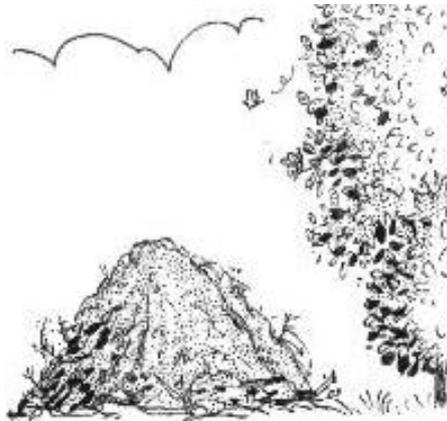




RAPPORT D'ETUDE :

**ELEMENTS POUR LA PRISE EN COMPTE DES
EFFETS DES UNITES DE COMPOSTAGE DE
DECHETS SUR LA SANTE DES POPULATIONS
RIVERAINES**



Version du 29 avril 2002

Etude réalisée par l'Ecole Nationale de la Santé Publique



ENSP
ECOLE NATIONALE DE
LA SANTE PUBLIQUE

RENNE

Rédacteurs :

Laurence NOËL, ENSP
Jean CARRE, ENSP
Michèle LEGEAS, ENSP

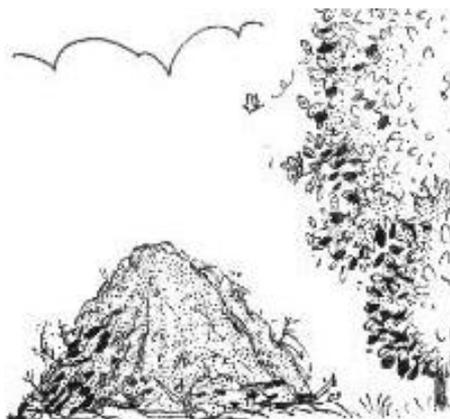
Relecteurs-contributeurs :

Corinne BEKAERT, SITA
Elise BOURMEAU, Vivendi Environnement
Isabelle DEPORTES, ADEME
Boris EFREMENKO, CGEA
Laurent FLEURY, SITA France
Jean-Luc MARTEL, SITA
Emmanuel MORICE, MEDD
Alexandra NOËL, FNADE
Olivier SCHLOSSER, Vivendi Environnement



PIECE N°1

LE COMPOSTAGE DES DECHETS



Version du 29 avril 2002

Etude réalisée par l'Ecole Nationale de la Santé Publique



SOMMAIRE

1. PREAMBULE	1
2. LES PRODUITS COMPOSTABLES	3
2.1. La production de déchets municipaux en France	3
2.2. Les déchets organiques fermentescibles.....	4
2.3. Les types de déchets compostés	6
2.3.1. Les ordures ménagères brutes	6
2.3.2. Les ordures ménagères grises.....	7
2.3.3. Les biodéchets ou fraction fermentescible des ordures ménagères	7
2.3.4. Les déchets verts	7
2.3.5. Les résidus de l'assainissement collectif.....	8
2.3.6. Les résidus des installations agricoles d'élevage	8
2.3.7. Les sous-produits de l'industrie agroalimentaire	9
2.3.8. Evolution constatée de la nature des déchets compostés.....	9
2.4. La qualité des déchets compostés	9
3. LES FILIERES DE COMPOSTAGE DES DECHETS	11
3.1. Le principe du compostage	11
3.1.1. Les micro-organismes de la fermentation aérobie.....	12
3.1.2. Conditions optimales du compostage.....	12
3.1.3. Influence de la température	13
3.1.4. Maturation du compost.....	14
3.2. Les différentes étapes du compostage	15

3.3.1	Prétraitement en biostabilisateur	16
3.3.2	Compostage en andains retournés et aération naturelle.....	17
3.3.3	Compostage avec aération forcée.....	17
3.3.4	Evolution prévisible des filières de compostage	20
3.4	Le parc des unités de compostage en France.....	22
3.5	Les déchets issus du traitement par compostage.....	23
3.5.1	Les refus de compostage	23
3.5.2	Les déchets liquides	23
3.5.3	Emissions gazeuses	25
4.	LA QUALITE DES COMPOSTS.....	26
4.1	Moyens d'évaluation de la qualité des composts.....	26
4.1.1	La qualité d'un compost	26
4.1.2	Absence de textes réglementaires français	27
4.1.3	Norme AFNOR NF U 44-051	27
4.1.4	Ecolabel européen	29
4.1.5	Projet de directive européenne	29
4.2	La qualité des composts produits	30
	BIBLIOGRAPHIE	33

TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Traitabilité et gestion des différents déchets.....	5
Figure 1 : Catégories de déchets compostés.....	6
Tableau 2 : Qualité de divers déchets compostés par rapport à un optimum de compostage, d'après Opsomer <i>et al.</i> (1996).	10
Figure 2 : Evolution de la température lors du processus de compostage des déchets (d'après Mustin, 1987).	13
Figure 3: Schéma type du compostage des déchets.	15
Tableau 3 : Filières de compostage et déchets traités en France - Liste non exhaustive de plates-formes française de compostage des déchets.	21
Tableau 4 : Evolution du traitement biologique des déchets et du tri des ordures ménagères depuis 1993 (données ADEME).	22
Tableau 5 : valeurs limites de rejet des déchets liquides	24
Tableau 6 : Caractéristiques à respecter pour un compost affiné et épuré depuis moins de 15 jours selon la marque NF-Compost Urbain (d'après Carré et le Bozec, 1988).	28
Tableau 7 : Teneurs limites en métaux-traces dans les composts pour satisfaire aux recommandations de l'Ecolabel européen (d'après Wiart, 2000).	29
Tableau 8 : Classes environnementales de qualité du projet de directive européenne portant sur le traitement biologique des biodéchets.	30
Tableau 9 : Qualité agronomique de divers composts (Source ADEME).	30
Tableau 10 : Comparaison des moyennes des composts selon leur origine pour 4 critères d'intérêt agronomique (ADEME 2001).	31
Tableau 11 : Comparaison des moyennes des composts selon leur origine pour 7 critères d'intérêt environnemental (ADEME 2001).	31
Tableau 12 : Matrice des comparaisons statistiques pour 4 éléments d'intérêt agronomique..	32

1. PREAMBULE

Les installations de compostage de déchets sont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), et sont donc soumises à la loi 76-663 du 19 juillet 1976 et à son décret d'application 77-1133 du 21 septembre 1977 modifié par le décret 2000-258 du 20 mars 2000. Ce décret introduit la notion de « santé » dans les préoccupations sanitaires à prendre en compte pour la réalisation de l'étude d'impact de ce type d'installation.

Selon la circulaire du 5 janvier 2001 relative à la nomenclature des ICPE, les installations de traitement des déchets sont indexées dans la nomenclature sous les rubriques 322 B (« Traitement des ordures ménagères et autres résidus urbains »), et 2170 (« Fabrication des engrais et supports de culture à partir de matières organiques »).

La rubrique 2170 entend par « matières organiques » :

- ✓ les matières organiques d'origine animale (fumiers, fientes...),
- ✓ les matières organiques d'origine végétale (résidus de jardinage, sous-produits de l'industrie agroalimentaire végétale),
- ✓

Seules ou en mélange avec :

- ✓ des boues résiduaires urbaines,
- ✓ la fraction fermentescible des déchets ménagers collectée séparément.

La rubrique 2170 ne concerne donc pas le compostage d'ordures ménagères qui relève toujours de la rubrique 322.

L'arrêté du 7 janvier 2002 définit les prescriptions applicables aux installations classées soumises à déclaration sous la rubrique n°2170 et mettant en œuvre un procédé de transformation biologique aérobie (compostage) des matières organiques.

La rubrique 2260 peut également concerner les plates-formes de compostage si des engins de broyage, criblage, ensachage, mélange, de puissance suffisante sont présents sur le site.

Quel que soit le type de déchets urbains traité, la création d'une plate-forme de compostage, fait l'objet d'une déclaration au titre des ICPE jusqu'à un tonnage sortant de 10 t/j. Au-delà de ce tonnage une d'autorisation d'exploiter est requise.

Dans le cas de déchets industriels, quel que soit le tonnage, l'installation est soumise à autorisation (rubrique 322 b2).

Le dossier d'autorisation des ICPE est soumis à enquête publique et comprend les pièces réglementaires suivantes :

- Un état initial du site d'implantation de l'ICPE et de son environnement,
- Un descriptif technique précis des installations projetées
- Une étude d'impact concernant les effets potentiels (négatifs et éventuellement positifs) de l'installation sur l'environnement et la salubrité publique,
- Des études des dangers potentiels présentés par l'installation (stockage de produits chimiques, risque d'explosion, d'incendie...),
- Une notice d'hygiène et de sécurité du personnel prenant en compte la réglementation du travail en vigueur et les risques potentiels de chaque poste pour les travailleurs.
- Un résumé non technique de l'étude d'impact,

La loi du 19 juillet 1976 précise dans son article 1^{er} ses objectifs : il s'agit de préserver de dangers ou d'inconvénients le voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publique, l'agriculture, la nature, l'environnement et les sites et monuments. Le décret du 21 septembre 1977 reprend globalement ces thèmes comme devant être étudiés dans le cadre de l'étude d'impact.

Toutefois, la nécessité d'un volet sanitaire dans l'étude d'impact est une exigence explicite réaffirmée par la loi sur l'air du 30 décembre 1996. Ceci a été précisé dans une circulaire envoyée aux préfets le 19 juin 2000. Ainsi, sans forcément consister en une pièce spécifique, les effets sur la santé et la salubrité publique et les mesures de prévention doivent être clairement mentionnés pour chacune des voies d'impact concernées (air, eau, déchets).

Dans ce cadre et après des rappels sur les filières de compostage, les produits intrants et la qualité des composts obtenus, ce document se propose de fournir les éléments de base pour l'évaluation des risques pour la santé des populations riveraines des installations de compostage des déchets, lors de la phase d'exploitation normale de ces installations¹. Ces éléments pourront être repris par les pétitionnaires pour alimenter l'évaluation locale et spécifique des risques générés par leur installation.

Ce document comprend :

- un état des connaissances et des données relatives au « compostage »,
- le recensement des agents dangereux en fonction du type de déchets entrants sur le site de compostage,
- les concentrations rencontrées en fonction des origines des produits entrants et des process de compostage mis en œuvre,
- les relations doses-effets existantes,
- les scénarios d'exposition les plus probables.

¹ les phases de travaux et de fin d'exploitation doivent être incluses dans l'étude d'impact au moment du dépôt du dossier de demande d'autorisation d'exploiter. Dans la mesure où les dangers et nuisances générés lors de ces phases ne sont pas spécifiques de ce type d'installation, ils ne seront pas étudiés dans ce document.

2. LES PRODUITS COMPOSTABLES

2.1. LA PRODUCTION DE DECHETS MUNICIPAUX EN FRANCE

Les déchets municipaux regroupent l'ensemble des déchets dont l'élimination relève de la compétence des communes. Ils se répartissent en 6 catégories principales :

- Les ordures ménagères,
- Les déchets encombrants des ménages,
- Les déchets du nettoyage,
- Les déchets de l'assainissement collectif (boues de station d'épuration),
- Les déchets verts des collectivités locales.

Une part croissante de ces déchets est recyclée au titre de la lutte contre les pollutions, des économies d'énergies et de matières premières. En effet, l'objectif visé par la loi du 15 juillet 1975 était d'offrir aux ménages les possibilités d'éliminer leurs déchets sans nuisance, en même temps que promouvoir la récupération et le recyclage d'une fraction des déchets.

En limitant le recours à la mise en décharge pour les déchets ménagers bruts et en insistant sur leur valorisation par réemploi, recyclage des matériaux ou récupération d'énergie, la loi du 13 juillet 1992 a repris et renforcé les objectifs de 1975.

En 1998, à mi-parcours des délais d'application fixés et au vu des projets des collectivités pour les années suivantes, le bilan est positif mais la mise en décharge d'ordures ménagères brutes reste prépondérante : en 1998, le recyclage de matériaux issus de collecte sélective concerne 8 % des ordures ménagères, la valorisation organique environ 7 % (ADEME, juin 2001).

La circulaire du 28 avril 1998 relative à la mise en œuvre des plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés, la baisse de la T.V.A. de 20,6 % à 5,5 % sur les prestations du service public d'élimination des déchets ménagers lorsque la collectivité pratique la collecte sélective, l'augmentation des soutiens apportés par les organismes agréés aux collectivités et la modification du cadre juridique (fractionnement du service public, délégation de service public) devraient déboucher sur un paysage faisant la part belle à la valorisation et au recyclage (ADEME, août 2001).

Avec la multiplication des centres de tri d'ordures ménagères et l'évolution de la collecte sélective multi matériaux (verre, papiers, cartons, plastiques), la composition des ordures ménagères a elle aussi évolué.

En 1998, 19 millions d'habitants effectuaient le tri de plusieurs matériaux d'emballages (au moins 3), soit 13 000 communes partenaires du programme Eco-Emballages. En 1999, ces chiffres atteignent 26 millions d'habitants et 19 500 communes. A titre indicatif, la France métropolitaine comptait une population proche de 58 millions et demi de personnes en 1999 (INSEE août 2001).

Néanmoins, la collecte des plastiques est encore à ce jour peu efficace. En effet seules 44 000 tonnes ont été collectées en 1998 pour un gisement récupérable d'emballages estimé à 900 000 tonnes en 1997. La collecte de la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM) est également en phase de démarrage avec 60 000 tonnes collectées en 1998.

La composition des déchets des ménages varie en fonction du mode de vie (rural, urbain) et des activités économiques locales. On peut estimer qu'en moyenne les ordures ménagères se décomposent comme suit :

- Déchets putrescibles : 29 %,
- Papiers/cartons : 25 %,
- Verre : 13 %,
- Plastiques : 11 %,
- Métaux : 4 %,
- Autres : 18 %.

Remarque : beaucoup de DIB empruntent les mêmes filières de traitement que les déchets municipaux

2.2. LES DECHETS ORGANIQUES FERMENTESCIBLES

La valorisation organique des déchets que constitue le compostage ne devrait concerner que les déchets organiques non synthétiques, c'est-à-dire les déchets organiques sans les matières plastiques, soit encore les déchets dits « fermentescibles ».

Les déchets fermentescibles sont ceux qui peuvent faire l'objet d'une fermentation : transformation de certaines substances organiques sous l'action d'enzymes sécrétées par des micro organismes.

Les déchets putrescibles sont ceux qui peuvent entrer en putréfaction, c'est-à-dire subir une décomposition bactérienne. La putréfaction n'est donc qu'une étape de la fermentation aérobie.

Les déchets organiques fermentescibles englobent aussi bien des produits simples et facilement fermentescibles tel que les sucres, l'amidon, les graisses, les protéines, etc., et d'autres dont la décomposition biologique est beaucoup plus lente (hemicellulose, cellulose, lignine, etc). Ces matières peuvent être d'origine animale ou végétale.

La propriété commune de ces déchets est leur biodégradabilité qui en l'absence d'une gestion correcte peut entraîner des nuisances. Ces produits peuvent en effet générer des odeurs, attirer

les animaux, être source de contaminations microbiennes, etc. Pour cette raison une collecte et un traitement rapides sont nécessaires, les traitements devant permettre la maîtrise de la biodégradation.

Les déchets fermentescibles entrants dans le processus de compostage sont :

- les papiers-cartons,
- les déchets de cuisine (restes de repas, épluchures, marc de café et son filtre, coquilles d'œufs...),
- les déchets de jardin, appelés aussi « déchets verts » (pelouse, branchage...),
- les boues de station d'épuration, déjections issues des élevages d'animaux...
- les graisses et sous-produits de l'industrie agroalimentaire.

La destination agricole du produit final issu du compostage des déchets peut permettre également l'utilisation en déchets entrant dans le compost de quelques sous-produits minéraux non fermentescibles tels que les cendres de bois (apport de potasse).

Les biodéchets (déchets solides biodégradables) des ménages représentent environ 20 millions de tonnes par an et comprennent :

- Les déchets alimentaires (7,1 millions de tonnes),
- Les papiers et les cartons (7,5 millions de tonnes),
- Les déchets verts des ménages ou déchets de jardin (5,4 millions de tonnes).

Le tableau suivant récapitule les dénominations, les caractéristiques de traitabilité et de gestion des différents déchets.

Tableau 1 : Traitabilité et gestion des différents déchets

DENOMINATION	DECHETS	TRAITABILITE	GESTION
Biodéchet	Papiers/cartons	Fermentescible	Collecte sélective* Recyclage
Biodéchet FFOM	Déchets de cuisine	Fermentescible	Collecte sélective*
Biodéchet FFOM	Déchets verts	Fermentescible	Collecté sélective*
	Boues résiduaires urbaines	Fermentescible	Filières spécifiques
	Fumiers	Fermentescible	Retour au sol
	Lisiers	Fermentescible	Retour au sol
Biodéchet	Sous produits solides des IAA	Fermentescible	Filières spécifiques recyclage
	Verre	Non fermentescible	Collecte sélective Recyclage
	Plastiques	Non fermentescible	Collecte sélective Recyclage
	Métaux	Non fermentescible	Collecte sélective Recyclage

*à la charge de la collectivité

Remarque : le verre, les plastiques et les métaux sont recyclés vers des filières spécifiques.

2.3. LES TYPES DE DECHETS COMPOSTES

A partir des déchets fermentescibles, il est possible de décrire 7 catégories qualitatives de déchets en entrée des sites de compostage (figure 1).

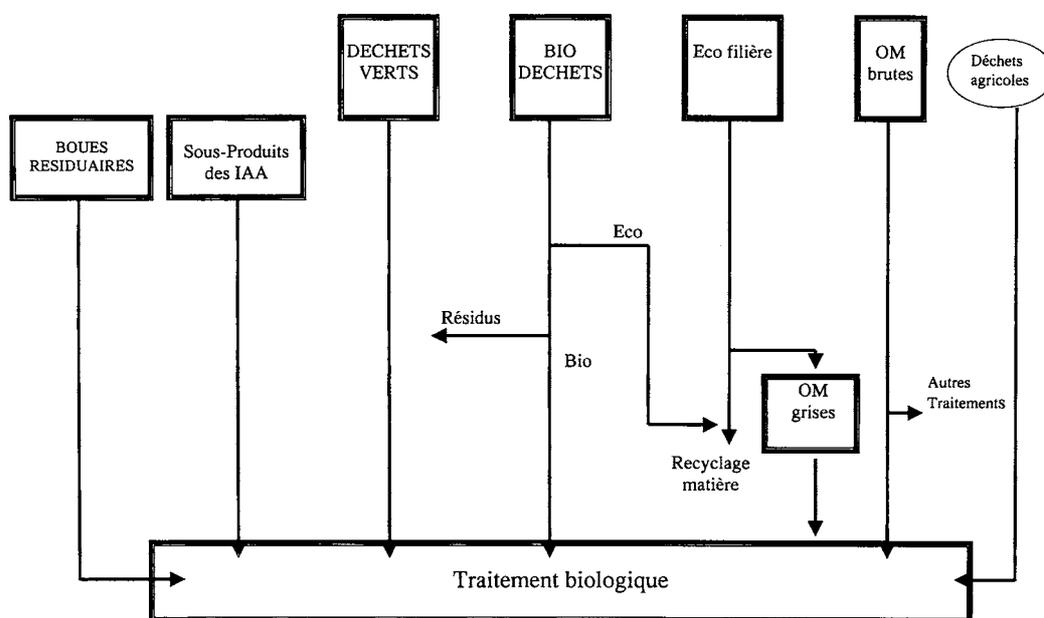


Figure 1 : Catégories de déchets compostés.

2.3.1. Les ordures ménagères brutes

L'évolution réglementaire conduira à un arrêt dans un délai assez bref au compostage des ordures ménagères brutes. La circulaire du 28 juin 2001 relative à la gestion des déchets organiques et le projet de directive européenne s'orientent d'ailleurs vers l'interdiction de ce type de compostage

En effet, le contexte actuel est tel qu'à la fois les premiers utilisateurs du produit final (agriculteurs) et l'opinion publique en général se méfient de ces amendements dérivés des déchets en terme de qualité sanitaire.

Néanmoins, l'absence de broyage en entrée des déchets, opération qui occasionne une dilution des polluants(ETM) dans la masse des déchets, ainsi que l'association de différentes techniques de tri automatisé (magnétique, densimétrique, aérolique, granulométrique) permettent d'améliorer la qualité de ce compost.

2.3.2. Les ordures ménagères grises

Il s'agit des ordures ménagères brutes auxquelles un tri à la source a permis d'enlever les emballages de grande taille faisant l'objet de contrats de recyclage Eco emballage ou autre (récipients en plastiques ou boîtes de conserve métallique).

Certains sites traitant ce type d'ordures ménagères sont capables de produire des composts de bonne qualité vis à vis de la réglementation et ce grâce à la qualité de la collecte à l'amont.

Il en est ainsi du site de Champagne sur Oise (95) dont le compost produit est considéré de « bonne qualité » par le CEMAGREF¹ (classe A avec une faible teneur en Eléments Traces Métalliques).

Les ordures ménagères grises figurent les plus gros volumes de déchets ménagers actuellement collectés. Leur compostage ne s'interrompra qu'à la parution de textes réglementaires français ou européens.

2.3.3. Les biodéchets ou fraction fermentescible des ordures ménagères

Ils correspondent à environ 50 % de la fraction fermentescible des déchets des ménages et comprennent les déchets de cuisine et les reliefs de repas.

La collecte de cette fraction étant récente, les unités de compostage traitant ce type de produit entrant sont peu nombreuses et de faible capacité.

La plupart des unités françaises de compostage traitant des biodéchets le font en mélange notamment avec des déchets verts. Certains pays européens ont développé le compostage de cette fraction depuis une dizaine d'années en raison de contraintes réglementaires nationales (coût de la mise en décharge). Les techniques de compostage ont du être adaptées à ces produits plus humides.

La collecte sélective des biodéchets au porte-à-porte ou par apport volontaire permet d'obtenir un matériau valorisable par compostage ou méthanisation. En 2000, 90 000 tonnes de biodéchets ménagers collectés sélectivement en porte à porte ont été transformées sur une trentaine de plates formes en 25 000 tonnes de compost (Source : ADEME).

D'autres biodéchets peuvent être collectés sélectivement pour fabriquer du compost. Ce sont par exemple les déchets de cantines, de restaurants, de supermarchés, ...

2.3.4. Les déchets verts

Le compostage des déchets verts s'est particulièrement développé dans les années 1990. Les unités de compostage traitant des déchets verts seuls ou en mélange constituent la majorité du parc français des unités de compostage.

¹ CEMAGREF : Centre National du Machinisme Agricole, Génie Rural, Eaux et Forêts

Les déchets verts regroupent essentiellement les déchets verts de jardin collectés en porte à port, les déchets verts collectés en déchetterie et les ramassés sur les marchés, mais excluent les déchets de balayage.

Les retraits, les écorces ou copeaux de bois, la paille ne sont généralement pas regroupés sous l'appellation de déchets verts en raison de leur composition et de leur inaptitude à être compostés seuls.

En 2000, 2 millions de tonnes de déchets verts ont été transformés en 950 000 tonnes de compost sur 300 plates-formes de compostage (Source : ADEME).

2.3.5. Les résidus de l'assainissement collectif

Les boues organiques d'épuration répondant aux critères de qualité réglementaires sont assimilables aux biodéchets et peuvent également être valorisées après compostage.

En France, le volume annuel des boues résiduaires s'élève à 8.10^5 tonnes de matières sèche (ADEME). 60 % de cette production est épandue sur les terrains agricoles, le reste étant incinéré ou mis en décharge (CSHPP¹, 1998).

La boue de station d'épuration est un substrat fermentescible, mais toujours difficile à composter en raison de son taux d'humidité élevé et de sa texture. Elle est donc généralement déshydratée de manière à atteindre un taux de matière sèche au moins égal à 15 % et compostée en mélange avec des déchets verts ou tout autre complément carboné (copeaux de paille, paille...).

D'après la FNADE entre 2 et 5 % des boues de stations d'épuration sont actuellement compostées sur environ une vingtaine d'installations françaises.

2.3.6. Les résidus des installations agricoles d'élevage

Il s'agit des lisiers, fumiers et fientes de volailles.

Les fumiers sont traditionnellement compostés avant utilisation sur les exploitations agricoles par les agriculteurs.

Les lisiers et fientes sont en général épandus directement sur les parcelles agricoles. Seuls les volumes excédentaires sont compostés. Celui ci peut être réalisé sur l'exploitation agricole mais le plus souvent sur des installations de type industriel. Quelques installations de compostage de déchets françaises traitent ces résidus en mélange avec des agents structurants (pailles, copeaux de bois, ...).

¹ CSHPP : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.

2.3.7. Les sous-produits de l'industrie agroalimentaire

Variables en fonction des activités économiques présentes à proximité d'un site de compostage, les sous-produits des IAA peuvent être de nature variée. On trouve par exemple compostés en mélange avec d'autres types de déchets : des marcs de raisin, des graisses, des pulpes, ...

Selon le projet d'arrêté type relatif aux prescriptions générales applicables aux ICPE soumises à déclaration sous la rubrique 2170, les matières admissibles en traitement par compostage sont les suivantes :

- ✓ matières organiques d'origines animales (fumiers, fientes, matières stercoraires),
- ✓ matières organiques d'origine végétale n'ayant pas subi de traitement chimique (déchets verts et ligneux, rebuts de fabrication de l'IAA végétale, paille),
- ✓ boues biologiques de STEP urbaines dont la qualité est conforme aux prescriptions de l'arrêté,
- ✓ boues biologiques de STEP industrielles provenant du secteur agro-alimentaire, de l'industrie papetière ou de l'industrie du cuir dont la qualité est conforme aux prescriptions de l'arrêté, à l'exclusion des boues issues de STEP des abattoirs ou équarrissages,
- ✓ fraction fermentescible des ordures ménagères, collectée sélectivement.

Le compostage des ordures ménagères brutes ou grises qui n'est pas mentionné dans ce projet d'arrêté sera soumis systématiquement à autorisation.

2.3.8. Evolution constatée de la nature des déchets compostés

Le compostage d'ordures ménager brutes et grises semble voué à disparaître en France du fait d'une nouvelle réglementation restrictive à ce sujet,

Les déchets compostables qui présentent le potentiel de développement le plus important dans le futur sont vraisemblablement les boues résiduaire-. Par contre, ces déchets font appel à des techniques de compostage particulières.

Ainsi, le compostage de déchets organiques d'origines diverses en mélange pourrait être une solution adaptée à une gestion globale des déchets.

2.4. LA QUALITE DES DECHETS COMPOSTES

La qualité d'un déchet en terme d'aptitude au compostage peut être évaluée par la mesure des paramètres suivants :

- la teneur en eau (pourcentage d'humidité sur le produit brut) : c'est un paramètre important pour le développement de la flore microbienne au sein du compost, mais à l'inverse, un

déchet trop humide, pâteux ou liquide, sera difficilement compostable parce que favorable à l'installation de conditions d'anaérobiose,

- le pH : il influe sur le processus de compostage également par l'intermédiaire des conditions de développement des microorganismes de la fermentation,
- la teneur en matière organique totale et le rapport Carbone sur Azote (C/N) : le déchet à composter doit comporter des éléments fertilisants de manière d'abord à justifier d'un débouché dans l'amendement agricole des sols, et également à fournir un substrat adéquat aux micro-organismes de la fermentation aérobie.

On constate que certains déchets ne sont pas aptes à être compostés seuls tel que les déchets de légumes. Par contre, les légumes sont intéressants en mélange car ils apportent de l'eau, permettant ainsi l'amorçage sans arrosage préalable du compostage d'un produit sec comme les déchets verts stockés par exemple.

Un apport en azote peut quant à lui être obtenu par ajout de fientes ou de FFOM aux déchets verts.

Le tableau 2 présente les caractéristiques de différents déchets susceptibles d'être compostés.

Tableau 2 : Qualité de divers déchets compostés par rapport à un optimum de compostage, d'après Opsomer *et al.* (1996).
Fourchette de valeurs mesurées (moyennes entre parenthèse).

	DECHETS VERTS *	FFOM *	FIENTES *	LEGUMES *	BOUES DE STEP **	OPTIMUM DE COMPOSTAGE ***
Matière organique (g/kg de poids sec)	530 – 870 (730)	510 – 890 (710)	320 – 720 (600)	210 – 770 (450)	350 – 900 (660)	> 600
C/N	12 – 57 (32)	7 - 17 (13)	5 – 8 (7)	4 – 22 (14)	10 - 30	30 – 35
PH	5,5 – 7,8 (6,3)	5,8 – 7,2 (6,6)	6,4 – 6,8 (6,6)	4 – 5,2 (4,8)	5,9 – 8,5	6 – 8
Humidité (% sur brut)	31 – 60 (50)	42 – 58 (52)	56 – 67 (63)	59 – 88 (74)	30 – 70 (52)	45 - 60

* : d'après Opsomer *et al.* (1996),

** : d'après ADEME – CEMAGREF (1999),

*** : selon Mustin (1987).

3. LES FILIERES DE COMPOSTAGE DES DECHETS

3.1. LE PRINCIPE DU COMPOSTAGE

Le compostage est un processus de décomposition et de synthèse. Celui-ci comprend la dégradation des matières organiques présentes avec une synthèse de cellules microbiennes conduisant à la production de matière organique complexe et humifiable..

Les matériaux biodégradables sont convertis en un amendement humifère stabilisé grâce au travail d'organismes biologiques en conditions contrôlées. En effet, les micro-organismes qui pré-existent dans les déchets constituent une flore complexe qui se met en activité spontanément et rapidement dès que les conditions (aération, humidité, température) le permettent.

La dégradation microbienne de la matière organique solide comprend une respiration aérobie intense (dégagement de gaz carbonique) et passe par une phase thermophile (élévation de la température des déchets à 70 °C en moyenne). Au cours du processus de compostage, l'intense multiplication des micro-organismes saprophytes et la chaleur élevée concourent à la destruction de la plupart des micro-organismes pathogènes pouvant être présents dans les produits d'origine; c'est l'« hygiénisation » du compost.

Le terme « hygiénisation » signifie ici la destruction des micro organismes pathogènes résultant de l'effet combiné des haute températures et de la compétition microbienne et non de la stérilisation ou de la pasteurisation artificielle.

Selon le CSHPF (1998), l'hygiénisation vise à réduire à des niveaux acceptables les concentrations d'agents pathogènes présents dans les boues (bactéries, virus et formes de résistance de certains parasites).

Le maintien de la température entre 60 et 70 °C pendant quelques jours suffirait pour éliminer les pathogènes et les nématodes (Lavoie et Marchand ,1997 ; Cook et Beyea, 1998).

Le projet de directive européenne relative au traitement biologique des biodéchets (version du 12 février 2001) définit le compostage comme étant une « décomposition biologique autotherme et thermophile en présence d'oxygène et dans des conditions contrôlées de

biodéchets collectés séparément, sous l'action de micro et de macro-organismes, afin de produire du compost ».

En résumé, le compostage de déchets conduit à :

- la réduction du volume brut initial,
- l'augmentation de la teneur en matière sèche,
- l'hygiénisation du produit final par la chaleur,
- l'obtention d'un résidu riche en matières humifiables, sels minéraux et micro-organismes non pathogènes.

3.1.1. Les micro-organismes de la fermentation aérobie

Les micro-organismes présents à l'origine dans les déchets et ceux susceptibles de s'y développer (bactéries dont les actinomycètes, champignons, ...) appartiennent à de nombreux genres et espèces, thermophiles ou mésophiles, aérobies ou anaérobies, spécifiques des substrats carbonés, azotés, etc., capables de décomposition comme de synthèse.

En particulier, les Actinomycètes sont des bactéries dont la croissance donne lieu à des colonies constituées d'hyphes, c'est-à-dire de filaments qui irradient par croissance centrifuge tout autour du germe qui leur a donné naissance.

Les Actinomycètes sont les plus prolifiques de tous les micro-organismes en tant que producteurs d'antibiotiques, et les enzymes sont, après les antibiotiques, les plus importants produits de ces bactéries. Ainsi, les glycosidases des Actinomycètes jouent un rôle important dans la dégradation des biomasses végétales (amylases, xylanases) et animales (chitinases).

Enfin, beaucoup des Actinomycètes producteurs d'antibiotiques élaborent non seulement les enzymes nécessaires à leur formation, mais aussi des enzymes inactivant les antibiotiques pour se protéger de leur action toxique.

Enfin, les champignons microscopiques ne résistent généralement pas à des températures supérieures à 50 °C si bien qu'on les retrouve plus particulièrement en périphérie du compost.

Tous ces micro-organismes concourent à la synthèse de substances humiques en préparant les molécules de base, phénols et acides aminés qui vont s'associer et se polymériser en acides humiques.

3.1.2. Conditions optimales du compostage

L'aération est la base du processus de compostage (fermentation aérobie). Toutefois les conditions optimales nécessitent des produits possédant une humidité compatible, une granulométrie adaptée conduisant à une structuration de la masse des déchets à composter et une fermentescibilité. L'oxygénation de l'andain peut être obtenue naturellement à la faveur de son retournement ou forcée. L'air peut être insufflé ou aspiré. La conduite du process sous hall ou en cellule permet le captage et le traitement des gaz émis. Par ailleurs, le maintien de bonnes conditions d'aération du compost permet d'éviter les phénomènes de fermentation anaérobie avec production de composés malodorants.

3.1.3. Influence de la température

Au début du compostage, seuls les micro-organismes (bactéries et champignons) sont actifs. Cette phase, pendant laquelle beaucoup d'oxygène est consommé et pendant laquelle la température monte est appelée phase de décomposition. Elle comprend les phases mésophile, thermophile et phase de refroidissement) (Figure 2).

La première phase, mésophile, correspond à la montée en température du compost résultante de l'activité microbienne. L'énergie présente dans les combinaisons organiques est en effet transformée en chaleur.

La seconde phase thermophile démarre pour des températures supérieures à 35 °C jusqu'à l'obtention de la température maximale de compostage. La température au cœur d'un tas de compost peut atteindre 50 à 60 °C, et même parfois 80 à 90 °C dans des tas de plusieurs dizaines de m³ et selon le type de substrat carboné. Au cours de cette phase, il est admis que les germes pathogènes présents à l'origine et les graines adventices éventuellement présentes dans les déchets de jardin sont neutralisés.

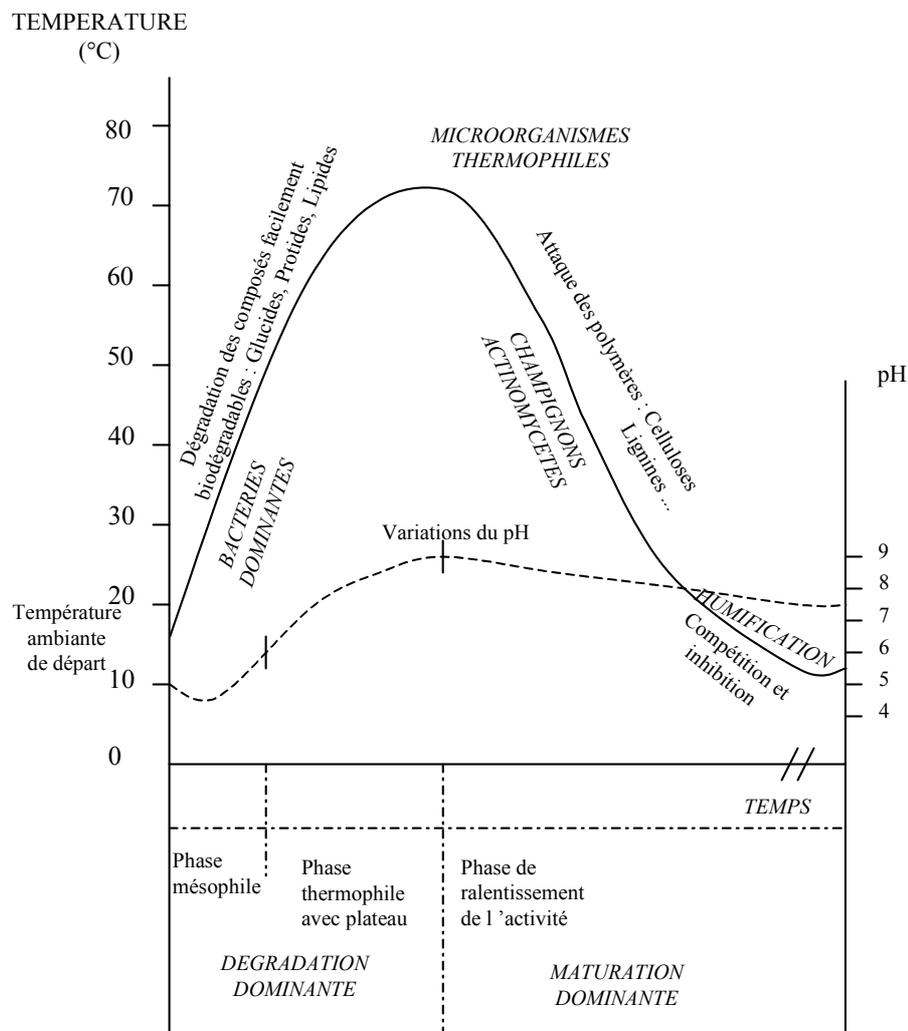


Figure 2 : Evolution de la température lors du processus de compostage des déchets (d'après Mustin, 1987).

Enfin, la température du compost redescend progressivement (phase de refroidissement) et les champignons peuvent recoloniser la matière.

En dessous de 30 °C, l'activité des micro-organismes est complétée par celle des organismes de plus grande taille : vers de compost, acariens, collemboles, cloportes, coléoptères, mille-pattes, etc. (macro-organismes vivant dans la litière du sol de la forêt, entre les feuilles, sous les branches vermoulues, ...). Cette phase correspond à la phase de maturation du compost.

Alors que les micro-organismes poursuivent la transformation des déchets grâce à leur enzymes notamment, les macro-organismes décomposent la matière à l'aide de leur appareil digestif. Le matériau est réduit en fines particules qui sont digérées et excrétées pour poursuivre leur décomposition grâce à l'action de micro-organismes spécifiques. L'activité de la macro-faune contribue aussi à homogénéiser le produit.

3.1.4. Maturation du compost

Dans cette présente étude sur le compostage des déchets, les termes « maturation » et « stabilisation » ont la même signification. Il n'existe pas de définition standardisée précise de ces notions.

On peut vraisemblablement considérer que le compost a atteint sa phase de maturité lorsque :

- il ne s'échauffe plus lors du retournement,
- il ne repart pas en anaérobiose au cours du stockage,
- il n'immobilise pas d'azote lorsqu'il est incorporé dans un sol,
- il n'est pas phytotoxique.

Plusieurs tests physico-chimiques ou bio-physiques permettent d'évaluer cette maturité. Parmi ces derniers, on peut citer :

- ✓ le rapport C/N qui doit être inférieur à 19 pour un compost mature,
- ✓ l'auto-échauffement qui ne doit pas dépasser 30 °C,
- ✓ le dosage de l'ammoniac et des nitrates,
- ✓ le dosage de l'ATP,
- ✓ l'absence de sulfure,
- ✓ la disparition de certains COV (composés organiques volatils) tels que l'acide acétique et l'acide butyrique,
- ✓ la mesure de la respiration (dosage de l'oxygène consommé ou du gaz carbonique dégagé par l'activité microbienne) ; la mesure de la consommation d'oxygène du compost présente l'avantage d'utiliser un matériel simple et peu coûteux tout en donnant des résultats précis.

La durée de maturation d'un compost dépend à la fois des déchets entrants et du process de compostage envisagé.

3.2. LES DIFFERENTES ETAPES DU COMPOSTAGE

Le schéma type du compostage des déchets est le suivant :

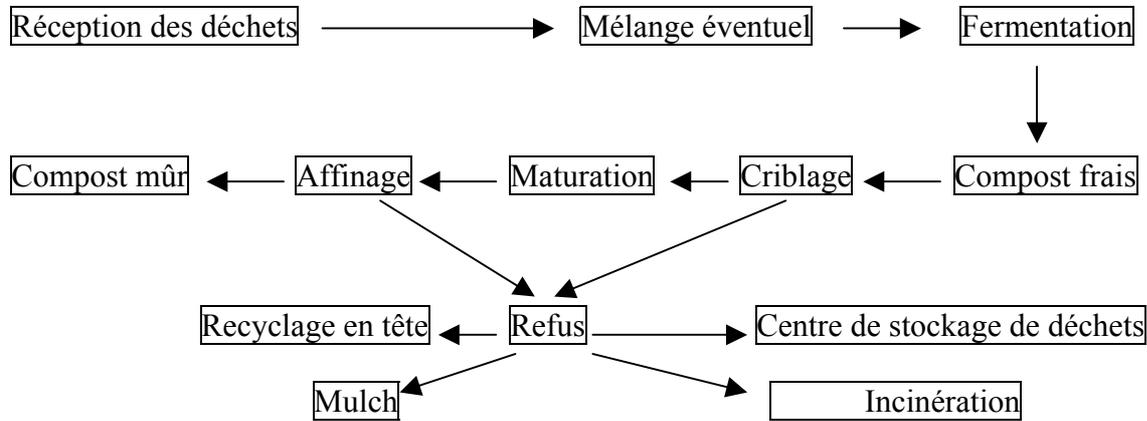


Figure 3: Schéma type du compostage des déchets.

Remarque : les refus de compostage sont des déchets relativement inertes et peuvent être éliminés en centre de stockage de classe 2.

Le schéma s'applique à tous les types de déchets actuellement compostés seuls ou en mélange à quelques différences près :

- les déchets verts doivent être broyés avant la phase de fermentation,
- un crible d'affinage doit être réalisé en fin de maturation (déchets verts, OM)...

3.3 LES TECHNIQUES DE COMPOSTAGE DES DECHETS

Le compostage des déchets ménagers est pratiqué depuis 25 ans. Le process comportait en général un broyage préalable au compostage. Depuis une quinzaine d'années de nouveaux déchets font l'objet d'un compostage, tout d'abord les boues puis les déchets verts et maintenant les biodéchets. Les techniques de compostage ont évolué car les gisements se sont modifiés et parce que les process à mettre en œuvre le sont au regard d'objectifs de débouchés et de la qualité des produits. Par ailleurs, la volonté de réduction des inconvénients engendrés (maîtrise des odeurs, contrainte de place, rapidité du process) est également à l'origine de l'évolution des techniques.

Il faut noter que certaines collectivités s'orientent vers des plates-formes de compostage multi-déchets qui ne traitent plus uniquement des déchets verts mais également les biodéchets, les boues d'épuration, des sous-produits de l'industrie agro-alimentaire...

Pour le processus de fermentation aérobie en lui-même, il existe plusieurs techniques de compostage que l'on peut classer en 3 catégories principales :

- le compostage en andains à l'aire libre ou sous hall, avec une aération naturelle ou forcée,
 - le compostage en silo ou en box. Ces derniers peuvent être ouverts ou couverts,
 - le compostage en tunnel ou en containers.
- Remarque : un pré-traitement en biostabilisateur peut précéder l'étape de fermentation aérobie dans le cas des déchets ménagers.

Une technique de lombricompostage a également été développée localement pour une phase d'affinage des composts. La seule implantation française située à LA VOULTE en Ardèche a fermé en raison de l'insalubrité du site (une mauvaise gestion des installations a conduit à la prolifération d'animaux nuisibles et pour un compost produit de qualité insatisfaisante ...). Cette technique qui semble donc peu efficace présente des difficultés de mise en œuvre et suppose un suivi très régulier des conditions de digestion et de maturation du compost. Le lombricompostage n'est pas non plus une technique très répandue à l'étranger mais peut faire l'objet de publications techniques ponctuelles.

3.3.1 Prétraitement en biostabilisateur

Le procédé BRS (Biostabilisateur Rotatif SOGEA ou Bio Revolving System) développé par SOGEA et commercialisé par VINCI Environnement fait partie des premières évolutions techniques de l'andainage. Ce procédé est constitué de cylindres horizontaux rotatifs qui tournent en permanence et dans lesquels les ordures ménagères sont aérées et humidifiées constamment. La température au sein du cylindre s'élève à 60 °C.

Compte tenu de la courte durée de séjour des déchets au sein d'un BRS (2 à 4 jours), cette technique ne permet pas une fermentation complète des matières à composter. Ce procédé de BRS est souvent utilisé en tête de l'unité de compostage de déchets ménagers pour amorcer la fermentation qui se poursuivra ensuite en andains classique. Ce procédé permet en outre de bien homogénéiser les déchets entrants et de lancer la fermentation.

En sortie de BRS, les indésirables (métaux, plastiques) peuvent être enlevés par trommels, overbands, cribles à rebonds et un criblage (granulométrique, densimétrique, aéroloïque et magnétique) peut être effectué.

➤ **Exemples de procédés BRS**

SAINT-MALO et LAUNAY-LANTIC : le compostage concerne les ordures ménagères grises. Il s'agit de la première génération d'usines de compostage. Celle-ci comprend un BRS, un crible à rebond, une soufflerie et un broyeur d'affinage.

LE CREUSOT-MONTCEAU (2^{ème} génération) : le BRS est utilisé pour le pré-compostage des déchets ménagers bruts en mélange avec des déchets divers issus de la collecte sélective (autres que fermentescibles, emballages, papiers/cartons). Ces déchets séjournent 3 jours dans le cylindre rotatif de 40 m de long et 4 m de diamètre dans lequel de l'air ou de l'eau sont injectés. La fraction compostable triée mécaniquement (enlèvement de l'acier, de l'aluminium) est disposée en andains statiques pour une maturation de 4 mois (Mariet, 1996 ; Panay et Gourtoebe, 2000). L'air extrait est désodorisé par passage sur tourbe.

CHAMPAGNE SUR OISE (95) : le site est doté de deux BRS de 33 et 24 mètres de long où les déchets séjournent 3 jours. Les déchets après criblage (trommel) sont admis dans un système de fermentation et de maturation composés de silos aérés équipés du système de retourneur automatique et piloté SILODA.

3.3.2 Compostage en andains retournés et aération naturelle

Les andains sont des tas allongés disposés sur une aire bétonnée ou asphaltée et qui devrait être dans tous les cas, étanche avec récupération des jus de traitement.

Le retournement des andains se fait de façon régulière pour assurer l'aération de la matière, et peut être réalisé suivant diverses techniques, au chargeur sur pneus, à la fraise retourneur ou au retourneur enjambeur

Le compostage est lent et cette technique suppose des surfaces au sol importantes.

Le procédé traditionnel des andains a été rationalisé par l'ADEME qui a mis au point une technique de référence : le procédé VEGETERRE. Les déchets intrants sont broyés et le compostage se fait sur aire extérieure imperméabilisée.

Essentiellement utilisé pour le compostage de déchets verts, le procédé VEGETERRE peut convenir également pour un mélange de déchets verts (70 %) et de déchets ménagers fermentescibles (déchets de jardin essentiellement et déchets de cuisine) (30 %) (Resse et Rivière, 1996). La ville de NIORT, entre autres, utilise ce procédé.

Un retournement hebdomadaire des andains est alors réalisé les six premières semaines, puis un retournement à la huitième et à la dixième semaine. Par ailleurs et pour le maintien de l'activité biologique, un arrosage hebdomadaire est réalisé les trois premières semaines afin de maintenir un taux d'humidité du compost supérieur à 50 %. Le compostage dure de 10 à 16 semaines selon la nature des intrants.

La ventilation naturelle est inadaptée au traitement des déchets plus humides que sont les boues d'épuration et les déchets de cuisine purs.

Les unités de tri-compostage traitant de gros tonnages d'ordures ménagères ont généralement introduit l'automatisation notamment pour le retournement (enjambeurs, godet, roue frontale dans les silos de fermentation,...).

3.3.3 Compostage avec aération forcée

3.3.3.1 Compostage en andains statiques avec aération forcée

La ventilation forcée de la matière à composter présente l'avantage d'accélérer le processus de compostage et de limiter les retournements. A l'air libre ou sous bâtiment, cette technique permet donc également de limiter la dispersion atmosphérique de composés et de réduire le

problème du stockage des matières compostées (gain de place au niveau des aires de retournement, ...).

En plus de la préparation mécanique des déchets (tri, mélange, broyage ou criblage), l'aération forcée à ciel ouvert est assurée par un réseau de drains sous les matières à traiter qui aspirent ou insufflent de l'air.

Ce procédé est adapté aux déchets présentant un fort taux d'humidité comme les boues ou les déchets de cuisine puisque la phase thermophile est atteinte très rapidement même pour ce type d'intrant.

Au cours de la phase thermophile, odorante, l'air des andains peut être aspiré (même à ciel ouvert), et les odeurs neutralisées par passage à travers des biofiltres ou à travers un tas de compost mature.

Cette technique nécessite un contrôle précis des paramètres de fermentation (température, aération, humidité) par des mesures soit à la sortie du flux d'air, soit à l'intérieur de la matière. Ce process serait le plus rapide, les nuisances olfactives sont quasi inexistantes, et il présente également un gain de place et moins de manutention puisqu'il n'y a pas de retournement. Il garantit l'hygiénisation du produit et permet une traçabilité des lots individuels de matières.

Cette technique peut s'appliquer à des andains classiques sur aire drainée ou à des tas de compost disposés dans des cellules, tunnels ou casiers spécifiques recevant chacun un tas de produits.

La société AGRO DEVELOPPEMENT propose un process en casiers avec aération à l'aide de tuyaux disposés sur le sol qui est adapté à des capacités de 5 000 à 15 000 tonnes/an et un procédé ABS en couloir pour des capacités de 25 000 à 30 000 tonnes. La société SEDE Environnement a également développé une technique de ce genre pour le compostage de boues associées à des déchets verts ou des écorces.

Sur ce principe, la société DEGREMONT a développé le « thermocompostage » : fermentation d'un mélange de boues et de support carboné en réacteur, sans apport d'eau autre que celle présente initialement dans les déchets.

La société LURGI propose également des bioréacteurs qui peuvent être empilés (gain de place) avec désodorisation biologique de l'air et un système de régulation par ordinateur pour la climatisation et l'aération.

La société NEXUS (aujourd'hui disparue) a développé une technique en enceinte fermée climatisée et ventilée dénommée procédé BIOSEC. Différents types de déchets peuvent être traités en mélange (boues, déchets verts, bio déchets, déjections animales, sous-produits de l'industrie agro-alimentaire) et la fermentation dure 3 semaines. Les effluents gazeux sont traités en tour de lavage et biofiltres.

Enfin, un autre procédé d'aération existe (commercialisé par la société HANTSCH notamment) pour des andains statiques sous bâche en toile Gore-tex (matériau perméable à l'air mais non à l'eau). Cette technique permet à la fois d'aérer le compost par insufflation d'air à la base des andains, d'éviter le lessivage du tas par les eaux de pluie, et de réduire les nuisances olfactives par récupération des eaux de condensation (gaz de process liquifié) qui ruissellent le long de la

bâche et qui contiennent les molécules à l'origine des mauvaises odeurs. L'andain lui-même se comporte comme un bio filtre. Ce procédé convient aux déchets verts, aux biodéchets et aux mélanges avec des boues.

➤ *Exemples en andains sur aire*

La coopérative agricole VIVADOUR exploite actuellement dans le GERS une plate-forme de compostage de boues de station d'épuration en mélange avec des sous-produits de l'industrie agro-alimentaire et des déchets végétaux. Le procédé consiste en 6 semaines de compostage du mélange en andains classiques, puis deux semaines en insufflation d'air. La maturation dure 2 mois avant criblage et utilisation en plan d'épandage. La coopérative a produit ainsi 3 000 tonnes de compost lors de sa première année de fonctionnement.

L'unité de compostage de GRAINCOURT (62) traite les boues d'épuration et les déchets verts. La fermentation en andains dure de 6 à 8 semaines sur une dalle extérieure équipée de drains de ventilation pour une phase d'aspiration puis d'insufflation d'air. L'air des andains frais est envoyé vers des andains matures qui servent de biofiltres. La maturation dure 4 à 6 semaines, et les 30 000 tonnes de compost produit en 2001 font l'objet d'un plan d'épandage en grande culture (betterave).

➤ *Exemples en casiers ou cellules aérées*

L'unité de compostage de SAINT-CYPRIEN (66) (traitement de boues d'épuration en mélange avec des déchets verts) est constituée de 9 cellules qui accueillent chacune un andain de 240 m³ sur trois drains de ventilation. Le volume d'air injecté ou aspiré est fonction de la température mesurée des andains. Pendant la phase thermophile, l'air des andains est aspiré puis refoulé sur un andain de compost mature qui assure la bio-désodorisation (Nedey, 1999),

➤ *Exemple de procédé Biosec*

La plate-forme de LAON (02) traite des biodéchets (déchets de cuisine, papiers et cartons souillés, petits déchets verts de jardin) en mélange à des déchets verts en provenance de déchetterie.

D'une capacité de 12 000 tonnes, la production prévisionnelle annuelle de compost est de 3 300 tonnes. La fermentation dure 1 mois dans un casier de 120 m³ et se divise en 2 cycles de 15 jours entre lesquels les produits sont réhumidifiés.

L'air est aspiré à travers la masse par des canalisations insérées dans le sol et envoyé vers deux biofiltres. La phase de maturation a lieu sous auvent : l'air n'est plus aspiré mais soufflé. Le process total dure 2 à 3 mois au maximum (Nedey, 2000).

3.3.3.2 Compostage avec retournement et aération forcée

Le retournement effectué en parallèle d'une aération forcée permet une meilleure homogénéité du compost.

L'unité de CHARENTILLY (37) effectue le compostage de déchets verts en andains à l'air libre avec aération forcée. La durée de compostage est de 4 mois contre 6 normalement pour ce type d'intrant. Les quantités produites sont de 2 200 à 2 500 t/an.

La filière de compostage des biodéchets de la communauté urbaine de CREUSOT-MONTCEAU fait appel au procédé Krüger. Le compostage s'effectue dans une enceinte fermée ventilée par le sol. Le cycle de compostage dure de 30 à 40 jours (compostage accéléré). La matière organique est brassée et déplacée dans l'enceinte au moyen de vis sans fin sur chariot installé sur pont roulant. Un crible d'affinage permet la séparation des refus (10 % des entrants) du compost (granulométrie 10 mm). La ventilation, l'arrosage éventuel et la vitesse de déplacement des engins de brassage sont régulés en fonction de mesure de température et d'hygrométrie de la biomasse. Si le taux d'humidité de la FFOM en entrée est très élevé, des matériaux structurants sont incorporés en mélange (refus de criblage du compost de déchets verts, bois de palette broyé).

Le procédé ABS installé sur le site de CASTELNAUDARY (11) associe de longues périodes de compostage statique avec ventilation forcée et de courtes périodes de retournement rapide et de déplacement des déchets mélangés au sein d'un couloir de fermentation. Il s'agit d'un compostage d'agents structurants en mélange avec des boues de station d'épuration urbaine, du lisier de porc, ou des biodéchets réalisé selon un couloir de fermentation spécifique à chaque type d'intrant. Un lot de mélange de 120 m³ est déposé dans un couloir de fermentation ventilé durant une première semaine de compostage accéléré. Le lot est ensuite déplacé vers l'unité de ventilation suivante (Martel, 2000). Après 3 semaines ou plus, de fermentation accélérée, les produits sont séchés et criblés. Les refus de criblage sont réutilisés comme agents structurants. La phase de maturation du compost fin dure au moins 6 semaines.

Enfin, le site de L'ISLE-ADAM (95) (compostage des ordures ménagères grises) produit 15 000 t/an de compost et associe un BRS et un hall de fermentation SILODA abritant 6 silos juxtaposés. Une roue pelleteuse retourne la matière qui passe successivement dans chacun des silos. Par ailleurs, une ventilation artificielle est assurée dans les silos.

Le cycle de fermentation dure 28 jours. Le passage du compost produit sur une table densimétrique inclinée avec aspiration avant stockage permet de séparer les particules lourdes et les plastiques du compost final. La maturation en andains dure de 2 à 3 mois.

Le tableau 3 présente des exemples d'exploitations de plates-formes de compostage françaises avec différents procédés de traitement des déchets entrants.

3.3.4 Evolution prévisible des filières de compostage

Si on considère que de plus en plus de déchets organiques relativement chargés en eau seront amenés à être compostés, on peut penser que les filières de traitement biologiques vouées à se développer seront celles qui mettent en jeu une aération forcée. Ces méthodes présentent par ailleurs plusieurs avantages : accélération du processus de fermentation, réduction des émissions odorantes, gain de place et diminution de la manutention (retournements moins fréquents ou inexistant).

Cependant, de tels équipements d'aération contrôlée sont onéreux et ne vont vraisemblablement pas devenir rapidement une pratique usuelle en France.

Néanmoins, en regard de la récente réglementation, le traitement des gaz de process, les techniques de confinement des phases odorantes du compostage (tunnel, silos, réacteurs), ainsi

Tableau 3 : Filières de compostage et déchets traités en France - Liste non exhaustive de plates-formes française de compostage des déchets.

COMPOSTAGE	DECHETS TRAITES	EXEMPLES
sans confinement	OM brutes	SAINT-MALO, LAUNAY-LANTIC: cylindre rotatif, tri mécanique de la fraction compostable, andains pour maturation
	OM brutes + autres déchets issus de la collecte sélective (ni fermentescibles, ni emballages plastiques, ni papier)	CREUSOT-MONTCEAU (Mariet, 1996) : Cylindre rotatif avec 3 jour de séjour, injection air et eau, tri mécanique de la fraction compostable, andains pour maturation (4 mois)
	Déchets verts (70 %) et FFOM (30 %)	Procédé VEGETERRE (Resse et Rivière, 1996) : Ville de NIORT, arrosage, 16 semaines de compostage, maturation, criblage
	Déchets verts	CREUSOT-MONTCEAU (Panay et Gourtope, 2000) : Broyage, maturation : 6 mois après broyage, criblage
	Boues urbaines + déchets végétaux + sous-produits de l'industrie agro-alimentaire	Coopérative agricole VIVADOUR (Nedey, 2000) : 6 semaines en andains, 2 semaines en insufflation, 2 mois de maturation, désodorisation (compost mûr), criblage, plan d'épandage
	Boues urbaines + déchets verts	GRAINCOURT (62) (Nedey, 2000) : Fermentation de 6 à 8 semaines en andains, aspiration puis insufflation, désodorisation (compost mûr), maturation 4 à 6 semaines, plan d'épandage
	Déchets verts	Site de CHARENTILLY (37) : Broyage, 4 mois de compostage au lieu de 6 en andains, criblage
en cellules	OM grises	Champagne sur Oise (95) (Nedey, 2000) : 2 cylindres rotatifs, 3 jours de séjour, silos de fermentation (Siloda) cycle de 28 j, tri mécanique, andains pour maturation (2 à 3 mois)
	OM grises + biodéchets	MURIANETTE (Isère) (Mays, 2000) : Tri, andains, Siloda 10 j de fermentation, broyage, tri, Siloda 10 j maturation, stockage compost sous abri.
	Boues urbaines + déchets verts	SAINT-CYPRIEN (66) (Nedey, 1999) : 9 cellules de 240 m ³ , insufflation et aspiration, désodorisation (compost mûr)
	Biodéchets + déchets verts	LAON (02) (Nedey, 2000) : Procédé Biosec : casiers de 120 m ³ , fermentation 1 mois, air aspiré traité par 2 biofiltres, maturation avec air soufflé, process total : 2 à 3 mois maximum
en enceinte confinée	FFOM seule ou + refus de criblage de déchets verts ou copeaux de bois	CREUSOT-MONTCEAU (Panay et Gourtope, 2000) : Enceinte fermée ventilée, retournement automatique, compostage 30 à 40 jours, Criblage
	Boues urbaines + agents structurants ou lisier de porc + agents structurants ou FFOM + agents structurants	Site de CASTELNAUDARY (Martel, 2000) : couloirs de fermentation, compostage accéléré (3 sem.), séchage, criblage, maturation 6 semaines

que l'aspiration de l'air plutôt que son insufflation dans les andains sont des procédés amenés à se développer dans le cadre de la limitation des émissions odorantes.

3.4 LE PARC DES UNITES DE COMPOSTAGE EN FRANCE

Depuis 1993, le parc français des unités de compostage ne cesse de grandir avec en parallèle une augmentation du nombre des unités de tri des ordures ménagères (Tableau 4).

En 1998, un inventaire de l'ADEME recensait :

- 175 plates-formes de compostage pour déchets verts uniquement (871 944 tonnes/an soit 5 016 135 m³/an de déchets verts traités pour une production de compost de 413 812 tonnes/an soit 696 671 m³/an),
- 86 plates-formes de compostage de déchets verts en mélange avec d'autres déchets (OM, biodéchets, boues urbaines, ...).

18 % des déchets verts des villes de France sont traités par compostage. Le reste est pour l'essentiel incinéré.

Tableau 4 : Evolution du traitement biologique des déchets et du tri des ordures ménagères depuis 1993 (données ADEME).

	TRI OM		Compostage tous produits	
	Parc	Quantités (tonnes)	Parc	Quantités traitées (tonnes)
1993	2	21 233	74	1 618 508
1995	13	55 148	114	1 908 257
1996	32	257 678	122	2 078 090
1997	62	449 731	181	2 217 412
1998	77	562 832	230	2 473 845

Selon l'ADEME toujours, il existe fin 2000 environ :

- 300 plate-formes traitant des DV, le plus souvent seuls,
- 30 plate-formes traitant des biodéchets dont 20 % de type industriel,
- 15 plate-formes traitant des boues,
- 70 plate-formes de tri compostage des OM dont l'avenir dépend de leur capacité à évoluer vers un compostage de biodéchets collectés sélectivement,
- 2 unités de méthanisation compostage.

Une plate-forme de compostage peut parfois être installée en annexe d'une autre unité de traitement des déchets tels que déchetterie, centre de tri, unité d'incinération, centre de stockage, pour faciliter à la fois le mélange des intrants de compostage, le tri à l'entrée des plates-formes et éventuellement le recyclage des refus de compostage.

3.5 LES DECHETS ISSUS DU TRAITEMENT PAR COMPOSTAGE

3.5.1 *Les refus de compostage*

Dans le cas des installations de tri compostage les refus comprennent les refus lourds de tri-criblage en tête d'unité (emballages, pièces métalliques, verre), et d'autre part des refus légers de criblage-affinage (fragments de verre, métal et plastiques essentiellement) avant la phase de maturation (stockage) du compost. Ces refus sont soit valorisés thermiquement soit stockés (classe 2).

Sur les installations traitant d'autres types de déchets, les refus sont en général réintroduits dans le process de compostage en tant qu'agents structurants.

3.5.2 *Les déchets liquides*

3.5.2.1 Nature

- **Les eaux de percolation :**

Elles proviennent des aires de fermentation, de maturation et de stockage des composts. Les éventuelles eaux destinées à l'humidification des matières à composter entrent également dans la composition de ces sous-produits liquides. Les volumes d'eaux de percolation sont rarement quantifiés sur les sites de compostage. Il faut rappeler que la gestion correcte des process passe par une minimisation des volumes d'eau utilisés ce qui évite par ailleurs la mise en œuvre de traitements lourds.

Il importe toutefois de séparer les différents types d'eau qui présentent des caractéristiques physico-chimiques variées et dont le traitement est indispensable avant rejet au milieu naturel. Celui-ci est souvent réalisé par des systèmes de lagunes avant rejet au milieu naturel. Il peut s'agir de lagunage naturel ou aéré.

- **Les eaux condensées ou condensats :**

La technique de ventilation forcée utilisée dans les unités de compostage des déchets organiques ménagers et des boues urbaines peut donner lieu à la récupération de condensats de gaz de process qui constituent également des sous-produits liquides du compostage (les condensats récupérés sous bâche de gore-tex sont traités par la même filière d'élimination). Ces condensats sont plus fortement chargés en matière organique (COT, DCO, DBO, ...) et en ammoniac que les simples eaux de percolation (NH_3 présent dans les gaz de process va charger les condensats en pollution azotée), mais représentent de plus faibles quantités (quelques litres ou quelques dizaines de litres par tonne de boue traitée).

Ces condensats sont collectés par des caniveaux et séparés du circuit gaz par des boîtes de condensation. Ils sont ensuite orientés vers des cuves de stockage pour être :

- soit recyclés sur les tas en compostage de biodéchets ou de déchets verts qui nécessitent un apport d'eau en cours de process,
- soit traités en station d'épuration (cas des boues).

3.5.2.2 Valeurs réglementaire de rejet

Les effluents recueillis doivent être de préférence récupérés et recyclés dans l'installation pour l'arrosage ou l'humidification des andains si nécessaire, ou traités avant rejet pour respecter les valeurs limites d'émission prévues par l'arrêté, épandus ou éliminés comme déchets.

Il faut souligner que tous les processus de compostage n'induisent pas la même production de sous-produits liquides. Ainsi, la base d'une pile de compost en aération forcée par plancher drainant peut très bien être sèche et ne pas générer de lixiviat (eaux de percolation) (Krogman et Woyczehowski, 2000).

Les valeurs limites réglementaires de rejet au milieu naturel ou vers une STEP sont indiquées dans l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux émissions de toutes nature des ICPE soumises à autorisation et dans l'arrêté du 7 janvier 2002 relatif aux ICPE soumises à déclaration sous la rubrique n° 2170.

Elles seront précisées dans l'arrêté d'exploitation du site.

Le tableau suivant résume ces valeurs limites :

Tableau 5 : Valeurs limites de rejet des déchets liquides.

	ARRETE DU 7/1/2001	
	Rejet au milieu naturel	Rejet dans un réseau d'assainissement (STEP)
pH	5,5 – 8,5	
Température	<30 °C	
MES (mg/l)	< 100	< 600
DCO (mg/l)	< 300	< 2 000
DBO₅ (mg/l)	< 100	< 800
N-NGL (mg/l)	< 30	< 150
P-Pt (mg/l)	< 10	< 50

* : en fonction de l'importance du flux émis

** : en fonction de l'importance du flux émis et de l'appartenance à une zone sensible.

3.5.2.3 Imperméabilisation des aires de stockage

La réglementation française n'impose pas explicitement la création d'aire imperméabilisée spécifique aux installations de compostage. Cependant, malgré tout le professionnalisme des exploitants, la pose d'une membrane en polyane sous le revêtement de bitume est fréquente afin d'éviter tout impact sur le milieu.

La réglementation au titre des ICPE préconisant la limitation des rejets et le respect de l'environnement et de la salubrité publique, les installations de compostage des déchets sont pour la plupart équipées d'aire bétonnée, ou d'enrobé imperméabilisant, et les eaux de toutes natures présentes sur le site sont récupérées et traitées avant rejet au milieu naturel.

Le projet d'arrêté type concernant les ICPE soumises à déclaration sous la rubrique 2170 impose des dispositifs de rétention des aires et locaux de travail. Ainsi, à l'exception des aires de stockage des composts, les aires ou installations de :

- ✓ réception, tri, contrôle des produits entrants,
- ✓ stockage des matières premières (adaptées à la nature de ces matières),
- ✓ préparation des déchets entrants le cas échéant,
- ✓ de compostage,
- ✓ d'affinage, criblage, formulation le cas échéant,

doivent être étanches, incombustibles et équipés de façon à pouvoir recueillir les eaux de ruissellement ayant transité sur ces zones et les éventuelles eaux de process.

Cette étude s'intéressera à la présence éventuelle de composés dangereux dans les eaux de percolation et de process des unités de compostage de manière à couvrir complètement les scénarii d'exposition possible des populations riveraines.

3.5.3 Emissions gazeuses

Le volume émis dépend des techniques de process (aération forcée ou non par exemple). Hormis sur les unités où le confinement est complet le volume de ces émissions n'est pas connu.

Le gaz émis est saturé en eau, il est issu de la fermentation aérobie et se compose essentiellement de CO₂ (50 % du carbone organique des déchets est transformé en CO₂), NH₄, composés soufrés en faible proportion (H₂S et mercaptans), acides volatils, composés aldéhydiques et cétoniques en forte proportion.

4. LA QUALITE DES COMPOSTS

4.1 MOYENS D'EVALUATION DE LA QUALITE DES COMPOSTS

4.1.1 La qualité d'un compost

Les composts issus de déchets (déchets verts ou ménagers) ont souvent pour débouchés la valorisation agricole en raison de leur teneur en matière organique et en matières fertilisantes (N, P, K).

La qualité d'un compost utilisé en tant qu'amendement organique peut donc être évaluée par ses propriétés physico-chimiques et agronomiques et par son innocuité pour l'environnement (phytotoxicité).

Les composts issus de déchets ménagers ou verts peuvent être commercialisés sans procédures particulières à condition de respecter la norme NF U 44 051.

Tout compost comportant une part de boues fera l'objet d'un plan d'épandage avant valorisation. Le producteur pourra éventuellement demander, auprès du Ministère de l'agriculture, une homologation de son compost pour une mise sur le marché de son produit. Avant d'obtenir l'homologation de son compost, il se verra remettre une autorisation provisoire de vente (APV).

Une norme (44 095) est en phase finale de validation. Celle-ci permettra la commercialisation sans homologation.

Les caractéristiques d'un compost sont définies par des commissions d'experts au sein du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche chargées d'examiner l'inocuité du compost ainsi que sa conformité vis-à-vis des règles générales relatives à l'homologation et l'efficacité du produit. Dans la pratique, le recours à l'homologation est rare. La majorité des matières fertilisantes mises sur le marché sont soit conformes aux engrais CE, soit conformes à une norme rendue d'application obligatoire (NF U 44-051), et sont donc dispensés d'homologation.

Enfin, dans de nombreux cas, les composts sont commercialisés à un coût inférieur à celui du transport et à l'épandage.

Dans le contexte actuel de méfiance vis-à-vis de la qualité du compost et de son innocuité lors de son utilisation, le développement de l'industrie du compost pourra difficilement se poursuivre sans intégrer une approche sanitaire.

Ainsi, la nécessité d'établir des standards de qualité spécifiques aux composts urbains émerge lentement depuis une dizaine d'années.

4.1.2 Absence de textes réglementaires français

Une circulaire française portant sur la gestion des déchets organiques a récemment été publiée (28 juin 2001).

S'inscrivant dans la politique européenne peu favorable au compostage d'ordures ménagères brutes ou résiduelles, elle s'oriente vers une interdiction de l'épandage agricole de composts qui ne soient pas issus de déchets collectés sélectivement.

Ce texte est sujet à controverse pour certains exploitants et organismes spécialisés dans le traitement des déchets qui considèrent que la qualité du compost produit ne dépend pas forcément des déchets intrants mais aussi du type de process.

Les professionnels qui ne sont pas opposés à cette évolution soulignent que la qualité du compost produit doit être prise en compte prioritairement.

Ainsi, alors que l'ADEME et le Ministère de l'Environnement recommandent à court terme l'arrêt du compostage sur ordures résiduelles au profit de celui des biodéchets, un article souligne que composter des biodéchets ne garantit pas l'obtention d'un produit de bonne qualité en termes d'aspect, de valeur agronomique, d'absence d'odeur et d'innocuité (Renaudat, 2001). La définition de critères de qualité du compost en fonction de son usage est donc attendue, mais pas l'interdiction d'une méthode de compostage au profit d'une autre (Nedey, 2000 bis).

Il serait souhaitable que des textes définissent les traitements biologiques et le compostage en particulier afin que les collectivités sachent où elles s'engagent.

4.1.3 Norme AFNOR NF U 44-051

Les composts urbains peuvent être soumis à la norme NF U 44-051 relative aux amendements organiques. Cette norme, s'appliquant essentiellement aux composts végétaux, accuse 20 ans d'âge et est en cours de révision.

Cette norme n'est plus adaptée pour plusieurs raisons :

- la classification des composts n'intègre pas le tri à la source des déchets et notamment les composts de biodéchets ,
- l'efficacité en terme de fertilisation est peu appréciée (teneurs en MO et N uniquement),
- l'aptitude à fournir du carbone stable ou le potentiel de minéralisation d'éléments comme l'azote ou le phosphore pourrait être précisée (Wiart, 2000),
- absence de valeurs limites fixées pour les métaux traces.

Selon la norme NF U 44-051, les composts urbains sont répartis en fonction de leur granulométrie (de « très fin » si 99 % du produit passe à la maille carrée de 6,3 mm, à

« grossier » pour 40 mm) ou de leur degré de maturation (le compost est considéré mûr pour un rapport Matière organique sur Azote organique inférieur à 50).

Tous les composts urbains doivent de plus respecter les exigences suivantes :

- matière organique MO > 20 % sur le poids brut, > 30 % sur le poids sec,
- taux maximal d'azote total de 2% en masse sur matière sèche,
- teneur en azote kjedhal NTK < 3 % sur le poids sec,
- rapport C/N inférieur à 12,
- rapport MO/N < 55 sur le poids sec,
- teneur en P₂O₅ < 3 % sur poids sec,
- teneur en K₂O < 3 % sur poids sec,
- échauffement naturel supérieur à 60 °C pendant 4 jours consécutifs.

Depuis 1986, les composts proposés à la vente et conformes à la norme NF U 44-051 peuvent bénéficier de la marque NF-Compost Urbain.

Cette marque nationale mise en place à l'instigation de l'ANRED¹ introduisait des concentrations limites en métaux lourds et devait distinguer des composts de haute qualité (qualité A) des composts de qualité inférieure (qualité B) en respectant les prescriptions minimales présentées en tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristiques à respecter pour un compost affiné et épuré depuis moins de 15 jours selon la marque NF-Compost Urbain (d'après Carré et le Bozec, 1988).

GRANULOMETRIE		TENEUR EN IMPURETES (% MS)			TENEUR EN METAUX LOURDS PPM SUR MS			
CLASSE	Maille carrée (mm)	Inertes totaux	Lourds	Plastiques	Pb	Hg	Cd	Ni
A	≤ 40	≤ 20	≤ 6	≤ 1,6	≤ 800	≤ 8	≤ 8	≤ 200
B	≤ 40	≤ 35	≤ 12	≤ 2,5	≤ 800	≤ 8	≤ 8	≤ 200

MS : Matière Sèche

Cette marque n'a jamais eu l'effet d'entraînement escompté pour le développement des filières de compostage et l'utilisation du compost.

Dans le cadre de la révision de la norme NF U 44-051, les valeurs proposées pour les amendements organiques étaient les suivantes au 8 mars 2001 (en mg/kg MS) (source : ADEME) :

Arsenic :	18
Cadmium :	3
Chrome :	120
Cuivre :	300
Mercure :	2
Nickel :	60
Plomb :	180
Zinc :	600
Sélénium :	12

¹ ANRED : Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets.

Pour le cas particulier des composts de boues de station d'épuration, la commission des matières fertilisantes et des supports de culture du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche considère désormais qu'aucune rubrique de la norme NF 44-051 ne fait référence aux boues de station d'épuration.

Dans ces conditions, les composts de boues doivent soit être homologués au cas par cas, soit faire l'objet d'un plan d'épandage conformément au décret du 8 décembre 1997 et à l'arrêté du 8 janvier 1998 relatif aux boues de station d'épuration.

4.1.4 Ecolabel européen

Adopté par la CEE en 1994 et modifié en 1999, ce label a peu été utilisé en France, car jugé trop ambitieux par les professionnels. Depuis 1998, l'incorporation de boues d'épuration est interdite pour l'obtention de ce label.

Le tableau 7 présente les teneurs en métaux lourds tolérées dans le compost pour le respect de l'écolabel.

Tableau 7 : Teneurs limites en métaux-traces dans les composts pour satisfaire aux recommandations de l'Ecolabel européen (d'après Wiart, 2000).

ELEMENTS	ECOLABEL EUROPEEN (mg/kg MS)
Cadmium	1
Chrome	100
Cuivre	100
Mercure	1
Nickel	50
Plomb	100
Sélénium	1,5
Zinc	300
Molybdène	2
Arsenic	10
Fluor	200

4.1.5 Projet de directive européenne

Une directive européenne relative au traitement biologique des biodéchets est en cours d'élaboration.

Elle entend comme « biodéchet » les déchets dits biodégradables c'est-à-dire « tout déchet pouvant faire l'objet d'une décomposition aérobie ou anaérobie, tels que les déchets alimentaires, les déchets de jardin, le papier et le carton ».

Cette directive ne traite donc pas des compostage d'OM brutes ou grises qui contiennent des plastiques, verres, et autres indésirables.

Elle fixe également deux classes de qualité environnementale pour les composts produits, basées sur les paramètres suivants :

Tableau 8 : Classes environnementales de qualité du projet de directive européenne portant sur le traitement biologique des biodéchets.

PARAMETRES	COMPOST	
	Classe 1	Classe 2
Cadmium (mg/kg MS)	0,7	1,5
Chrome (mg/kg MS)	100	150
Cuivre (mg/kg MS)	100	150
Mercure (mg/kg MS)	0,5	1
Nickel (mg/kg MS)	50	75
Plomb (mg/kg MS)	100	150
Zinc (mg/kg MS)	200	400
PCB HAP	Les valeurs seuils pour ces polluants organiques devront être fixées en accord avec la directive sur les boues d'épuration.	
Impuretés > 2 mm	< 0,5 %	< 0,5 %
Graviers et cailloux > 5 mm	< 5 %	< 5 %

4.2 LA QUALITE DES COMPOSTS PRODUITS

Nous ne traiterons dans ce chapitre que de la qualité agronomique des composts, leur innocuité pour la santé (teneurs en métaux-traces, pesticides, COV, ...) étant par ailleurs traitée dans les chapitres suivants qui portent sur l'analyse des risques associés au compostage des déchets.

L'ADEME a réalisé une enquête auprès des unités de compostage en 1998 et 1999 afin de connaître la qualité des composts produits en fonction du types de déchets intrants. Les résultats de cette enquête sont présentés dans le tableau 7, ainsi que des données recueillies sur les composts allemands dans le cadre d'une étude plus générales sur la qualité de la filière organique en Europe de 1992 à 1995 (ADEME, 2000). L'audit portant sur le tri compostage qui sera effectué en 2002 permettra d'avoir des données actualisées sur les composts produits sur les unités de tri compostage.

Tableau 9 : Qualité agronomique de divers composts (Source ADEME).

PARAMETRES	COMPOSTS URBAINS (*) (n = 100)	COMPOSTS BIODECHETS (*) (n = 20 à 28)	COMPOSTS DECHETS VERTS (*) (n = 336)	COMPOSTS « BIO » (**) (n = 341)	COMPOSTS VEGETAUX (**) (n = 129)
Impuretés > 2 mm				0,2	0,15
Pierres > 5 mm				2,2	3,7
MO (perte au feu) (% du poids de MS)	42,5	37,6	46,9	37,3	37
Rapport C/N	18,0	15,0	18,0	15,5	20,1
pH	7,8	8,3	8,0	8,0	7,8
N total (g/kg MS)	12,7	16,8	15,5		
NH4 (g/kg MS)	1,2	0,4	1,0		
Ca total (g/kg MS)	47,1	104,5 (CaO)	39,5		
P total (g/kg MS)	3,0	9,2 (P ₂ O ₅)	3,3		
K total (g/kg MS)	6,1	14,7 (K ₂ O)	11,3		
Mg total (g/kg MS)	4,8	13,2 (MgO)	3,5		

(*) : données de l'enquête 1998-1999, (**) : données Plancotec 1992-1995.

Bien que l'homogénéité des méthodes d'analyses utilisées lors de l'enquête ADEME ne soit pas garantie, ces résultats sont cohérents avec les données de la littérature.

Une enquête nationale a été réalisée en 1998 (ADEME 2001) auprès de 183 exploitants de sites dont 72 ont répondu. Celle-ci a fourni des résultats qui ont pu être exploités statistiquement. Les résultats les plus intéressants sont repris dans les tableaux 10 et 11.

Tableau 10 : Comparaison des moyennes des composts selon leur origine pour 4 critères d'intérêt agronomique (ADEME 2001).

Critères d'intérêt agronomique	Classement des composts par ordre décroissant de leur moyenne (g kg ⁻¹)					
	STEP	MÉLANGES	DÉJECTIONS	VERTS	OM	BIODÉCHETS
MO	681	669	514	469	426	387
Nk	STEP	DÉJECTIONS	MÉLANGES	BIODÉCHETS	VERTS	OM
	21,96	21,50	18,03	15,54	15,43	12,52
P	STEP	DÉJECTIONS	MÉLANGES	BIODÉCHETS	VERTS	OM
	18,03	13,45	8,24	4,12	3,28	2,92
K	DÉJECTIONS	MÉLANGES	BIODÉCHETS	VERTS	OM	STEP
	26,54	13,95	12,46	11,34	5,40	5,27

Tableau 11- Comparaison des moyennes des composts selon leur origine pour 7 critères d'intérêt environnemental (ADEME 2001).

Critères d'intérêt environnemental	Classement des composts par ordre décroissant de leur moyenne (mg kg ⁻¹)					
	OM	STEP	VERTS	BIODÉCHETS	MÉLANGES	DÉJECTIONS
Cd	3,11	1,62	1,37	1,07	1,02	0,99
Cr	OM	DÉJECTIONS	STEP	MÉLANGES	VERTS	BIODÉCHETS
	126	53,32	50,59	48,44	45,60	42,81
Cu	DÉJECTIONS	OM	STEP	MÉLANGES	VERTS	BIODÉCHETS
	249	164	152	114	50	42
Hg	STEP	OM	MÉLANGES	BIODÉCHETS	VERTS	DÉJECTIONS
	2,2	1,64	0,64	0,63	0,52	0,2
Ni	OM	DÉJECTIONS	MÉLANGES	STEP	BIODÉCHETS	VERTS
	60,34	34,74	28,73	25,81	25,51	22,41
Pb	OM	BIODÉCHETS	VERTS	STEP	MÉLANGES	DEJECTIONS
	235	106	87	61	54	45
Zn	DÉJECTIONS	OM	STEP	MÉLANGES	BIODÉCHETS	VERTS
	626	544	404	361	325	186

Ainsi, même si les paramètres analytiques retenus sont limités et ne permettent pas à eux seuls de préciser la valeur agronomique et l'impact environnemental des composts pour les cultures et les sols concernés, il apparaît des différences significatives entre les familles de composts étudiées pour la plupart des paramètres analysés comme le montre le tableau suivant.

Tableau 12 : Matrice des comparaisons statistiques pour 4 éléments d'intérêt agronomique.(ADEME 2001).

							Moyenne des composts en g kg ⁻¹	
MO	VERTS	STEP	MÉLANGES	OM	DÉJECTIONS	BIODÉCHETS		
VERTS		S	S	S	NS	NS	BIODECHETS	387
STEP	S		NS	S	S	S	OM	426
MÉLANGES	S	NS		S	S	S	VERTS	469
OM	S	S	S		S	NS	DÉJECTIONS	514
DÉJECTIONS	NS	S	S	S		NS	MÉLANGES	669
BIODÉCHETS	NS	S	S	NS	NS		STEP	681
Nk	VERTS	STEP	MÉLANGES	OM	DÉJECTIONS	BIODÉCHETS		
VERTS		S	S	S	S	S	OM	12,52
STEP	S		S	S	NS	NS	VERTS	15,43
MÉLANGES	S	S		S	S	NS	BIODÉCHETS	15,54
OM	S	S	S		S	S	MÉLANGES	18,03
DÉJECTIONS	S	NS	S	S		S	DÉJECTIONS	21,5
BIODÉCHETS	S	NS	NS	S	S		STEP	21,96
P	VERTS	STEP	MÉLANGES	OM	DÉJECTIONS	BIODÉCHETS		
VERTS		S	S	NS	S	NS	OM	2,92
STEP	S		S	S	S	S	VERTS	3,28
MÉLANGES	S	S		S	S	S	BIODÉCHETS	4,12
OM	NS	S	S		S	S	MÉLANGES	8,24
DÉJECTIONS	S	S	S	S		S	DÉJECTIONS	13,45
BIODÉCHETS	NS	S	S	S	S		STEP	18,03
K	VERTS	STEP	MÉLANGES	OM	DÉJECTIONS	BIODÉCHETS		
VERTS		S	S	S	S	NS	STEP	5,27
STEP	S		S	NS	S	S	OM	5,4
MÉLANGES	S	S		S	S	NS	VERTS	11,34
OM	S	NS	S		S	S	BIODÉCHETS	12,46
DÉJECTIONS	S	S	S	S		S	MÉLANGES	13,95
BIODÉCHETS	NS	S	NS	S	S		DÉJECTIONS	26,54

S : différence significative entre deux moyennes pour un seuil de 10 %

NS : différence non significative entre deux moyennes pour un seuil de 10 %

BIBLIOGRAPHIE

ADEME (2000) La gestion biologique des déchets municipaux – 100 Question/Réponses à l'usage des collectivités locales. ADEME Angers, 40 pp.

ADEME – AVAL (2001) Approche de la qualité des composts de déchets en France, résultats d'une enquête en 1998, 133 p.

ADEME – CEMAGREF (1999) Utilisation des déchets organiques en végétalisation – Guide de bonnes pratiques, 112 p.

CARRE J., LE BOZEC A. (1988) Les utilisations du compost urbain, intérêts et limites, aspects agronomiques et sanitaires. ENSP

CSHPF (1998) *Risques sanitaires liés aux boues d'épuration des eaux usées urbaines*, Section Eaux du CSHPF, DGS, Editions Lavoisier tec & doc.

KROGMAN U., WOYCZECHOWSKI H. (2000) Selected characteristics of leachate, condensate and runoff released during composting of biogenic waste. *Waste Management and Research*, 18, 235-248.

LAVOIE J., MARCHAND G. (1997) Détermination des caractéristiques à considérer d'un point de vue de santé et de sécurité des travailleurs dans les centres de compostage des déchets domestiques. In : *Etudes et Recherches*, Rapport IRSST R-159, 37 p.

MARIET C. (1996) L'élimination des déchets de la communauté urbaine du Creusot-Montceau ou l'art du tri. *Techniques Sciences Méthodes*, 12, 24-28.

MARTEL J.L. (2000) L'expérience de Castelnaudary : mise en œuvre du procédé de compostage ABS sur différents déchets fermentescibles. *Techniques Sciences Méthodes*, 10, 59-63.

MAYS P. (2000) Émissions de COV par les unités de compostage de déchets ménagers. *Environnement et Technique*, 196, 30-33.

MUSTIN M. (1987). In : *Le compost : gestion de la matière organique*. Paris Ed. François Dubusc, 954 p.

NEDEY F. (1999) L'évolution des procédés de compostage des déchets organiques. *Décision Environnement*, 80, 61-65.

NEDEY F. (2000) Compostage : cinq plates-formes à la loupe. *Décision Environnement*, 89, 47-51.

NEDEY F. (2000 bis) Le compostage menacé par la « psychose boues ». *Décision Environnement*, 89, 20-21.

OPSOMER S., LEVASSEUR J.P., HEINTZ T. (1996) Influence des déchets entrants sur la qualité du compost. *Techniques, Sciences, Méthodes*, 12, 83-87.

PANAY C., GOURTOBE C. (2000) Recyclage et multicompostage des déchets ménagers : le choix de la communauté urbaine de Creusot-Montceau. *Techniques Sciences Méthodes*, 10, 29-33.

RENAUDAT E. (2001) Tri-compostage : la circulaire fermente. *Environnement Magazine*, 1594, 32-33.

RESSE A., RIVIERE D. (1996) Le compostage des déchets collectés séparément : le procédé Végéterre. *Ingénieries – EAT*, 5, 53-62.

WIART J. (1997) Qualité, maturité et efficacité agronomique des composts de déchets verts : synthèse de références. *Document ADEME*, avril 1997, 24 pp.

WIART J. (2000) Amendements organiques et composts : situation réglementaire actuelle et perspectives d'évolution. *Techniques Sciences Méthodes*, 10, 20-27.

SITES INTERNET CONSULTÉS

Site de l'ADEME :

<http://www.ademe.fr>

Site dédié au compostage :

<http://www.perso.wanadoo.fr/humus> et vie

Site du ministère de l'environnement :

http://www.environnement.gouv.fr/_vti_bin/shtml.dll/recherch.htm

Site de l'INSEE :

<http://www.insee.fr>

Site de l'European Environment Agency :

<http://www.eea.dk/>