ralentit le processus de compostage.

L'objectif d'un bon rapport C/N justifie ici aussi le mélange de plusieurs substrats au départ du compostage (Mathur, 1991 & Spellmann, 1997).

Les autres nutriments

Les autres éléments nutritifs (majeurs, mineurs) ne posent généralement pas de problème, grâce à la diversité des substrats utilisés habituellement.

Les aspects microbiologiques

La plupart des organismes actifs dans le compostage sont des bactéries, des champignons et quelques protozoaires.

Sauf dans de très rares occasions, l'abondance et la variété des microorganismes naturels des matières compostées sont suffisantes pour entamer rapidement le processus de compostage.

On y retrouve essentiellement des microorganismes mésophiles (15 à 45°C) puis thermophiles (> 45°C).

Le tableau ci-dessous montre différentes espèces de microorganismes identifiés dans les composts (Epstein, 1997).

Bacteria	Actinomycetes
<i>Aerobacter</i> (aerogenes)	<i>Nocardia brasiliensis</i>
<i>Bacillus megatherium</i>	<i>Thermomonospora viridis</i>
<i>B. stearothermophilus</i>	<i>T. curvata</i>
<i>B. cereus</i>	<i>Micromonospora parva</i>
<i>B. mycoides</i>	<i>M. vulgaris</i>
<i>Pseudomonad</i> sp. (seven isolates)	<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>
<i>Flavobacterium</i> sp.	<i>Actinoplanes</i> sp.
<i>Micrococcus</i> sp.	<i>Thermopolyspor polyspora</i>
<i>Sarcina</i> sp.	<i>Pseudonocardia</i>
<i>Cellulomonas folia</i>	<i>Streptomyces violaceoruber</i>
<i>Chondrococcus exiguus</i>	<i>S. thermoviolaceus</i>
<i>Mycococcus virescens</i>	<i>S. rectus</i>
<i>M. fulvus</i>	<i>S. thermofuscus</i>
<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	<i>S. thermovulgaris</i>
<i>T. denitrificans</i>	<i>Thermomonospora fusca</i>
<i>Proteus</i> sp.	<i>T. glaucus</i>
Fungi	
<i>Rhizopus nigricans</i>	<i>Absidia orchidis</i>
<i>Rhizoctonia</i> sp.	<i>Rhizopus arrhizus</i>
<i>Geotrichum candidum</i>	<i>Candida</i> (<i>parapsilosis</i>)
<i>Mucor pusillus</i>	<i>Cladosporium herbarum</i>
<i>Penicillium digitatum</i>	<i>Rhodotorula rubra</i>
<i>Mucor racemosus</i>	<i>Aspergillus tamarii</i>
<i>Torulopsis</i> sp.	<i>Zygorhynchus vuilleminii</i>
<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Trichosporon cutaneum</i>
<i>Absidia</i> (<i>ramosa</i>)	<i>Verticillium</i> sp.
<i>Saccharomyces</i> sp.	<i>Synecephalastrum</i> sp.
<i>Pulluloria</i> sp.	<i>Pichia</i> sp.
<i>Pythium</i> sp.	<i>Cylindrocara</i> sp.
<i>Hanisenua</i> sp.	<i>Chaetomium</i> (<i>thermophile</i>)
<i>Trichoderma koningi</i>	<i>Lipomyces</i> sp.
<i>Talaromyces</i> (<i>Penicillium</i>) <i>duponti</i>	<i>Sporotrichium thermophile</i>
<i>Stysanus stemonitis</i>	<i>Fusarium moniliforme</i>
<i>Glibotrys</i> (<i>alaboviridis</i>)	
<i>Humicola insolens</i>	Algae
<i>Humicola griseus</i> var. <i>thermoideus</i>	<i>Hormidium</i> (<i>nitens</i>)
Protozoans	<i>Vaucheria</i> (<i>terrestris</i>)
<i>Chilomonas</i> (<i>paramecium</i>)	<i>Euglena mutabilis</i>
<i>Cyathomonas</i> (<i>truncata</i>)	<i>Protococcus vulgaris</i>
<i>Lycogala epidendrum</i>	<i>Dactylococcus</i> (<i>bicandatus</i>)
<i>Cercomonas</i> (<i>crassicauda</i>)	<i>Chlorococcum humicola</i>
	<i>Microcoleus vaginatus</i>
	<i>Porphyridium</i> (<i>cruentum</i>)
	<i>Kentrosphaera</i> sp.
	Diatoms (unidentified)

6. Les étapes du compostage

6.1. Le tri

Le tri préalable sert à séparer les matières organiques fermentescibles des autres matières retrouvées dans des déchets hétérogènes tels que les ordures ménagères. Dans le cas de ces dernières, le tri peut se faire à deux niveaux :

- à la source grâce aux collectes sélectives,
- après collecte où différentes méthodes sont utilisées. Citons seulement le tri par criblage, magnétique, par flottation... (Diaz *et al.*, 1993).

6.2. Le broyage

La finesse du broyage doit résulter d'un compromis entre la réduction de la taille des particules pour accroître les surfaces d'attaque et un maintien suffisant des interstices entre particules pour garantir une bonne aération.

Les broyeurs sont des systèmes mécaniques de tous types (à marteaux, à lames, ...).

Il est fréquent que l'usure du matériel de broyage soit une source importante de métaux lourds dans les composts.

6.3. L'homogénéisation

Cette étape est surtout nécessaire quand le compost se fait en tas ou en andains non retournés ou en fermenteurs non brassés.

C'est également lors de cette étape que les agents structurants éventuels sont incorporés.

6.4. Les fermentations

Les autres aspects des fermentations ont été abordés dans les points précédents.

6.5. Evaluation de la maturité du compost

Epstein (1997) fait la distinction entre la stabilité et la maturité du compost : « La stabilité est une étape dans la décomposition de la matière organique et est une fonction de l'activité biologique. La maturité est une condition organo-chimique du compost qui indique la présence ou l'absence d'acides organiques phytotoxiques ». D'autres substances, comme l'ammoniac, sont responsables de la phytotoxicité.

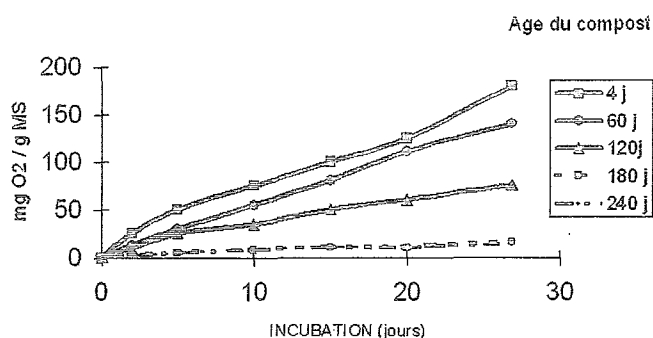
Il est indispensable de s'assurer que le compost sera arrivé au bout de son évolution pour se présenter comme le produit sain et stable désiré.

De nombreux tests ont été mis au point avec, pour chacun, leur faiblesse. Citons par exemple (Morel *et al.*, 1985) : rapport C/N, analyse des polysaccharides, mesures de l'ATP, tests chromatographiques, tests colorimétriques après extraction des composés humiques, test de l'activité respiratoire, test de phytotoxicité...

La baisse finale de la température (indiquant que les microorganismes ne sont plus actifs par manque de matières organiques à oxyder) est un signe de fin de processus, pour autant que tous les paramètres du compostage aient évolué normalement.

Par exemple, outre le contrôle de la chute de température, on peut enfermer hermétiquement un peu de compost d'ordures ménagères dans un sac en plastique pendant 24 ou 48 heures. Un compost insuffisamment mûr produira encore des odeurs fortement nauséabondes.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la consommation de l'oxygène en fonction de l'âge du compost (Zucconi, 1985).



6.6. Le tamisage et le stockage

Avant d'être utilisé, le compost doit encore subir quelques manipulations.

Le criblage et le tamisage (en fonction de la granulométrie voulue) permettent de présenter un produit fin et relativement homogène. Les refus du criblage peuvent être triés à nouveau

pour éliminer les matières indésirables et récupérer les grosses particules organiques insuffisamment dégradées qui seront réintroduites dans un nouveau mélange à composter. Une fois arrivé à maturité, le compost ne subit plus que très peu d'évolution du point de vue microbiologique. Le compost mûr devrait idéalement être stocké sous abri en milieu ventilé, mais un compost bien mûr ne devrait guère être affecté par une réhumidification.

7. Cas particuliers de compostages

7.1. Le compostage des boues de station d'épuration

Les boues de station d'épuration sont fermentescibles et souvent riches en éléments minéraux. Elles sont difficiles à composter telles quelles en raison de leur compacité et du taux d'humidité élevé qui causent des difficultés à maintenir des conditions aérobies (Mustin, 1987).

Pour aérer la structure des boues, un agent structurant y est incorporé. Il permet d'atteindre le taux d'humidité idéal (entre 60 et 70%).

A l'heure actuelle, les boues de station d'épuration produites en Région wallonne finissent fréquemment en décharge, en raison de la crainte des autorités vis-à-vis de substances encore mal connues telles que les micropolluants organiques. D'ici peu, la mise en décharge d'un tel produit sera interdite et l'incinération, en plus d'être coûteuse, gaspille de la matière organique précieuse et pollue par ses rejets atmosphériques. La seule alternative qui reste est le compostage des boues de station d'épuration.

Aux USA, le compostage est reconnu comme étant inférieur de 15 % à la moins chère des technologies conventionnelles de traitement des boues (par la réduction de la déshydratation et la suppression de la stabilisation en station).

La question des métaux lourds, des agents pathogènes et des micropolluants organiques sera discutée plus loin.

7.2. Le compostage des déchets urbains

Les ordures ménagères sont très hétérogènes. Les propriétés de ce compost sont totalement dépendantes du substrat de départ.

Les efforts des autorités pour limiter le volume des déchets ménagers (collectes sélectives) ont déjà limité le nombre d'engrais (PMC, verres, ...) mais ils restent encore nombreux. Les opérations de tri et de broyage doivent être menées avec soin pour obtenir un mélange avec de bonnes propriétés fermentescibles. Le tri et le broyage sont d'ailleurs effectués avant et après les processus de fermentation des ordures ménagères.

La complexité du produit de départ augmente le nombre de manipulations pour arriver à un compost homogène.

7.3. Le compostage des sous-produits agricoles et des industries agro-alimentaires

Sauf quelques exceptions, les sous-produits agricoles et des industries agro-alimentaires sont des substrats appréciables pour le compostage (Haug, 1993). En général, ils sont hautement fermentescibles et non pollués.

Parmi les exceptions, les déjections animales (surtout le lisier) posent d'énormes problèmes environnementaux ; le compostage de ces matières s'avère très difficile (composition désé-

quibrée, présence de polluants, odeurs, ...) et n'offrent qu'un compost de mauvaise qualité.

Comme sous-produit agricole d'origine végétale, les pailles peuvent être soit broyées et répandues sur le sol (compost de surface), soit compostées en tas. Cette dernière méthode est la seule « biotechnologie » capable de lutter efficacement contre les maladies et les parasites.

Les industries de l'agro-alimentaire ont adopté comme politique de produire le moins de déchets possible et, au contraire, donner une valeur ajoutée à ses sous-produits (cracking par exemple). Le tableau ci-dessous (tiré de Mustier, 1987) donne une idée des sous-produits compostables en industries agro-alimentaires.

8. Effets sur les sols et sur les plantes

Un matériau composté avec soin a les propriétés d'un humus (Diaz *et al.*, 1993). A l'instar de ce dernier, le compost n'est pas biologiquement statique et, sous des conditions environnementales appropriées, il sera décomposé par des microorganismes et la microfaune du sol (vers de terre, acariens, larves d'insectes, ...).

Un compost de bonne qualité a de nombreux avantages en agriculture :

- amélioration des qualités physiques du sol et donc de l'absorption et de la rétention de l'eau et diminution de l'érosion,
- un apport d'éléments fertilisants au sol (NPK et autres minéraux) bien équilibrés, puisque déjà sélectionnés par le végétal,
- un développement de l'activité biologique du sol qui augmente les échanges nutritionnels entre le sol et les plantes.

9. Valorisation du compost

Le compost a la potentialité d'être utilisé comme amendement pour différentes applications grâce à ses caractéristiques avan-

tageuses, citons dans le désordre (Diaz *et al.*, 1993) : paysage, réhabilitation (décharges, carrières, ..), contrôle de l'érosion, couche de surface (golfs, parcs), agriculture, jardinage, pépinières, sylviculture.

L'utilisation prédominante du compost reste traditionnellement l'horticulture et l'agriculture.

Plus récemment, le compost a aussi été utilisé en biofiltration pour supprimer les gaz polluants et en horticulture pour combattre les agents phytopathogènes (Epstein, 1997).

10. Eléments indésirables

Les composts issus des ordures ménagères ou des boues de station d'épuration voient leur utilisation freinée en agriculture par trois familles « d'éléments indésirables » : les métaux lourds, les micropolluants organiques et les organismes pathogènes.

10.1. Les métaux lourds

Carroll *et al.* (1993) ont montré une diminution des métaux lourds dans les boues compostées par rapport aux boues non compostées. La boue y était mélangée avec des copeaux de bois (3/1). De plus, le compost mûr a les propriétés d'un humus qui est un des agents adsorbants des métaux lourds les plus puissants. Dans le cas des ordures ménagères, le tri à la source est une étape déterminante pour réduire la concentration des métaux lourds dans les composts.

Néanmoins, il n'est pas envisageable de poursuivre des apports de matières sur les sols sans se préoccuper de la gestion durable de ceux-ci. En conséquence, tous les amendements futurs devraient faire l'objet de spécifications raisonnables mais strictes pour garantir la qualité des sols et des produits cultivés.

Branches	Sous-produits organiques
Meunerie - semoulerie	Issues et sons. Déchets de triage et de farines, semoules.
Fabrication de pâtes alimentaires	Déchets de pâtes et semoules
Riz	Balles de paddy, déchets et brisures de riz
Panification industrielle et biscuiterie - pâtisserie industrielle	Déchets de produits pâteux et solides
Fabrication d'entremets frais et desserts	Déchets de matières premières
Chocolaterie - confiserie	Déchets de nettoyage et triage des fèves de cacao, de leur concassage, et de la fabrication du chocolat, fruits et sirops
Fabrication des bouillons et potages	Déchets de matières premières
Fabrication des produits pour boissons et infusions (café, thé, chicorée, tisanes...)	Pellicules, fèves écartées, triage de marcs de café et boues de décaféinisation, matières premières
Produits amylicés (amidon de maïs, de pomme de terre, féculerie...)	Impuretés et corps étrangers. Purification de la fécule
Malteries brasseries	Drèches, radicelles, levures
Huileries et matières grasses végétales	Mucilages, boues grasses, savons, déchets de tourteaux
Distilleries	Marc de raisin, de pommes...Pulpes, vinasses et boues
Conserveries	Tous les produits alimentaires

10.2. Les micropolluants organiques

De nombreux substrats de compost peuvent contenir des micropolluants organiques toxiques (pesticides, dépôts atmosphériques des incinérateurs ou d'autres phénomènes de combustion).

Epstein (1997) a prouvé que le compostage est un processus efficace pour la dégradation de la plupart des micropolluants organiques. Vogtmann *et al.* (1992) ont trouvé des concentrations en PCB, PCDD et PCDF dans les composts inférieures à celles des sols forestiers. En fait, de nombreux microorganismes sont capables de dégrader ces composés et d'utiliser le carbone de ces molécules. Pour les plus récalcitrants (type dioxines et furanes), il a noté un abattement de 50% après 30 jours de compostage (Snell Environmental Group Inc, 1982, cité par Epstein, 1997). Peu d'informations sont disponibles sur le prélèvement des micropolluants organiques à partir du compost lui-même.

Les micropolluants organiques sont devenus des facteurs limitants de l'utilisation des boues de station d'épuration (non compostées) en Région wallonne. Le compostage semble être une méthode prometteuse mais des résultats de recherches convaincants manquent pour rassurer les autorités et la population.

10.3. Les pathogènes

Le compostage est très efficace dans la destruction des pathogènes, s'il est bien mené.

La relation temps / température durant le compostage permet une hygiénisation du produit. Le tableau ci-dessous (Epstein, 1997) montre la relation temps / température pour différents pathogènes.

La plupart des organismes pathogènes qui résistent au compostage ne survivent que pendant des périodes relativement courtes dans les sols et sur les végétaux.

Organism	Exposure Time (in minutes) for Destruction at Various Temperatures				
	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C
<i>Entamoeba histolytic</i> cysts	5				
<i>Ascaris lumbricoides</i> eggs	60	7			
<i>Brucella abortus</i>		60		3	
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>		45			4
<i>Salmonella typhi</i>			30		4
<i>Escherichia coli</i>			60		5
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. <i>aureus</i>					20
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>					20
<i>Shigella</i> spp.	60				
<i>Mycobacterium diphtheria</i>	45				
<i>Necator americanus</i>	50				
<i>Taenia saginata</i>					5
Viruses					25

11. Le co-compostage

Le co-compostage consiste à composter conjointement deux (ou plusieurs) types de déchets, comme les ordures ménagères et les boues de station d'épuration.

Le mélange des deux substrats doit donner un support qui a les caractéristiques physico-chimiques requises pour fermenter correctement.

L'avantage du co-compostage est multiple (Mustin, 1987) :

- diversification des substrats qui peut contrebalancer une carence, compenser un déficit ou un excès d'eau,
- réduction des coûts d'investissement et d'exploitation car un seul site,
- au niveau administratif, une seule demande de permis de bâtir et d'exploitation,
- compost plus homogène et en plus grande quantité, ce qui diminue les frais de caractérisation et de promotion et garantit une meilleure qualité plus standardisée.

12. Marketing

La mise sur le marché du compost dépend fortement de sa qualité. Chaque compost a son marché en fonction de ses caractéristiques.

L'agriculture est le plus gros débouché potentiel du compost, suivi par la réhabilitation de sites industriels désaffectés.

L'effet bénéfique du compost en agriculture n'est plus à démontrer ici. Cependant, l'agriculture a ses exigences en temps, et il lui est parfois difficile d'avoir un compost mûr en suffisance au moment opportun. Il reste aussi à démontrer que le compost n'est pas un déchet dont on essaye de se « débarrasser » mais qu'il peut être un produit de haute qualité et de valeur agronomique importante.

Pour la mise sur le marché du compost, il faut garantir (Diaz *et al.*, 1993) : un produit sain, de qualité constante, de manipulation aisée, sans odeur, un approvisionnement continu, la proximité d'approvisionnement, un prix concurrentiel.

13. Conclusions

Le compostage est une pratique très ancienne mais dont la réussite nécessite la conjonction de nombreux facteurs encore méconnus par les utilisateurs potentiels.

Il s'avère, par ailleurs, que de nombreux déchets organiques se verront bientôt interdits de versage en décharge de classe 2, mais ils pourraient, par contre, être intégrés avec d'autres matières dans des mélanges qui pourraient aboutir à des composts de bonne qualité.

De tels composts constituent des amendements intéressants dont de nombreux sols ont un grand besoin.

Une meilleure connaissance du compostage et des composts de qualité devrait permettre une extension de cette pratique qui pourrait contribuer au recyclage harmonieux de matières organiques diverses souvent encombrantes actuellement, dans le cadre d'une gestion durable de l'environnement.

Tous les partenaires et décideurs devraient initier une réflexion de fond sur ces aspects de recyclage des déchets en compatibilité avec une conscience à long terme de l'impact de nos activités sur notre cadre de vie.

Bibliographie

- Bilitewski B., Härdtle G., Marek K., Weissbach A., Boedicker H. (1994) : Waste Management. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 699 pages.
- Carroll B.A., Caunt P., Cunliffe G. (1993) : Composting sewage sludge : basic principles and opportunities in the UK. J.Instn. Vol.7, No.2, 175-181.
- Diaz L.F., Savage G.M., Eggerth L.L., Golueke C.G. (1993) : Composting and Recycling Municipal Solid Waste. Lewis Publishers. 296 pages.

- Epstein E. (1997) : The Science of Composting. Technomic Publishing Company Inc. 483 pages.
- Girovitch M.J. (1996) : Biosolids Characterization, Treatment and Use *in* Biosolids treatment and management. Processes for beneficial use. *Ed.* Mark J.Girovitch. 453 pages.
- Haug R.T. (1993) : The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. 717 pages.
- Mathur S.P. (1991) : Composting Processes *in* Bioconversion of Waste Materials to Industrial Products. *Ed.*A.M.Martin. Elsevier Applied Science. 510 pages.
- Morel J.L., Colin F., Germon J.C., Godin P., Juste C. (1985) : Methods for the Evaluation of the Maturity of Municipal Refuse Compost. *in* Composting of Agricultural and Other Wastes. *Ed.* J.K.R.Gasser. Elsevier Applied Science Publishers. 320 pages.
- Mustin M. (1987) : Le Compost. Gestion de la matière organique. *Ed.*François Dubusc. Paris. 954 pages.
- Naylor L.M. (1996) : Biosolids Characterization, Treatment and Use *in* Biosolids treatment and management. Processes for beneficial use. *Ed.* Mark J.Girovitch. 453 pages.
- Spellmann F.R. (1997) : Wastewater Biosolids to Compost. Technomic Publishing Company, Inc. 243 pages.
- Vogtmann H., Fricke K. (1992) : Organic Chemicals in Compost : How relevant are they for the use of it ? *in* Composting and Compost Quality Assurance Criteria. Commission of the European Communities. *Ed.*D.V.Jackson, J.M. Merillot, P. L'Hermitte. 433 pages.