

الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

جامعة حسيبة بن بوعلي بالشلف
UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI DE CHLEF



كلية التكنولوجيا
FACULTE DE TECHNOLOGIE
قسم هندسة الطرائق
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

Polycopié pédagogique
Cours et TD

GESTION ET TRAITEMENT DES DECHETS SOLIDES

Spécialité : Génie des Procédés de l'Environnement
Niveau : Master 1/Génie des Procédés de l'Environnement



Dr. Naïma TAHRAOUI DOUMA

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2022/2023

Contenu de la Matière

Semestre : 2

Unité d'enseignement: UEF 1.2.1

Matière 2 : Gestion et traitement des déchets solides

VHS : 45h00 (Cours : 1h30, TD: 1h30)

Crédits : 4

Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement :

Le but est d'initier les étudiants à la problématique des déchets solides dont l'impact sur l'environnement et sur la santé publique n'est plus à démontrer. Il est question d'étudier les différentes possibilités de traitement des déchets en fonction de leur nature.

Contenu de la matière :

Introduction

Définition d'un déchet, classification des déchets, caractérisation, déchet ultime, législation.

1- Déchets ménagers

1-1- Collecte des déchets

Type de collecte, équipements de collecte, trajet de collecte, stations de transfert.

1-2- Mise en décharge

Problématique des décharges sauvages, centre d'enfouissement technique, déchets admissibles en CET de classe I, II et III, caractéristiques techniques des centres d'enfouissement technique (sécurité passive, sécurité active et couverture), traitements des lixiviats et valorisation du biogaz, dimensionnement des centres d'enfouissement technique (CET).

1-3- Bioconversion des déchets organiques

1-3-A- Compostage

Avantages du compostage, déchets compostables, paramètres de compostage, phases de compostage, méthodes de compostage, détermination de la maturité du compost, lombricompostage.

1-3-B- Méthanisation

Déchets méthanisables, importance du méthane dans les procédés industriels, phases de méthanisation, paramètres de méthanisation, fermentation sèche et humide, traitement du biogaz, types de digesteurs.

1-4- Incinération

But, produits issus de l'incinération des déchets ménagers, paramètres d'incinération, post-traitements (des gaz, cendres volantes et mâchefers), types de fours.

1-5- Recyclage

Importance du recyclage, les logos du recyclage, les déchets recyclables et non recyclables, importance du tri sélectif dans le recyclage.

2- Déchets industriels spéciaux (DIS)

Définition, types, sources de production, critère de dangerosité, nomenclature, stockage.

Traitements :

- Physico-chimiques : neutralisation, précipitation chimique, oxydation/réduction, sorption, stabilisation/solidification, injection en puits.
- Traitements thermiques : incinération, pyrolyse, oxydation hydrothermale, vitrification.

3- Déchets de soins à risque infectieux (DASRI)

Types de déchets médicaux, législation, tri, emballage et marquage, stockage, transport.

Traitements : par incinération, stérilisation en autoclave, désinfection chimique, irradiation aux micro-ondes.

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Déchets ménagers solides	
I. Introduction	2
I. 1. Définition d'un déchet	2
I. 2. Classification des déchets	2
I. 2.1. Nomenclature des déchets / Liste européenne des déchets	2
I. 3. Classification des RSU	3
I. 4. Classification des RSU dans les PED	4
I. 5. Caractérisation des déchets	5
I. 5.1. Taille de l'échantillonnage	5
I. 5. 2. Caractérisation physique	5
a. Par taille	5
b. Tri par catégories	6
I.6. Caractérisation chimique	7
I. 6 .1. Humidité (%H)	7
I. 6. 2. Mesure de la matière organique (solide volatil ou perte au feu)	7
I. 6. 2. Pouvoir calorifique inférieur (PCI)	8
I. 6. 3. Acidité : pH, (u.pH)	8
I. 7. Déchet ultime	8
I. 8. Déchets ménagers et assimilés	8
I. 8. 1. Collecte des déchets	9
a. Collecte déchet : 1re étape du traitement des déchets	9
b. Type de collecte et équipements de collecte	9
b. 1. Collecte municipale des déchets	9
b. 2. Collecte informelle ou organisée	10
b. 3. Collecte des déchets : selon le type de déchets	10
c. Trajet de collecte	11
c. 1. Collecte en porte-à-porte	11
c. 2. Collecte en apport volontaire	11
c. 3. Points d'apport volontaire	11
d. Collecte en déchèteries	11
d. 2. Stations de transfert	12
I. 9. Mise en décharge	12
I. 9. 1. Différents types de décharges	12
a. 1. Les décharges de classe 1 pour les déchets dangereux	12
a. 2. Les décharges de classe 2 pour les déchets dits "non dangereux"	12
a. 3. Les décharges de classe 3 pour les déchets inertes	12
I.9.2. Caractéristiques techniques et dimensionnement des centres d'enfouissement technique	12
a. 1. Notion de barrière passive	13
a. 2. Notion de barrière active	14
a. 3. Traitements des lixiviats et valorisation du biogaz	14
a. 4. Les lixiviats	14
a. 5. Le biogaz	14
I. 10. Bioconversion des déchets organiques	15
I. 10. 1. Compostage	15
a. Définition technique	15
b. Définition écologique	15
c. Avantages du compostage	15
d. Déchets compostables	15

I. 10. 2. Paramètres de compostage	15
I. 10. 3. Les caractéristiques physiques et chimiques du substrat	16
I. 10. 4. Phases de compostage	17
I. 10. 5. Méthodes de compostage	18
a. Compostage à petite échelle	18
b. Compostage à grande échelle	18
I. 10. 5. 1. Détermination de la maturité du compost	18
a. Méthodes empiriques	18
b. Méthodes physiques	19
b. 1. Test de tamisage	19
b. 2. Suivi de la température	19
b. 3. Test respirométrique)	19
b. 4. Test E ₄ /E ₆	20
c. Méthodes chimiques	20
c. 1. Mesures de pH	20
c. 2. Test des sulfures	20
c. 3. Test de l'azote	21
c. 4. Test du chrome	22
c. 5. Rapport C/N	22
c. 6. Analyse de la DCO	22
c. 7. Chromatogrammes	22
d. Méthodes biologiques	24
d. 1. Test de Spohn	24
d. 2. Test de germination	24
I. 10. 6. Lombri-compostage	24
I. 11. Méthanisation	25
I. 11. 1. Déchets méthanisables	25
I. 11. 2. Avantage de la méthanisation	26
I. 11. 3. Phases de méthanisation	27
1. Hydrolyse	27
2. Acidogenèse	27
3. Acétogènese	27
4. Méthanogenèse	27
I. 11. 4. Paramètres de méthanisation	27
1. pH	27
2. Température	28
3. Potentiel d'oxydoréduction	28
I. 12. Incinération	28
I. 12. 1. But de l'incinération	28
I. 12. 2. Avantages de l'incinération des déchets	28
I. 13. Recyclage	28
I. 13. 1. Étapes de recyclage	29
I. 13. 2. Conseils	29
Chapitre II : Déchets industriels spéciaux (DIS)	
II. 1. Introduction	30
II.1.1. Définition	30
II. 1.2. Types	30
a. Les déchets inertes	30
b. Les déchets industriels banals (DIB)	30
c. Les déchets industriels spéciaux (DIS)	30
e. Les emballages souillés : DIB ou DIS ?	31
II.1.4. critère de dangerosité	34

II.1.5. Nomenclature	33
II.1.6. stockage	33
II.2. Traitements physico-chimiques	34
II.2.1. Neutralisation	34
II.2.2. Précipitation chimique	34
II.2.3. Oxydation/réduction	34
II.2.4. Sorption thermique	35
II.2.5. Stabilisation/solidification	35
II.2.6. Injection en puits	35
II.3. Traitements thermiques	36
II.3.1. Incinération	36
II.3.2. Pyrolyse	36
II.3.3. Oxydation hydrothermale	36
II.3.4. Vitrification	37
Chapitre III : Déchets de soins à risque infectieux (DASRI)	
III.1 Définition	38
III.2 Types de déchets médicaux	38
III.3 Législation	38
III.4 Responsabilité et tri	39
III. 4.1 Collecte	39
III.5 Emballage et marquage	40
III.6 stockage	41
III.7 Transport	41
III.8 Traitements	41
III.8.1 Incinération	41
III.8.2 Stérilisation en autoclave	42
III.8.3 Désinfection chimique	42
III.8.4 Irradiation aux micro-ondes	43
III.8.5 Valorisation	43
Travaux Pratiques (Questions de cours)	44
Références Bibliographiques	50

Liste des figures

Figure 1 : Schéma descriptif du protocole de caractérisation des déchets	6
Figure 2 : Coupe dans une cellule d'enfouissement de classe II	13
Figure 3 : Courbe théorique des phases, de l'évolution de la température et du pH au cours du procédé de compostage	18
Figure 4 : Aspects des chromatogrammes de différents composts	23
Figure 5 : Phases de méthanisation	27
Figure 6 : Logos de recyclage	29
Figure 7 : Puits d'injection des déchets industriels	35
Figure 8 : Séparation des DASRI	39
Figure 9 : Banaliseuse-stérilisateur des DASRI (Newster NW10).	42

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des catégories et sous-catégories des déchets ménagers	3
Tableau 2 : Différentes catégories et sous-catégories de l'échantillon	6
Tableau 3 : Moyens de collecte des déchets	10
Tableau 4 : Collecte selon le type de déchets	10
Tableau 5 : Consommation d'oxygène de quatre composts d'âges différents en mm ³ /g de matériel pour des teneurs en eau 45 % et 60 % à une température de 20 °C	20
Tableau 6 : Déchets dangereux produits par les industries et les entreprises	33
Tableau 7 : Emballage en fonction de la nature des déchets	40
Tableau 8 : Production et élimination des DASRI et des déchets assimilés	41
Tableau 9 : Méthodes de traitements	42

Introduction

Ce support de cours, à caractère pédagogique, sur la gestion et le traitement des déchets solides (déchets ménagers, déchets industriels et déchets d'activités de soins) s'adresse aux étudiants des filières de génie des procédés, et plus spécialement aux étudiants de génie des procédés de l'environnement.

Ce cours est l'expérience de plusieurs années d'enseignements dans le département de génie des procédés dans le système universitaire selon la discipline LMD (Master 1 en génie des procédés de l'Environnement).

Dans ce support, le thème des déchets est abordé de manière simple avec une vision globale en partant d'une introduction qui comporte la définition d'un déchet solide selon les législations nationale et européenne jusqu'à la classification, la caractérisation et la définition d'un déchet ultime.

Technique et largement illustré, ce support de cours apporte à l'étudiant toutes les informations scientifiques et techniques utiles et immédiatement utilisables pour pouvoir maîtriser et développer les différentes méthodes et techniques de traitement des déchets solides urbains et les déchets industriels spéciaux ainsi que les déchets d'activités de soins.

Dans un enchaînement logique, l'étudiant est ainsi amené à mieux comprendre ce qui est un déchet, le type de collecte, l'équipement de collecte, le trajet de collecte et enfin les stations de transfert. Pour mieux cerner la problématique des déchets solides après leur collecte, leur traitement biologique et thermique ainsi que leur recyclage.

Les déchets de toute origine, déchets industriels et déchets d'activités de soins sont traités de manière à minimiser leur caractère polluant. Tout type de déchet solide dépollué sera réintégré dans l'écosystème agricole et/ou industriel.

Le contenu de ce support de cours n'est pas parfait et devra être amélioré dans le futur car des changements permanents se produisent dans ce domaine de gestion et traitement des déchets solides.

Chapitre I : Déchets ménagers solides

I. Introduction

I. 1. Définition d'un déchet

Dans le langage courant, le terme déchet urbain ou mieux résidu solide urbain désigne une ordure ou tout autre résidu rejeté parce qu'il n'est plus valorisable ou réutilisable dans l'état. Avec le développement technologique et le changement de mode de vie des populations, cette définition possède une notion dévalorisante du déchet. En effet, elle s'avère peu conforme à la réalité et l'introduction des unités de valorisation impose l'adoption d'une définition nouvelle, relativement plus réaliste.

Au sens de la loi algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001(Article 3), on entend par déchet *«Tout résidu issu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer»*. Elle reprend la définition du déchet dans la loi française n° 75-633 du 15 juillet 1975 (Article1).

Au sens de la loi européenne un déchet est défini comme *«Tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui est de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement»*.

Remarque : le terme «résidu» semble plus approprié que « déchet» pour décrire ces ordures dans la mesure où demeure dans «résidu» la notion de reste éventuellement à valoriser pour lui donner une plus-value, étymologiquement «déchet» est un mot qui vient des termes «déchoir ou déchu» qui sont négatifs.

I. 2. Classification des déchets

I. 2.1. Nomenclature des déchets / Liste européenne des déchets

Les dispositions relatives à la classification des déchets se trouvent dans les articles R. 541-7 à R. 541-11 et dans les annexes de l'article R. 541-8 du code de l'environnement. Ces dispositions sont issues du décret n°2002-540 du 18 avril 2002 (JO du 20 avril 2002), abrogé et codifié dans le code de l'environnement par le décret du 12 octobre 2007 (JO du 16 octobre 2007).

Il s'agit d'une liste unique des déchets dans laquelle, ces derniers sont classés de 01 à 20

01. Déchets provenant de l'exploration et de l'exploitation des mines et des carrières ainsi que du traitement physique et chimique des minéraux.

02. Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche ainsi que de la préparation et de la transformation des aliments.

03. Déchets provenant de la transformation du bois et de la production de panneaux et de meubles, de pâte à papier, de papier et de carton.

04. Déchets provenant des industries du cuir, de la fourrure et du textile.

05. Déchets provenant du raffinage du pétrole, de la purification du gaz naturel et du traitement pyrolytique du charbon.

06. Déchets des procédés de la chimie minérale.

07. Déchets des procédés de la chimie organique.

- 08.** Déchets provenant de la fabrication, de la formulation, de la distribution et de l'utilisation (FFDU) de produits de revêtement (peintures, vernis et émaux vitrifiés), mastics et encres d'impression.
- 09.** Déchets provenant de l'industrie photographique.
- 10.** Déchets provenant de procédés thermiques.
- 11.** Déchets provenant du traitement chimique de surface et du revêtement des métaux et autres matériaux, et de l'hydrométallurgie des métaux non ferreux.
- 12.** Déchets provenant de la mise en forme et du traitement physique et mécanique de surface des métaux et matières plastiques.
- 13.** Huiles et combustibles liquides usagés (sauf huiles alimentaires et huiles figurant aux chapitres 05, 12 et 19 (annexe II)).
- 14.** Déchets de solvants organiques, d'agents réfrigérants et propulseurs (sauf chapitres 07 et 08 (annexe II)).
- 15.** Emballages et déchets d'emballages, absorbants, chiffons d'essuyage, matériaux filtrants et vêtements de protection non spécifiés ailleurs.
- 16.** Déchets non décrits ailleurs dans la liste.
- 17.** Déchets de construction et de démolition (y compris déblais provenant de sites contaminés).
- 18.** Déchets provenant des soins médicaux ou vétérinaires et/ou de la recherche associée (sauf déchets de cuisine et de restauration ne provenant pas directement des soins médicaux).
- 19.** Déchets provenant des installations de gestion des déchets, des stations d'épuration des eaux usées hors site et de la préparation d'eau destinée à la consommation humaine et d'eau à usage industriel.
- 20.** Déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations) y compris les fractions collectées séparément.
- Les normes existant dans les pays européens classent les différents constituants de déchets ménagers en catégories et en sous-catégories.

I. 3. Classification des RSU

La classification des déchets est indispensable pour faciliter le choix de leur mode de gestion à la source ou sur le circuit de leur production (Aloueimine, 2006 ; Wei et al., 2000). Selon la commission de normalisation AFNOR/X300 le 12 juin 2007, les déchets ménagers sont classés en 13 catégories et plusieurs sous-catégories (tableau 1).

Tableau 1 : Liste des catégories et sous-catégories des déchets ménagers (Aloueimine, 2006 ; Wei et al., 2000)

N°	Catégorie	N°	Sous-catégorie
1	Déchets Putrescibles	01.01	Déchets alimentaires (reste de cuisine)
		01.02	Produits alimentaires non consommés (sous emballage)
		01.03	Autres putrescibles
		01.04	Déchets de jardin
2	Papiers	02.01	Emballages papiers
		02.02	Journaux, magazines et revues
		02.03	Imprimés publicitaires a
		02.04	Papiers bureautiques
		02.05	Autres papiers
3	Cartons	03.01	Emballages cartons plats
		03.02	Emballages cartons ondulés

		03.03	Autres cartons
4	Composites	04.01	Composites ELA
		04.02	Autres Emballages composites
		04.03	Petits Appareils Electroménagers (PAM)
5	Textiles	05.01	Textiles
6	Textiles sanitaires	06.01	Textiles sanitaires fraction hygiénique
		06.02	Textiles sanitaires fraction papiers souillés
7	Plastiques	07.01	Films polyoléfines (PE et PP)
		07.02	Bouteilles et flacons en PET
		07.03	Bouteilles et flacons en Polyoléfines
		07.04	Autres emballages plastiques
		07.05	Autres plastiques
8	Combustibles non Classés (CNC)	08.01	Emballages en bois
		08.02	Autres combustibles
9	Verre	09.01	Emballages en verre incolore
		09.02	Emballages en verre de couleur
		09.03	Autres verres
10	Métaux	10.01	Emballages métaux ferreux
		10.02	Emballages aluminium
		10.03	Autres métaux ferreux
		10.04	Autres métaux
11	Incombustible non classés (INC)	11.01	Emballages incombustibles
		11.02	Autres incombustibles
12	Déchets ménagers spéciaux	12.01	Produits chimiques
		12.02	Tubes au néon, lampes basse consommation
		12.03	Piles et accumulateurs
		12.04	Autres déchets ménagers spéciaux
13	Eléments fins	13.01	Eléments fins entre 8 et 20 mm

I. 4. Classification des RSU dans les PED

Dans les PED, les RSU sont classés en trois catégories dans plusieurs pays du sud :

- fraction organique (putrescibles) ;
- fraction des recyclables (papiers-cartons et plastiques) ;
- fraction des inertes (matière fine).

En Algérie, la caractérisation des déchets enfouis dans différents CET s'est basée sur un classement en quatre catégories (Germon, J.-C., et al., 1980) :

1. déchets ménagers et assimilés ;
2. déchets des commerces et de l'artisanat ;
3. déchets de voirie et de propreté urbaine ;
4. déchets des espaces verts et des marchés.

Les déchets ménagers et assimilés (DMA) se subdivisent en trois types :

- déchets putrescibles biodégradables (essentiellement des restes de nourriture) ;
- déchets recyclables (carton-papier, plastique, verre et métaux) ;
- déchets dangereux (piles, médicaments périmés, etc.).

I. 5. Caractérisation des déchets

I. 5.1. Taille de l'échantillonnage

La méthode MODECOM (Mode De Caractérisation des Ordures Ménagers) recommande une prise d'échantillon de 500 Kg après quartage afin de limiter les erreurs de mesure. Pour constituer cet échantillon de 500 kg, il faut évaluer la masse minimale d'ordures ménagères

(à prélever des camions provenant des centres de transit) en fonction de la population desservie par chaque centre de transit, des tonnages entrants sur chaque station de transit et sur la décharge finale pour différents pourcentages d'erreur, ce qui nous a permis d'optimiser la taille des échantillons avec un niveau de confiance de 95 % (Brinton, W.F., Jr. 1983).

$$n = \frac{t^2 p(1-p)N}{[t^2 p(1-p) + (N-1)\Delta^2]} ;$$

N : population ; **Δ** : erreur d'échantillonnage, **p** : 0,5 ; **t** : 1,96.

I. 5. 2. Caractérisation physique

Deux types de caractérisation ont été effectués : par taille et par catégorie :

- Séparation par taille : elle est effectuée à l'aide d'une table de tri de 2 m de long sur 1 m de large respectant des diamètres de maille ronde 100 mm et 20 mm permettant de distinguer trois fractions de matériaux après avoir trié les hétéroclites : - gros : > 100 mm ; - moyen : 20 < X < 100 mm ; - fins : < 20 mm, qui sont ensuite séparés en deux sous fractions : fine : 10 < X < 20 mm et extra fine : < 10 mm.

- Séparation par catégorie : selon les pays et les objectifs poursuivis, plusieurs types de composants (catégories) de déchets sont identifiés : la norme XP X30 – 408 d'octobre 1996 en France, recommande 13 catégories. Mais dans cette étude seulement 9 catégories, putrescibles, papiers-cartons, textiles-textiles sanitaires, plastiques, CNC (combustibles non classés), verres, métaux, INC (inertes non classés) et déchets spéciaux, ont été identifiées en raison de la dégradation avancée des ordures ménagères arrivant à la décharge finale.

a. Par taille

Le tri par taille se fait avec la table de tri en respectant les diamètres de chaque bac : -gros (> 100 mm) ; - moyens (20-100 mm) ; - fins (< 20 mm). Les déchets gros et moyens sont ensuite séparés en catégories et en sous-catégories (Kononova, M.M. 1966).

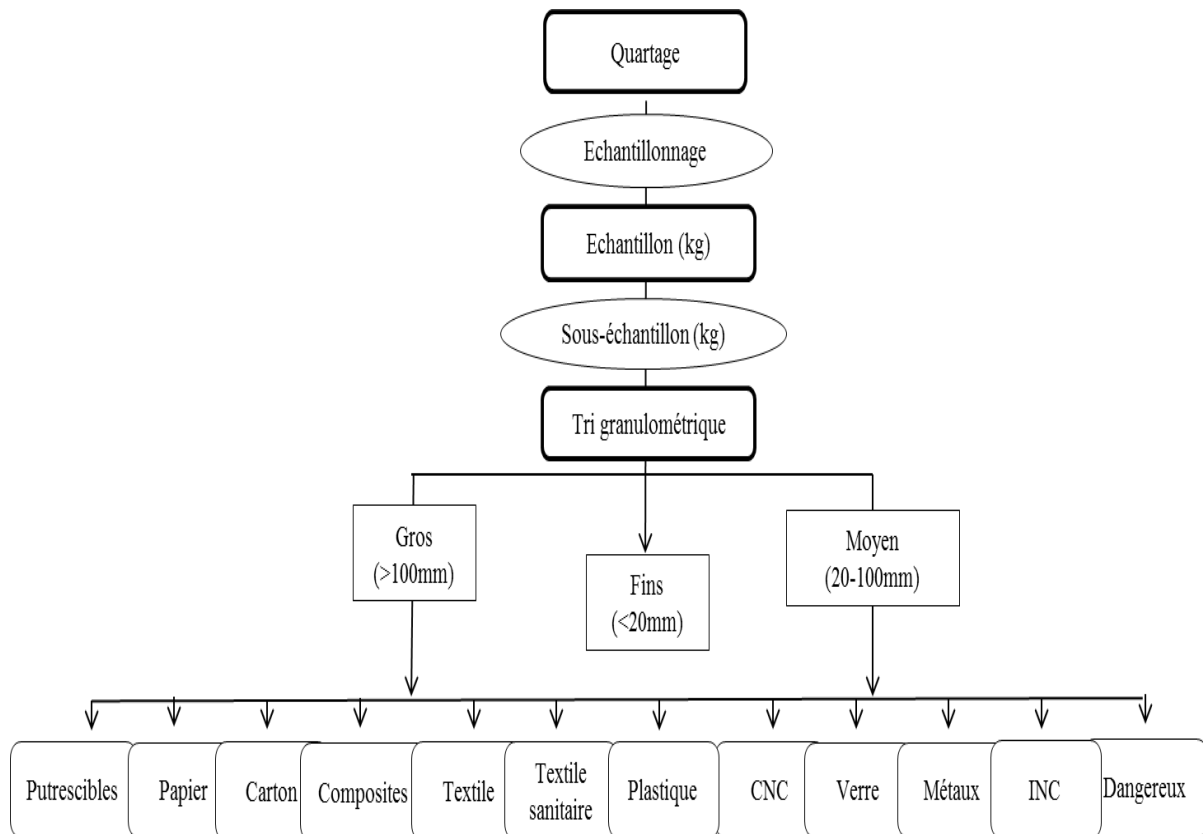


Figure 1 : Schéma descriptif du protocole de caractérisation des déchets (Mustin, M. 1987).

b. Tri par catégories

Selon l'objectif de l'étude plusieurs types de catégories ont été identifiés : 13 catégories (putrescibles, papiers, cartons, composites, textiles, textiles sanitaires, plastiques, CNC, verre, métaux, INC, déchets dangereux et les fines) ont été distinguées selon le tableau 2.

Tableau 2 : Différentes catégories et sous-catégories de l'échantillon.

Catégories	S/catégories
1. Putrescibles	01.01 Déchets alimentaires (reste de cuisine)
	01.02 Produits alimentaires non consommés (sous emballage)
	01.03 Autres putrescibles
	01.04 Déchets de jardin
2. Papiers	02.01 Emballages papiers
	02.02 Journaux, magazines et revues
	02.03 Imprimés publicitaires a
	02.04 Papiers bureautiques
	02.05 Autres papiers
3. Cartons	03.01 Emballages cartons plats
	03.03 Autres cartons
4. Complexes	04.01 Composites ELA
	04.02 Autres Emballages composites
	04.03 Petits Appareils Electroménagers (PAM)
5. Textiles	05.01 Textiles
6. Textiles sanitaires	06.01 Textiles sanitaires fraction hygiénique
	06.02 Textiles sanitaires fraction papiers souillés

7. Plastiques	07.01	Films polyoléfines (PE et PP)
	07.02	Bouteilles et flacons en PET
	07.04	Autres emballages plastiques
	07.05	Autres plastiques
8. CNC	08.01	Emballages en bois
	08.02	Autres combustibles
9. Verres	09.01	Emballages en verre incolore
	09.02	Emballages en verre de couleur
	09.03	Autres verres
10. Métaux	10.01	Emballages métaux ferreux
	10.02	Emballages aluminium
11. INC	11.02	Autres incombustibles
12. Dangereux	12.01	Produits chimiques
	12.02	Tubes au néon, lampes basse consommation
	12.03	Piles et accumulateurs
	12.04	Autres déchets ménagers spéciaux
13. Fines	13.01	Eléments fins <20 mm

I.6. Caractérisation chimique

I. 6 .1. Humidité (%H)

L'humidité est un paramètre qui est déterminée par le séchage des déchets à des températures données. Certains auteurs recommandent de déterminer l'humidité à des températures différentes. [Das et al. \(2002\)](#), recommandent 75°C, [Morvan, \(2000\)](#) 80°C, [Brewer et Sullivan, \(2003\)](#), 85°C ; [Garcia, \(2005\)](#) 105°C et [Charnay, \(2005\)](#) 80°C. La norme NF M 03-002 ([MODECOM, 1993](#)), recommande de sécher une masse de 20 kg de chaque déchets dans une étuve à 105 ± 2 °C pendant 24 heures jusqu'à une masse constante.

La majorité des travaux ont déterminés la valeur de l'humidité par séchage d'une masse allant de quelque 100g à 10kg de déchets dans une étuve à 105°C jusqu'à une masse constante ([Braun et Jaag, 1970](#) ; [Diop, 1988](#) ; [Tchobanoglous et al., 1993](#); [Mohee, 2002](#); [Kelly, 2002](#), [François, 2004](#); [Aina, 2006](#); [Aloueimine, 2006](#); [Ben Ammar, 2006](#); [Mezouari, 2011](#) ; [Koledzi, 2011](#)).

L'humidité des catégories de déchets est déterminée par différence de masse de l'échantillon avant et après séchage par la formule 1:

$$H\% = \frac{M_{initiale} - M_{finale}}{M_{initiale}} \dots\dots\dots(1)$$

Avec:

% H : pourcentage d'humidité

M_{initiale} : masse de l'échantillon avant séchage

M_{finale} : masse de l'échantillon après séchage

I. 6. 2. Mesure de la matière organique (solide volatil ou perte au feu)

Les putrescibles, papiers, cartons et matières fines ont fait l'objet de mesures de la teneur en matière organique après leur séchage.

Le pourcentage en matière organique (MO/MS) est déterminé par calcination d'un échantillon de déchet après séchage dans un four à une température de 550 °C ([MODECOM, 1993](#)). La teneur de cette dernière est obtenue selon la formule 2 :

$$MO\% = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

Avec :

M₁ : masse de l'échantillon sec avant calcination

M₂ : masse de l'échantillon après calcination

La température de calcination est généralement la même dans la plupart des travaux. Par contre, la durée de calcination varie d'un auteur à un autre, par exemple : [Boda, \(2002\)](#) la fixe de 20 mn ; [Kelly, \(2002\)](#), de 2 heures et [Chaimpo et al., \(1996\)](#) la fixe de 60 mn. La norme NF U 44-160 préconise de calciner une masse voisine de 25 g à 550 °C pendant 2 heures.

I. 6. 2. Pouvoir calorifique inférieur, PCI, en kcal /kg

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'un déchet est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de masse de ce combustible à une température et une pression de référence donnée. Le PCI ne tient pas compte de la chaleur de vaporisation de l'eau pendant la combustion. Sa détermination permet d'envisager la possibilité d'une éventuelle incinération des déchets solides. Les déchets peuvent être incinérés lorsqu'ils ont un PCI supérieur à 1200 kcal/kg ([Ngnikam et al., 2002](#)).

Le PCI est inversement proportionnelle à l'humidité. Lorsque les déchets contiennent plus de 50% d'humidité, elles sont impropres à l'incinération et c'est le cas des déchets ménagers en Algérie. Donc, la connaissance des deux paramètres (PCI et H%) est essentielle pour le choix du mode de traitement (incinération ou compostage....).

Le PCI des déchets ménagers dans les PED est assez faible. Il est de l'ordre de 1000 kcal/kg (Tunisie, Côte d'Ivoire et Colombie ([Wicker, 2000](#))). Il varie de 2180 jusqu'à 2774 kcal/kg en Malaisie ([Kathirvale et al., 2003](#)) et il est d'environ de 2652 kcal/kg en Mauritanie ([Aloueimine et al., 2005 a et b](#)). Au Maroc, il varie entre 900 et 1000 kcal/kg ([Ben Ammar, 2006](#)).

Dans le cas des déchets algériens, la valeur moyenne d'humidité est comprise entre 45 et 70 % et le PCI est inférieur à 1200 kcal/kg, les déchets se prêtent au compostage. L'incinération n'est pas possible (PNUD, Guide de gestion des déchets ménagers et assimilés).

I. 6. 3. Acidité : pH, (u.pH)

Une masse de 20 g de matière sèche ou de compost sec tamisé est mélangée à 100 ml d'eau distillée suivant la norme AFNOR NF ISO 10-390 de novembre 1994. Le mélange est homogénéisé pendant une heure d'agitation magnétique. La valeur du pH est mesurée à l'aide d'une électrode de verre combinée à un pH-mètre.

I. 7. Déchet ultime

Déchets qui ne sont plus valorisables, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique. A ce titre, ils sont réglementairement les seuls à pouvoir être stockés (enfouis) dans un Centre de Stockage des Déchets Ultimes (CSDU).

Selon l'article L 541-1 du Code de l'Environnement, le déchet ultime est défini comme un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux.

I. 8. Déchets ménagers et assimilés

On distingue :

- Les déchets ménagers (déchets produits par les ménages) qui se composent des :
 - Ordures ménagères collectées dans le cadre des tournées de ramassage organisées par les municipalités.
 - Déchets volumineux ou "encombrants" soit collectés en porte à porte, soit réceptionnés dans une installation mise à la disposition des ménages.
 - Déblais et gravats produits par les ménages réceptionnés dans des déchetteries ou des dépôts réservés aux seuls déchets inertes.
 - Déchets ménagers spéciaux (DMS), ne pouvant en raison de leur danger être éliminés sans risques avec les déchets ménagers. Ils sont réceptionnés dans des déchetteries équipées à cet effet.
 - Déchets végétaux issus de l'habitat pavillonnaire.
 - Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, ...).
- Les déchets des espaces publics (rues, marchés, égouts, espaces verts) ou des établissements publics (administrations, écoles, hôpitaux, casernes).
- Les déchets artisanaux et commerciaux.

I. 8. 1. Collecte des déchets

a. Collecte déchet : 1re étape du traitement des déchets

La gestion des déchets regroupe l'ensemble du processus de traitement d'un déchet. Elle répond à la stratégie dite des 3 R :

- réduire ;
- réutiliser ;
- recycler.

Le taux de réussite du principe des 3 R est encore insuffisant en France, faute de bonne volonté, de moyens et de technologies nouvelles.

L'objectif reste de réduire de façon significative les déchets :

- stockés ou enfouis : stagnation ;
- incinérés : méthode polluante.

La collecte des déchets consiste à séparer et à trier chaque objet et à l'acheminer vers un centre de traitement approprié.

Dans tout pays, les mairies ont la responsabilité de collecter et de traiter les déchets auprès des citoyens et les entreprises. Elles peuvent créer un Syndicat intercommunal de collecte et de traitement des ordures ménagères (SICTOM) pour partager cette tâche avec les villes voisines.

b. Type de collecte et équipements de collecte

Elles mettent à disposition de tous les concitoyens un plan de tri des déchets :

b. 1. Collecte municipale des déchets

Des poubelles publiques dans la rue.

Des poubelles de tri pour les résidences individuelles et collectives.

Un conteneur à produits dangereux : piles, ampoules, etc. (en mairie).

Un guide détaillé du tri.

Un entretien et un remplacement des poubelles.

Un nettoyage de voirie.

Un ramassage de chaque type d'ordure une à trois fois par semaine.

Le ramassage des encombrants une fois par mois.

Une information détaillée sur le type et les heures de collectes.

Une décharge municipale ou intercommunale : l'adresse et les horaires d'ouvertures de la décharge.

Facultatif : un numéro de téléphone pour la prise de rendez-vous avec les techniciens assurant la collecte des encombrants.

Un plan de collecte sur tout le territoire.

b. 2. Collecte informelle ou organisée

Les déchets collectés se présentent en plusieurs catégories (tableau 3).

Tableau 3 : Moyens de collecte des déchets.

Plusieurs moyens de collecte des déchets	
Collecte « à la source »	- Le citoyen place des objets triés dans une borne de collecte prévue à cet effet. - Ils ne sont pas mélangés à d'autres objets afin de pouvoir être réutilisés ou recyclés : vêtements, verres, cartons, plastiques, papiers, etc. Cette borne se trouve : - dans sa résidence particulière ou collective (la fameuse poubelle bleue pour les bouteilles en plastiques, la verte pour les déchets ménagers), - dans son quartier (verre, vêtements).
Récupération pour le recyclage	Se fait dans une déchetterie.
Tout-venant	Par l'intermédiaire d'un ramassage régulier des poubelles publiques.
Récupération informelle	Trier à la main dans une décharge composée d'objets mélangés, les matériaux recyclables ou non.

À noter : la récupération informelle existe principalement dans les pays pauvres.

b. 3. Collecte des déchets : selon le type de déchets

Les mairies mettent à disposition des habitants un calendrier de collecte des déchets (tableau 4). Ce calendrier indique :

- les jours et heures du ramassage ;
- le moment de la journée où l'usager doit sortir sa poubelle sur le trottoir (matin ou soir),
- si l'usager doit se rendre à un point de collecte précis pour y déposer ses ordures.

Il existe plusieurs types de collectes, selon la catégorie de déchets (tableau 4).

Tableau 4 : Collecte selon le type de déchets.

Déchets	Procédure
Le ramassage déchets classiques	<ul style="list-style-type: none"> • Les résidences particulières ou collectives disposent de deux conteneurs spécifiques pour le tri des déchets. • 1 à 3 fois par semaine, un camion vient vider l'un de ces conteneurs : l'usager doit placer sa poubelle la veille au soir ou tôt le matin dans la rue et la remettre dans sa propriété une fois vidée.
La collecte de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Cette collecte s'effectue sans l'intervention du consommateur. • Les eaux usées sont évacuées vers les stations d'épuration.
La collecte des encombrants	Pour éviter d'encombrer les trottoirs, il est interdit de poser un meuble ou un objet volumineux (matelas, cycles, végétaux non volumineux, ferraille) à collecter en dehors des heures et des jours de collecte.
La déchetterie mobile	<ul style="list-style-type: none"> • Pour éviter les dépôts sauvages, la mairie peut aussi proposer quelques journées supplémentaires de collecte des encombrants. • Le camion sillonne la ville selon un parcours précis. • Pour accéder à la collecte, il faudra venir à lui muni d'un justificatif de domicile.

La collecte sur rendez-vous	La collecte des encombrants se fait sur rendez-vous téléphonique pour éviter d'encombrer les rues.
La collecte des déchets verts	<ul style="list-style-type: none"> • La mairie distribue des sacs en papier recyclable et solide. • Après avoir tondu la pelouse ou taillé les haies, il faut mettre ses rebuts dans les sacs et le placer dans la rue, le jour de la collecte.
La collecte des déchets toxiques	Il s'agit, en général, d'une déchetterie mobile. Le camion parcourt la ville et récupère les piles, pots de peinture, solvants, huiles, ampoules, radiographies médicales ou les aérosols usagés.
La collecte de vêtements	<ul style="list-style-type: none"> • Une association met à disposition un conteneur ou se déplace sur un lieu donné durant une journée. • Pour y déposer ses vêtements usagés, le consommateur doit se déplacer sur place.
La collecte de papier ou carton	<ul style="list-style-type: none"> • Certaines mairies organisent la collecte des papiers et des cartons usagés. • Ces derniers doivent être en bon état. • Le consommateur se déplace jusqu'au conteneur le plus proche de chez lui.
La collecte des verres	<ul style="list-style-type: none"> • Pour les bouteilles et les bocaux en verre, les mairies placent des conteneurs spécifiques sur l'ensemble de leur territoire. • Au consommateur de porter ses déchets en verre jusqu'au point de collecte le plus proche de chez lui.

c. Trajet de collecte

c. 1. Collecte en porte-à-porte

Lors d'un circuit de collecte prédéfini, le service d'enlèvement ramasse les déchets triés et déposés dans des contenants spécifiques. Ces contenants sont affectés à un ou plusieurs producteurs de déchets et disposés à proximité de leur domicile.

c. 2. Collecte en apport volontaire

La collecte en apport volontaire s'étend aux ordures ménagères, dans les territoires ruraux comme dans les ensembles de logements collectifs.

c. 3. Points d'apport volontaire

Lors de la collecte en points d'apport volontaire (PAV), les déchets sont déposés dans des conteneurs spécifiques installés en différents points fixes sur la zone de collecte. Ces contenants sont accessibles à l'ensemble de la population. Lors de la mise en place de la tarification incitative, l'accès à ces équipements peut être individualisé et contrôlé (par exemple, en utilisant les cartes d'accès).

d. Collecte en déchèteries

Une déchèterie est un espace aménagé, clos et gardienné pendant les heures d'ouverture, signalé, entretenu et propre.

d.1. Définition : La déchèterie permet aux particuliers, et éventuellement aux artisans, d'apporter leurs déchets encombrants (monstres, gravats, déchets verts) ou autres, comme les déchets dangereux, en les répartissant dans des contenants spécifiques en vue d'éliminer ou de valoriser au mieux les matériaux qui les constituent. Selon la taille de la déchèterie, toutes les catégories de déchets ne sont pas acceptées.

Ces déchets ne peuvent être collectés de façon traditionnelle par les services de ramassage des ordures ménagères en raison de leur taille (monstres), de leur quantité (gravats, déchets verts) ou de leur nature (huiles usagées, batteries...).

d. 2. Stations de transfert

Ensemble d'installations et de moyens qui permettent de transférer les déchets d'un point à un autre. Les installations peuvent être dédiées au compactage des déchets solides avant leur acheminement vers les sites d'élimination éloignés.

I. 9. Mise en décharge

Les **décharges** sont aussi appelées centre d'enfouissement technique (CET) ou centre de stockage pour **déchets** ultimes (CSDU). La **mise en décharge** consiste à l'enfouissement des **déchets** ultimes qui ne sont pas destinés à être recyclés.

I. 9. 1. Différents types de décharges

Il existe trois types de décharges (également appelées CET : Centre d'Enfouissement Technique).

- Les décharges de classe 1 pour les déchets dangereux
- Les décharges de classe 2 pour les déchets dits "non dangereux"
- Les décharges de classe 3 pour les déchets inertes

a. 1. Les décharges de classe 1 pour les déchets dangereux

Les décharges de classe 1 accueillent principalement les "déchets industriels spéciaux", présentant un caractère dangereux reconnu pour le milieu naturel ou les êtres vivants. Elles sont également appelées Centres de stockage de déchets dangereux (CSDD). Avant d'être enfouis, les déchets sont "stabilisés" par extraction, notamment, des liquides dangereux pour limiter les réactions chimiques dans la fosse.

a. 2. Les décharges de classe 2 pour les déchets dits "non dangereux"

Les décharges de classe 2 accueillent les déchets ménagers et assimilés (DMA), ainsi que les déchets industriels banals (DIB). Elles sont également appelées Installation de Stockage de Déchets non Dangereux (ISDND) et Centre de Stockage de Déchets Ultimes (CSDU). Il est interdit d'enfouir autre chose dans ces décharges que du déchet ultime, un déchet "qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux".

a. 3. Les décharges de classe 3 pour les déchets inertes

Les décharges de classe 3 accueillent principalement des déchets du bâtiment et des travaux publics (terres, gravats, déchets de démolition, etc). Des trois catégories de décharges, ce sont les moins réglementées : à défaut d'une réglementation issue du Code de l'Environnement, comme c'est le cas pour les décharges de Classe 1 et 2, les décharges de Classe 3 sont soumises au Code de l'Urbanisme et placées sous l'autorité du maire des communes accueillant ces installations. Elles ne sont donc pas des "Installations classées pour la protection de l'environnement".

I.9.2. Caractéristiques techniques et dimensionnement des centres d'enfouissement technique

Un centre de stockage est un ensemble composé de casier, indépendant sur le plan hydraulique, eux-mêmes composés d'alvéoles dans lesquelles sont entreposés les déchets. Les casiers sont entourés de digues étanches. L'étanchéité est assurée par superposition d'une barrière de sécurité passive constituée par une couche d'argile (elle doit présenter de haut en bas, une perméabilité à 1.10^{-9} m/s sur au moins un mètre et inférieure à 1.10^{-6} m/s

sur au moins 5 mètres) et d'une barrière de sécurité active constituée par une géo membrane surmontée d'une couche de drainage (la géo-membrane correspond à la mise en place d'un matériau mince et souple, fabriqué généralement en polyéthylène haute densité (PEHD) ou en polyéthylène basse densité (PEBD), qui assure l'étanchéité des casiers. Les lixiviats sont récupérés, traités par lagunage puis envoyés en station d'épuration. L'ensemble est entouré d'une digue périphérique constituée de matériaux inertes de préférence étanches. Les digues doivent être ancrées de 0,80 à 1m dans le sol. La hauteur des digues, la distance des casiers par rapport à la limite de l'exploitation, les contrôles sont réglementés. La durée d'exploitation est en général de vingt ans et la surveillance du site est obligatoire pendant 30 ans (figure 2).

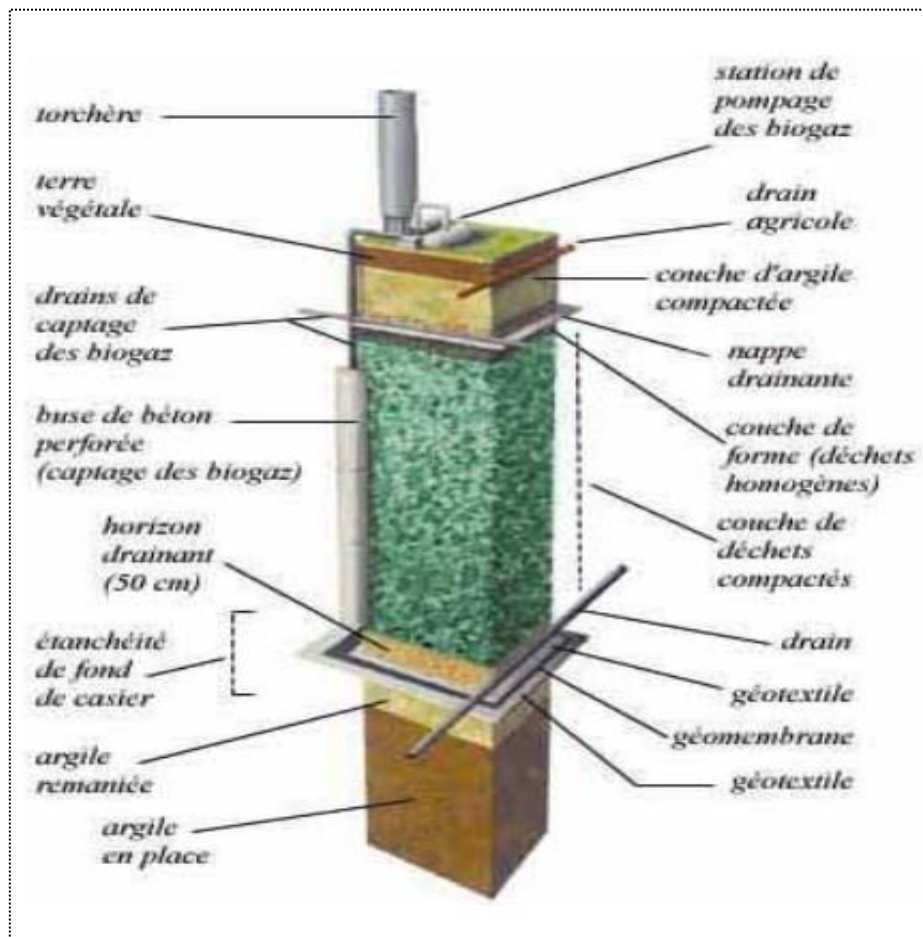


Figure 2 : Coupe dans une cellule d'enfouissement de classe II.

a. 1. Notion de barrière passive

C'est une barrière de sécurité étanche qui peut se faire selon trois options :

- a) Sols naturels en place ;
- b) Sols naturels re-compactés ;

c) Géo synthétique : Tous les géo synthétiques peuvent être utilisés au sein des centres de stockage des déchets pour des raisons diverses, à savoir, leur étanchéité (géo membrane) leur capacité de drainage (géo drain) et leur pouvoir filtrant (géotextiles). La géo membrane (GM) est une membrane synthétique de 1 à 2 mm conçue pour retenir les lixiviats. Ils

sont élastomères ou plastomères ; les plus répandues sont PEHD et PEBD, les membranes en PVC (chlorure de polyvinyle).

Le diagramme de classification simplifiée des matériaux utilisés pour l'étanchement en fonction des gammes de perméabilité est présenté par la figure II-7. Les matériaux étanches sont classés en trois catégories :

- 1) $k < 1.10^{-11}$ m/s \longrightarrow imperméable
- 2) 1.10^{-11} m/s $< k < 1.10^{-9}$ m/s \longrightarrow très faible perméabilité.
- 3) 1.10^{-9} m/s $< k < 1.10^{-6}$ m/s \longrightarrow faible perméabilité.

K 10^{-12} 10^{-11} 10^{-10} 10^{-9} 10^{-8} 10^{-7} 10^{-6}		
Imperméable	Très faible perméabilité	Faible perméabilité
GM	GBS Argiles Limos	
Roches	Sols traités	Sables argileux

Diagramme de perméabilité des matériaux et sols comme barrière d'étanchéité (géo-membrane (GM), géo synthétique bentonitique (GSB)).

a. 2. Notion de barrière active

Elle assure l'indépendance hydraulique du casier, le drainage et la collecte des lixiviats. Elle évite la sollicitation de la barrière de sécurité passive.

a. 3. Traitements des lixiviats et valorisation du biogaz

Les deux phénomènes principaux ayant lieu au sein d'une décharge de déchets ménagers sont :

- La fermentation anaérobie des déchets ;
- La percolation des eaux de pluie.

De ces deux phénomènes sont issus:

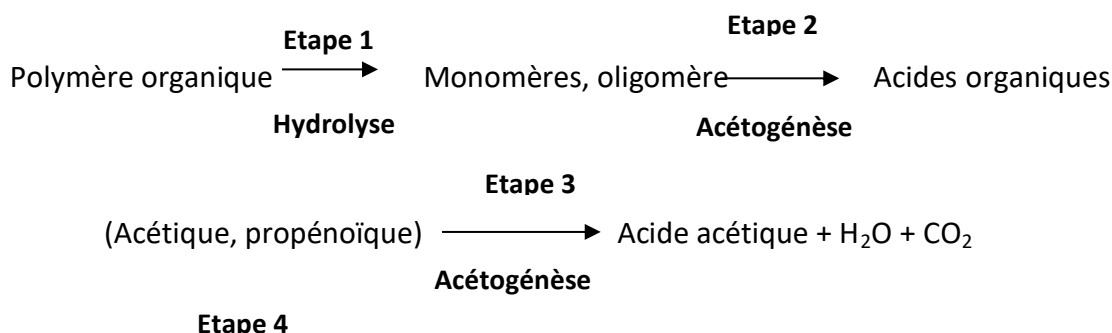
- 1) Les biogaz
- 2) Les lixiviats

a. 4. Les lixiviats

Ils sont acheminés vers les bassins de stockage à travers des collecteurs. Les collecteurs, situés à l'intérieur du casier, sont raccordés aux drains à l'aide de regard placé dans un point bas du casier

a. 5. Le biogaz

La méthanisation conduit à la formation d'un gaz riche en méthane (CH_4) et en gaz carbonique et à la production de jus (ou lixiviats) riches en produits intermédiaires de fermentation (acides organiques, monomères et oligomères, matière azotée dont ammoniacale) conformément au schéma du processus de méthanisation suivant :



—————→ (CH₄ +CO₂) Biogaz.
Méthanogène

Etape 1 : Dégradation aérobie. Cette étape s'effectue à l'extérieur des cellules microbiennes, qui est souvent l'étape cinétiquement limitant (1 à 2 kg par m³ de réacteur et par jour pour la matière sèche facilement fermentescible).

Etape 2 : Fermentation acide. Les acides gras volatils (AGV) et les différents alcools peuvent atteindre des concentrations élevées. Cette étape conduit à la formation de CO₂ et de H₂. Ainsi, elle peut être rapide (de 30 à 40 fois supérieure à la précédente) et conduit à l'acidification du milieu.

Etape 3 : Formation de méthane. Les bactéries concernées sont mal connues et ont des temps de réaction longs (6 à 8 jours à 30°C). Cette phase de dégradation est la plus longue.

Etape 4 : Epuisement des substrats donnant le CH₄ et CO₂ (biogaz). Ce dernier, à l'état sec contient en volume :

- 50 à 70% de CH₄;
- 30 à 40% de CO₂ ;
- 0.2 à 05% de H₂;
- 0.2 à 3% de N₂.

Et des traces d'autres gaz (SxO_y; NH₃; COV).Le biogaz est essentiellement responsable des mauvaises odeurs. On voit, cependant aussi souvent apparaître des impacts sur la flore locale : asphyxie des végétaux sur décharge ou en bordure, sans parler des risques d'explosion ou d'incendie qui peuvent être importants.

I. 10. Bioconversion des déchets organiques

I. 10. 1. Compostage

a. Définition technique

C'est un procédé biologique contrôlé de conversion et de valorisation des substrats organiques en un produit stabilisé, hygiénique, riches en composés humiques.

b. Définition écologique

C'est le recyclage de matières organiques ayant souvent quitté leur lieu de production par une technique de valorisation de la biomasse qui permet de boucler les cycles naturels.

c. Avantages du compostage :

- Réduire la quantité de déchets organiques présentés dans la poubelle d'ordures ménagères
- Réduire les allers/retours à la benne à déchets verts ou la déchèterie
- Produire du compost

d. Déchets compostables

- Épluchures de fruits et légumes ;
- Thé en vrac ;
- Pain, fromages ;
- Fleurs fanées ;
- Marc de café et filtres ;
- Plantes vertes ;
- Coquilles d'œufs, de noix et noisettes (concassées) ;
- Cendres de bois (à insérer en petites quantités).

I. 10. 2. Paramètres de compostage

Pour réaliser un compost ayant pour rôle d'amender le sol, il est nécessaire de maîtriser quatre paramètres :

- 1.- le taux d'oxygène (O₂) lacunaire,
- 2.- l'humidité,
- 3.- la température,
- 4.- Les caractéristiques physico-chimiques des matières premières.

a. L'oxygène

Le compostage est un procédé biologique aérobie :

- les micro-organismes ont besoin d'oxygène pour fonctionner,
- le volume d'oxygène lacunaire (dans les vides) est primordial,
- les besoins sont particulièrement importants dans les premières phases du compostage (1/3 du volume doit être du vide).

Objectif = maintenir l'aérobiose.

L'aération et les retournements sont particulièrement importants dans les premières semaines du compostage

b. L'humidité

Quand le milieu se dessèche, plus l'activité des bactéries se réduit au profit des champignons.

c. la température

Les micro-organismes produisent de la chaleur en oxydant la matière organique des substrats.

La température optimale du compostage est celle qui permet d'atteindre les objectifs de chaque phase :

- hygiénisation (germes pathogènes, MH) : 60 à 65°C,
- vitesse de dégradation rapide : 45 à 60°C,
- humification active : 20 à 30°C.

Si le compost ne monte pas en température dans les premiers jours du mélange (production de vapeur d'eau, visible en particulier le matin), c'est qu'il manque un des critères de compostage.

I. 10. 3. Les caractéristiques physiques et chimiques du substrat

Les critères majeurs de biodégradabilité des substrats sont :

- le rapport carbone/azote (C/N),
- le pourcentage de matières organiques,
- le pH.
- le rapport C/N

Pendant les phases de fermentation aérobie active, les micro-organismes consomment quinze à trente fois plus de carbone (source principale d'énergie) que d'azote. Le rapport C/N décroît constamment lors du compostage.

- Le pourcentage de matières organiques

Plus que le pourcentage de matières organiques du substrat, c'est la qualité de la matière organique qui déterminera son devenir lors du compostage. Parmi les composés carbonés on peut isoler deux catégories :

- les facilement biodégradables : riches en sucres et hémicellulose et riches en azote (fanés et déchets de légumes, tontes, déchets animaux...),
- les difficilement biodégradables : riches en cellulose et lignine et en carbone (pailles, écorces, tailles...)

Si dans un compost :

- le carbone est en excès :

Compost pas assez dégradé, risque de "faim d'azote" lors du mélange à la terre.

- l'azote est en excès :

Perte d'azote par volatilisation (ammoniac) et peu de fourniture d'humus au sol.

- Le pH

Le pH du compost varie en fonction de la flore qui est en action.

I. 10. 4. Phases de compostage

Les quatre phases biologiques importantes du compostage sont :

- la phase mésophile
- la phase thermophile
- la phase de refroidissement
- la phase de maturation

Durant ces phases, la température est variable. Il y a une courte période de latence qui permet aux micro-organismes de coloniser le compost. Cette période dure environ un jour.

a. Phase mésophile

Il s'agit de la vraie phase initiale du compostage. Ce sont surtout les bactéries et les champignons qui sont actifs durant cette phase. Ceux-ci décomposent les composés simples comme les sucres ou les lipides et certains polymères comme les protéines ou l'amidon. Ces décompositions entraînent une rapide montée en chaleur dans le cœur du compost, jusqu'à 35 °C en quelques heures ou quelques jours. Durant cette phase, l'oxygène est très important puisque les bactéries se multiplient fortement. Cette phase produit des dégagements de vapeur d'eau et de CO₂. Cette phase entraîne une diminution du rapport C/N dont nous reparlerons plus tard et une acidification du compost.

b. Phase thermophile

Il s'agit de la phase la plus chaude du compost et donc celle qui nous intéresse le plus. Cette chaleur est surtout présente dans le milieu du compost. L'élévation de la température entraîne le remplacement des micro-organismes mésophiles par les micro-organismes thermophiles. On les appelle les micro-organismes thermo-tolérants. Il y a donc un arrêt du développement des champignons et le début de celui des actinomycètes. Ce sont surtout les longues chaînes carbonées qui sont décomposées. Puisque la température est plus forte, la décomposition est plus rapide, et les maladies ou les graines présentes dans le compost sont annihilées. A la fin de la phase, le compost aura perdu de l'azote (NH₄⁺ et NH₃), il y aura eu une perte de 50 % du poids du compost en raison de rejet de CO₂. Ainsi le compost diminuera en volume. Cette phase se termine lorsque la température n'augmente plus, même si l'on augmente l'apport d'oxygène. Cela signifie que les composés simples sont épuisés. On dit donc que le compost est « brut », ainsi le compost peut entrer dans une phase de refroidissement lent.

c. Phase de refroidissement

Cette phase commence lorsque l'activité bactériologique diminue en raison d'un manque de quantité de matière organique facilement dégradable. Il y a alors moins de chaleur produite que de chaleur qui se dissipe. Le compost perd alors lentement de la chaleur et descend vers 40-50° C. Cette baisse de température entraîne l'arrivée de nouveaux acteurs comme les champignons, la macro faune composée des lombrics, des cloportes, des vers du fumier et les actinomycètes qui vont dégrader la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Le compost perd ses odeurs désagréables durant cette phase. Durant la phase de refroidissement,

l'humus commence à être formé grâce à l'incorporation de l'azote dans les molécules complexes du compost. Cette phase sera assez lente et pourra durer jusqu'à un mois.

d. Phase de maturation

C'est surtout la macro faune qui s'occupe de cette phase et non les microorganismes. Le compost est alors entièrement transformé en humus, car la matière organique qui composait le compost est simplifiée en substances minérales comme de l'eau, du dioxygène, et du méthane. Ces différents minéraux sont combinés avec les produits de la dégradation de la cellulose et de la lignine, et forment de l'humus. L'humus est stable, ce qui veut dire qu'il ne peut plus se décomposer. Cette phase du compostage est la plus lente mais sa durée varie en fonction des types de matériaux mis dans le compost au départ. La température est d'environ 30°C durant cette phase mais elle continue de diminuer pour atteindre celle de l'air ambiant.

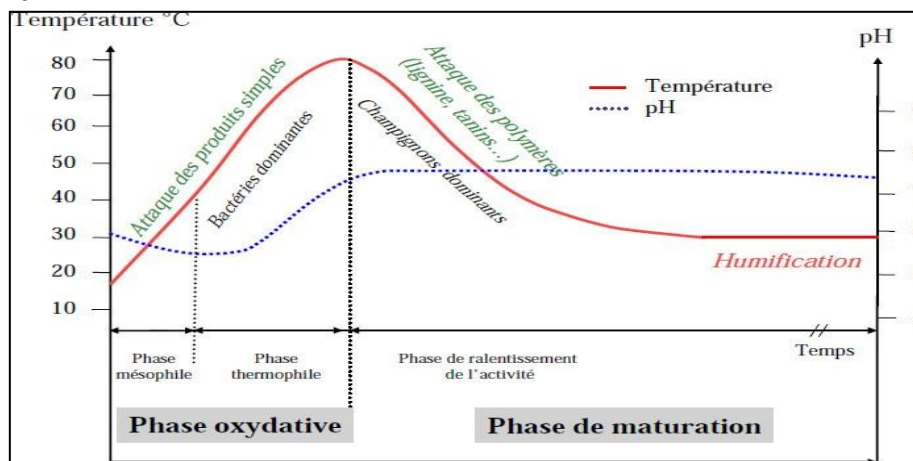


Figure 3 : Courbe théorique des phases, de l'évolution de la température et du pH au cours du procédé de compostage (Mustin, 1987).

I. 10. 5. Méthodes de compostage

a. Compostage à petite échelle

Méthodes traditionnelles : compostage anaérobie et le compostage aérobie avec une aération passive

Méthodes rapides : compostage aérobie à température élevée et compostage aérobie à température élevée avec inoculation.

b. Compostage à grande échelle

Compostage en andain : andains retournés, andains aérés passivement et tas statique aéré.

Compostage en récipient clos : compostage en casier et compostage en casier passivement aéré des déchets municipaux, lits rectangulaires remués, silos, tambours rotatifs et conteneurs transportables.

I. 10. 5. 1. Détermination de la maturité du compost

a. Méthodes empiriques

Il s'agit d'observer et de manipuler le compost pour déterminer s'il est à maturité. Un compost à maturité a les caractéristiques suivantes:

- Il ne dégage pas d'odeur d'ammoniaque;
- Sa température est basse même si l'humidité reste bonne;
- Il est granuleux, foncé et sent bon;

- On y trouve au moins trois types d'arthropodes: des cloportes, des carabes (insectes avec des antennes) et des mille-pattes.

- On ne distingue plus à l'œil nu les composés d'origine.

Cette méthode demande une certaine expérience de la part de la personne évaluant le compost, spécialement pour discerner un compost mi-mûr d'un compost mûr.

b. Méthodes physiques

b. 1. Test de tamisage

Passer le compost dans un tamis de 25 mm.

1. Interprétation des résultats

Si la plus grande partie du compost passe au travers du tamis, le compost est mûr. Cette méthode indique souvent un compost trop mûr, sans grande valeur fertilisante. La méthode est non-valable pour les composts où il y a eu broyage préalable.

b. 2. Suivi de la température

La température fluctue grandement au cours du compostage. Les températures sont au maximum à la ou les phases thermophiles et diminuent par après jusqu'à la température ambiante à maturité. Le suivi de la température peut toutefois être trompeur. Ainsi, la température peut être basse parce que l'aération est déficiente ce qui n'indique alors pas du tout que le compost n'est pas mûr.

Un test simple pour vérifier si le compost est stabilisé est celui de la réhumidification.

1. Méthodologie

Il s'agit de ré-humidifier à 50% le compost et de l'aérer et après un suivi de la température.

L'absence de toute remontée de température indique que le compost est vraiment stabilisé, ce qui ne veut pas nécessairement dire qu'il n'est pas phytotoxique.

b. 3. Test respirométrique)

Il s'agit de mesurer la consommation d'oxygène du compost pour en déterminer la maturité. Le principe en est que le compost en fin de fermentation a une faible consommation d'oxygène et une faible production de gaz carbonique ([Germon et al., 1980](#)).

1. Méthodologie

Détermination de la capacité de rétention en eau du compost:

- Broyer 400 g du compost à évaluer dans un excès d'eau;
- Éliminer l'eau à la centrifugeuse. Re-mélanger et répéter;
- Déterminer par pesée l'humidité du compost.

Mise en incubation du compost:

- Peser une quantité de compost de façon à obtenir un kilogramme de produit humide à 80% de la capacité de rétention en eau;
- A la température de la pièce, mettre l'échantillon dans un pot de 5 litres surmonté d'un bécher contenant 250 ml de soude 2 N pour piéger le gaz carbonique;
- Placer le tout dans un autocuiseur de 22 litres raccordé à un tensio-graphe par un tuyau à vide pour enregistrer la dépression créée par la consommation d'oxygène;
- Incuber pour environ 3 jours à 20°C selon l'intensité de la respiration.

Calcul de la consommation d'oxygène du compost:

$$Q = V \frac{DPm}{76} \frac{32}{24,04} \frac{1000}{Pc} \frac{1000}{t}$$

- où
- Q = mg d'oxygène/kg de compost/heure
 - V = volume gazeux de l'enceinte (volume intérieur - volume du compost et de la soude)
 - DPm = dépression maximum atteinte en cm de mercure
 - Pc = poids sec du compost en grammes
 - t = temps de consommation d'oxygène en heures

2. Interprétation des résultats

On considère qu'un compost est mûr (commercialisable) si sa consommation d'oxygène est inférieure à 40 mg/ kg de produit sec par heure (tableau 5).

Tableau 5 : Consommation d'oxygène de quatre composts d'âges différents en mm³/g de matériel pour des teneurs en eau 45 % et 60 % à une température de 20 °C (Hirai, M.F., V. Chanyasak et H. Kubota. 1984).

Type de compost	45 %	60 %
Compost frais	263,3	305,9
Compost demi-mûr	54,0	53,8
Compost presque mûr	32,0	35,1
Compost mûr	6,2	«3,8

b. 4. Test E₄/E₆

Il s'agit d'une méthode spectrométrique, c'est-à-dire qui fait appel à la propriété d'un corps, d'une solution à absorber la lumière à différentes fréquences. Le rapport de l'absorption lumineuse d'une solution d'acide humique à des fréquences de 465 et 665 nm est appelé rapport E₄/E₆ (Schnitzer, 1982).

1. Matériel nécessaire

- Spectromètre et éprouvettes pour cet appareil
- Bicarbonate de sodium en solution de 0,05 N dans de l'eau distillée.

2. Méthodologie

Extraction de l'acide humique:

- Dissoudre 2 à 4 mg du matériel dans 10 ml de la solution de bicarbonate de sodium. La solution qui en résulte doit avoir un pH approximatif de 8.

Analyse spectrométrique:

- Dans une éprouvette de référence (témoin) mettre seulement la solution de bicarbonate sans compost;
- Mesurer l'absorption lumineuse à des fréquences de 465 et 665 nm;
- Établir le rapport des résultats aux deux fréquences d'absorption.

3. Interprétation des résultats

Un rapport E₄/E₆ inférieur à 5 indique la présence d'acide humique, donc une décomposition avancée alors qu'un rapport supérieur à 5 indique la présence d'acide fulvique, donc une décomposition moins avancée. Plus le rapport est faible, plus le compost est mûr, plus les particules d'humus (et non les particules de matière organique) sont grosses et complexes. A l'inverse, plus le rapport est élevé, moins le compost est mûr.

c. Méthodes chimiques

c. 1. Mesures de pH

Le pH varie beaucoup en cours de compostage pour se stabiliser à la neutralité (pH de 7,0) dans beaucoup de cas à la fin du processus. Bien que facile à déterminer sur les lieux mêmes du compostage, le pH n'est pas une mesure très précise de la maturité du compost.

Ainsi, un pH bas peut indiquer une aération déficiente plutôt qu'un stage précis du processus. Dans le cas de matériaux très acides, le pH final ne sera pas neutre.

c. 2. Test des sulfures (Spohn, 1969)

1. Méthodologie

- Ajouter 25 ml d'acide chlorhydrique 18 % à un bécher de 400 ml contenant une cuillerée à table de compost.
- Couvrir le bécher d'un couvercle muni de bandes de papier à l'acétate de plomb.

2. Interprétation des résultats

- Une coloration de brun à noir sur les bandes indique la présence de sulfures ce qui signifie une plus ou moins grande putréfaction. Le noir indique la présence d'une plus grande quantité de sulfures.
- Un compost mature ne présente aucune coloration sur les bandes car à maturité, tout le soufre est présent sous forme de sulfates.

3. Commentaires

- Ce test facile et rapide indique le potentiel d'oxydo-réduction du compost mais a avantage à être fait en conjonction avec le test suivant, celui de l'azote.
- Le test peut confondre l'anaérobiose et la non-maturité.

c. 3. Test de l'azote

D'après [Spohn \(1978\)](#), Le test de l'azote nécessite le matériel et la méthodologie suivants :

1. Matériel nécessaire

- Solution A : réactif Nessler's (disponible dans le commerce)
- Solution B : 0.2 gr de naphtylamine dissous dans 500 ml d'acide acétique à 20%
- Solution C : 3 g d'acide sulfanilique dissous dans 500 ml d'acide acétique à 20%
- Note: garder les solutions B et C au réfrigérateur
- Poudre de réduction: Mélange de 95 g de sulfate de baryum ($BaSO_4$) pro Roentgen séché à 150 °C, 5g de poudre de zinc et 10 g de sulfate de manganèse $MnSO_4 \cdot H_2O$ p.a.
- Papier-filtre de 9 cm de diamètre
- Anneau plastique de 8 cm de diamètre et 4 cm de hauteur (tuyau coupé en section)

2. Méthodologie

- Placer l'échantillon de compost dans un plat
- Humidifier l'échantillon avec de l'eau distillée en mélangeant avec une cuillère de façon à ce que la surface paraisse humide lorsque pressée
- Séparer un papier-filtre en deux et placer ces deux parties côte-à-côte sur une plaque de verre ou de plastique
- Recouvrir d'un papier-filtre entier
- Placer l'anneau plastique sur le papier-filtre
- Remplir l'anneau avec l'échantillon
- Presser avec la cuillère sur le dessus de l'échantillon de façon à imprégner le papier filtre de liquide
- Disposer simultanément de l'anneau et du papier-filtre complet. On se retrouve avec l'extrait aqueux sur les deux moitiés de papier-filtre.
- Tester la première moitié à l'aide de 7 gouttes de solution A. Si cela devient brun, il y a de l'ammoniac et donc le compost n'est pas mature.

- Déposer 7 gouttes des solutions B et C **sous** l'autre moitié. S'il y a du rouge, des nitrites sont présents.
- Saupoudrer de poudre de réduction **sur** la surface de la même moitié. La couleur rouge apparaîtra après un court moment s'il y a des nitrates.

3. Interprétation des résultats

- Un compost très mûr contient beaucoup de nitrates et très peu d'ammoniaque alors que le compost non mûr contient de l'ammoniaque et peu de nitrates.
- S'il y a de l'ammoniaque et des nitrates simultanément, c'est que le compost est un mélange de compost mature et non-mature ou qu'il y a eu addition d'engrais azoté.
- S'il y a peu d'ammoniaque et peu de nitrates, le compost est à un stade intermédiaire où l'azote est surtout sous forme de protéines vivantes.

c. 4. Test du chrome (Cole, 1992)

Il s'agit d'un test rapide mis au point par Michael Cole à l'université d'Urbana en Illinois. Peu de détails sont en ce moment disponibles car la méthode fait encore l'objet de recherches.

1. Méthodologie

Le compost à évaluer est séché et moulu finement puis mélangé avec du dichromate de potassium et de l'acide sulfurique.

2. Interprétation des résultats

- Une intense couleur verte, formée d'ions de chrome (Cr^{3+}) se développe lorsque le compost n'est pas à maturité.
- Quand le compost est à maturité, une brun-vert boueux apparaît.
- Si une mesure quantitative est nécessaire, la quantité d'ions chrome peut être mesurée par spectrophotométrie à 600 nanomètres.

3. Commentaires

Cette méthode fonctionne bien pour les composts de déchets verts et les composts municipaux mais pas pour les composts à base de boues d'épuration.

c. 5. Rapport C/N

Le rapport C/N est trop variable dans les composts mûrs pour être un bon indicateur de la maturité. Par contre, le rapport du carbone à l'azote **organique** est un excellent indicateur comme l'ont démontré [Hirai et al. \(1984\)](#) à l'aide de l'analyse d'extraits aqueux de différents types de composts.

1. Méthodologie

- Le carbone organique est déterminé comme à l'habitude.
- L'azote organique est calculée comme étant l'azote total moins l'azote inorganique c'est-à-dire l'ammoniaque, les nitrates et les nitrites. On doit donc déterminer les concentrations de ces formes d'azote pour obtenir l'azote organique.

2. Interprétation des résultats

- Un rapport C/N_{org} de 5 ou 6 indique un compost mature.

3. Commentaires

- Ce test n'est pas indiqué pour les composts fait à base de boues d'épurations.

c. 6. Analyse de la DCO

L'évaluation de la demande chimique en oxygène (DCO) est un test fréquemment effectué sur les boues de stations d'épuration et pour qualifier les matières organiques en général. Un compost est considéré à maturité lorsque sa DCO est inférieure à 350 mg/g.

c. 7. Chromatogrammes (Brinton, 1983)

1. Matériel nécessaire

- Disques de papier chromatographique #1 de 15 cm de diamètre
- Mèches faites en roulant sur eux-mêmes des carrés de 20 x 20 mm du même type de papier
- Hydroxyde de sodium (NaOH) 0.25 N pour extraire la matière organique
- Nitrate d'argent 0,5% pour sensibiliser le papier avant le test
- Un contenant Petri, une coupole de verre (watch glass)

2. Méthodologie

Préparation :

- Percer un petit trou au centre du disque de papier qui servira à introduire les mèches
- Indiquer au moyen d'un crayon les rayons de 35 et 50 mm

Extraction des matières humiques:

- Placer 1 partie de compost dans 10 parties de NaOH;
- Extraire pendant 6 à 8 heures en prenant soin de brasser toutes les heures;
- Centrifuger avant utilisation ou laisser les solides se déposer pendant plusieurs heures;

Sensibilisation du papier:

- Placer 1 ml de nitrate d'argent sur le verre et laisser le papier l'absorber par une première mèche introduite dans le disque jusqu'à la marque de 35 mm;
- Retirer le papier et la mèche. Jeter la mèche.
- Laisser sécher le papier de 2 à 4 heures dans un endroit faiblement éclairé où la température ne dépasse pas 29°C.
- On peut prolonger la sensibilisation du papier jusqu'à ce que les premiers signes de jaunissement des oxydes d'argent apparaissent. A ce moment, on passe rapidement à l'autre étape.

Elution de l'extrait humique:

- Placer une nouvelle mèche au centre du disque;
- Placer l'extrait humique sur le verre;
- L'élution doit se faire dans une pièce à atmosphère contrôlée idéalement où la température est de 21°C et l'humidité de 70%.

3. Interprétation des résultats

- Deux données affectent les chromatogrammes: l'extractibilité de l'humus et la qualité de l'humus.
- La proportion d'acide fulvique et d'acide humique dans l'échantillon indique la qualité et le degré de décomposition et affecte l'apparence du chromatogramme. Un humus de qualité et un compost mûr contiendront plus d'acide humique que d'acide fulvique.
- Un fumier frais a tendance à donner une couleur foncée et une zone extérieure épaisse. Par contre, le même fumier composté donne un chromatogramme plus pâle et une zone extérieure plus mince. Les composés simples qui se déplacent plus facilement sont devenus plus rares parce que le compostage a stabilisé ces composés, ce qui explique l'amincissement de cette zone.

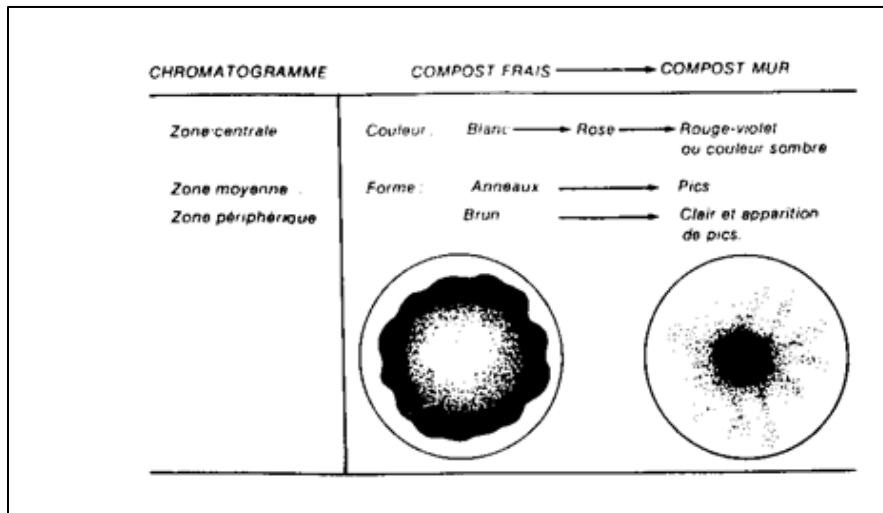


Figure 4 : Aspects des chromatogrammes de différents composts (Spohn, E. 1969).

4. Commentaires

- Cette analyse est purement qualitative et demande une base comparative.
- La différence entre un compost demi-mûr et un compost mûr est difficile à distinguer. Il faut donc voir cette méthode comme un test de la qualité du compost plutôt que comme un outil pratique pour déterminer la maturité du compost.
- Elle est à compléter avec d'autres analyses.

d. Méthodes biologiques

d. 1. Test de Spohn, (1969)

1. Méthodologie

- Remplir de compost un plateau de 38 x 28 x 6 cm
- Epandre 10 g de graines de cresson à la surface
- Couvrir d'une plaque de verre pour le temps de la germination
- Peser le plateau tous les deux jours et remplacer l'eau qui s'est évaporée
- Couper et peser le cresson après 5 jours.

2. Interprétation des résultats

- Si on obtient de 60 à 100 g de cresson, le compost est de qualité.
- S'il s'agit d'un compost de mauvaise qualité, les graines ne germeront pas ou donneront peu de pousses.
- Si le compost n'est pas mûr ou putride, le cresson aura un arrière-goût désagréable.

3. Commentaires

- Les résultats les plus rapides sont obtenus avec le cresson de jardin mais d'autres plantes peuvent être utilisées. L'orge, par exemple, est très sensible à la phytotoxicité.
- Le test est approximatif mais indique la caractéristique la plus importante d'un compost : L'absence de phytotoxicité.

d. 2. Test de germination (WHO, 1978)

1. Méthodologie

- Remplir 15 pots de différents mélanges de sol et compost (exemple: rapport volumétrique de 0:1, 1:3, 1:1, 3:1, 1:0).
- Planter 30 grains d'orges par pot et idéalement faire 3 répétitions.

- Couvrir les mélanges de 200 ml de sable (1-1,5 mm) et laisser germer dans des conditions identiques.
- Récolter après 2 semaines et compter le nombre de germes.

2. Interprétation des résultats

- Les résultats avec le sol sans compost sont considérés comme 100% (traitement sans compost = témoin)

$$\% \text{ de germination} = 100 \times \frac{N_T}{30} \times \frac{N_C}{30}$$

où: N_T = nombre de graines germées dans le traitement
 N_C = nombre de graines germées dans le témoin

3. Commentaires

- En récoltant, séchant et brûlant les germes on peut obtenir d'autres valeurs telles que le pourcentage de rendement, le pourcentage de rendement sur une base sèche et le pourcentage de cendres respectivement.

I. 10. 6. Lombri-compostage

Le terme vermi-compostage (ou lombri-compostage) se réfère à l'utilisation de vers de terre pour composter les résidus organiques (photographie 9). Les vers de terre peuvent consommer pratiquement tous les types de matière organique et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour, par exemple 1 kg de vers de terre peut consommer un kg de résidus chaque jour. Les excréments (turricules) des vers de terre sont riches en nitrates, et en formes disponibles de P, K, Ca et Mg. Le passage du sol à travers les vers de terre favorise la croissance des bactéries et des actinomycètes. Les actinomycètes se développent en présence de vers de terre et leur teneur dans les déjections de vers de terre est six fois supérieure à celle du sol d'origine (Schnitzer, M. 1982).

I. 11. Méthanisation

La méthanisation (ou fermentation anaérobie) est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques en produisant du biogaz qui est source d'énergie renouvelable et un digestât utilisé comme fertilisant.

En l'absence de l'oxygène (digestion anaérobie), la matière organique est dégradée partiellement par l'action combinée de plusieurs types de micro-organismes. Une suite de réactions biologiques (voir schéma) conduit à la formation du biogaz et d'un digestat. Les bactéries qui réalisent ces réactions se trouvent à l'état naturel dans le lisier et dans les écosystèmes anaérobies; il n'est pas nécessaire d'en ajouter, elles se développent naturellement dans un milieu sans oxygène.

I. 11. 1. Déchets méthanisables

Types de déchets organiques qui peuvent être méthanisables :

Déchets d'industries agro-alimentaires

- Co-produits fruits et légumes, déchets d'abattoir, effluents très chargés en matière organique.
- Potentiel méthanogène très fort

Déchets verts

- Déchets des collectivités – tontes de gazon, feuilles etc
- Caractère saisonnier

Boues de STEP

- Boues primaires et secondaires

Graisses

- Bacs de dégraissage de restaurant
- Potentiel méthanogène très fort
- Graisses de flottation

Les déjections animales :**Le lisier**

- État liquide qui facilite sa manipulation et dilue les autres déchets
- Apporte des micro-organismes anaérobies
- Il stabilise le PH en facilitant les réactions bactériennes et assure une stabilité du milieu
- Faible pouvoir méthanogène

Le fumier

- Taux de matière sèche élevé
- Support pour les bactéries
- Plus difficiles à manipuler et plus chers à utiliser (injection dans le digesteur et brassage énergétivore)
- Ils sont utilisés mélangés avec le lisier puis envoyés par pompe dans le digesteur ou introduits à l'aide d'une trémie

Les cultures

- Potentiels méthanogènes intéressants et peuvent être utilisés à des fins énergétiques
- Cependant il n'y a pas de prime en France pour l'utilisation des cultures énergétiques

Les résidus des cultures (pailles, tontes, fanes)

- Hautes teneurs en carbone et facilement assimilables dans le digesteurs – bons substrats pour la méthanisation

Les co-substrats

Les quantités et le potentiel méthanogène des produits issus de la ferme seulement sont réduits pour une installation rentable. Il faut trouver des substrats pour une co-digestion. Ils proviennent des :

- Industries agro-alimentaires (déchets de légumes ou de fruits, petit lait, huiles, graisses)
- Collectivités (tontes, feuilles, bio-déchets des ménages, boues de station d'épuration)
- Déchets des restaurations, grandes et moyennes surfaces.

I. 11. 2. Avantage de la méthanisation

La méthanisation, du fait des réactions biologiques, entraîne une diminution considérable de la charge organique, donc de la charge polluante du substrat digéré. Elle est donc, une dépollution à part entière. Une méthanisation correctement contrôlée conduit à des taux d'épuration très élevés.

Elle présente également d'autres avantages :

a. Avantages Économiques

- Revenus supplémentaires
- Autonomie en chaleur dans un contexte d'accroissement du coût des énergies fossiles

- Diversification des débouchés pour les cultures
- Réduction de l'achat des engrais par la valorisation des digestats

b. Avantages Agronomiques

- Transformation du lisier et du fumier en un produit fertilisant, plus facilement assimilable par les plantes, avec diminution des odeurs et des agents pathogènes
- Traitement des déchets organiques à des prix compétitifs
- Suppression des insectes de la fosse de stockage
- Suppression des odeurs

c. Avantages Environnementaux

- Le biogaz issu par la méthanisation est source d'énergie renouvelable car il se substitue à l'énergie fossile
- Réduction de la pollution due au lessivage de l'azote (cf rubrique digestats)
- Gestion durable des déchets organiques.

I. 11. 3. Phases de méthanisation

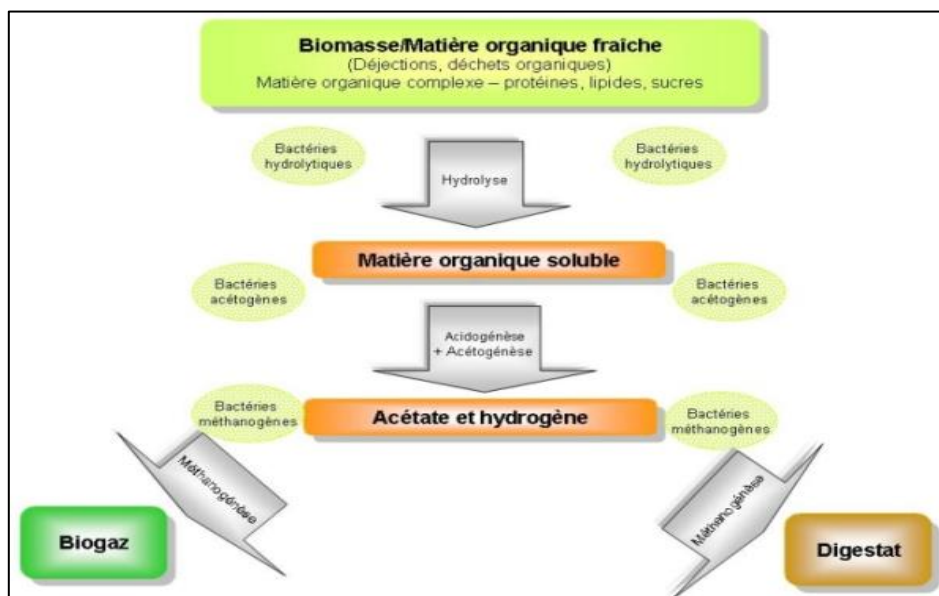


Figure 5 : Phases de méthanisation.

1. Hydrolyse

Les macromolécules organiques se décomposent en éléments plus simples – le déchet solide est ainsi liquéfié et hydrolysé en petites molécules solubles (ex. la cellulose est transformée en sucres solubles tels que la glucose ou le cellobiose).

2. Acidogénèse

Transforme ces molécules simples en acides de faibles poids moléculaire tel l'acide lactique et les acides gras volatils de 2 à 5 atomes de carbone. Parallèlement sont produits des alcools de faible poids moléculaire, tel que l'éthanol du bicarbonate et de l'hydrogène moléculaire.

3. Acétogénèse

Les produits résultant de l'étape de fermentation nécessitent une transformation supplémentaire avant de pouvoir produire du méthane. C'est ici qu'interviennent les bactéries réductrices acétogènes et des bactéries sulfato-réductrices, productrices d'hydrogène sulfuré H_2S

4. Méthanogénèse

La phase ultime au cours de laquelle deux types de bactéries méthanogènes prennent le relais : les premières acétogènes réduisent l'acétate en méthane, CH_4 et bicarbonate. Les secondes, réduisent le bicarbonate en méthane.

I. 11. 4. Paramètres de méthanisation

Certains facteurs affectent le procédé de digestion anaérobie, tels que le pH, la température ou le potentiel d'oxydoréduction. Ces facteurs se doivent de rester stables.

1. pH

Le pH optimisant les réactions chimiques se situe autour de la neutralité. En effet, les bactéries hydrolytiques et acidogènes préfèrent un pH autour de [5,5-6] tandis que les bactéries acétogènes et méthanogènes ont une activité maximale dans une gamme de pH située autour de 7.

Cependant, la méthanisation peut se produire dans un milieu légèrement acide. Une chute de pH serait signification d'un dysfonctionnement du processus, c'est-à-dire que la production d'acide gras volatil serait supérieure à leur consommation et cela ralentirait considérablement le processus.

2. Température

La température influe également sur le processus de digestion anaérobie. La digestion anaérobie ne produisant pas de chaleur significative, il est donc nécessaire de chauffer le méthaniseur dans le but d'avoir une température convenable à l'activité des bactéries. On peut définir deux plages de température optimale : la zone mésophile (autour de $35^\circ C$) et la zone thermophile (entre 55 et $60^\circ C$). Si la température se situe de part et d'autre de cette zone ($35-60$), on remarquera une décroissance de l'activité.

De plus, l'importance de la température est notable sur le fait qu'il s'agit d'un paramètre permettant l'élimination des agents pathogènes (ceux-ci nuisant au processus).

3. Potentiel d'oxydoréduction

Le potentiel d'oxydoréduction nécessaire est très bas. Il représente l'état de réduction du système. Il affecte l'activité des bactéries méthanogènes qui exigent un potentiel d'oxydoréduction inférieur à 330 mV pour débiter leur croissance.

I. 12. Incinération

But, produits issus de l'incinération des déchets ménagers, paramètres d'incinération, post-traitements (des gaz, cendres volantes et mâchefers), types de fours.

I. 12. 1. But de l'incinération

L'objectif de l'incinération des déchets est de traiter les déchets de manière à réduire leur volume et dangerosité, tout en capturant (et donc en concentrant) ou en détruisant les substances potentiellement nocives qui sont, ou peuvent être, rejetées lors de l'incinération. Les processus d'incinération peuvent aussi fournir un moyen pour permettre le recyclage de l'énergie, de la teneur en minéraux et/ou éléments chimiques des déchets.

I. 12. 2. Avantages de l'incinération des déchets

L'incinération avec récupération d'énergie. Réduire le volume des déchets, de presque 90 %, c'est bien. En profiter pour produire de l'énergie, c'est mieux. En brûlant une tonne de déchets ménagers, on peut en effet produire environ 700 kWh d'électricité ou, mieux encore, jusqu'à 1.500 kWh de chaleur. Si la rentabilité de la valorisation énergétique des déchets n'est pas toujours assurée, la récupération est aujourd'hui globalement adéquate, d'autant qu'elle est totalement indépendante des prix du pétrole et du gaz.

I. 13. Recyclage

Importance du recyclage

De nos jours, trier et **recycler les objets** et les emballages est essentiel. Notre société tente de **sensibiliser** la population à l'importance du recyclage pour la préservation de l'environnement. Des campagnes publicitaires ont été lancées à ce sujet. **Recycler** est le procédé par lequel les déchets se convertissent en **matière première réutilisable** pour la création de nouveaux objets. Sur toutComment.com, nous vous expliquons **l'importance du recyclage** et nous vous encourageons à le pratiquer.



Figure 6 : Logos de recyclage.

I. 13. 1. Étapes de recyclage

Étape 1 : Il est important que les déchets soient triés en tenant compte de leur emballage. Pour cela, déposez-les dans les poubelles destinées à cet effet.

Étape 2 : Recycler suppose une grande économie de matière première. Si nous utilisons la matière déjà existante, nous préserverons les ressources à long terme.

Étape 3 : Recycler permettra d'économiser beaucoup d'énergie et de réduire la pollution. Avec le recyclage l'homme n'aura pas besoin de créer beaucoup d'objets. Il pourra réutiliser les objets existants, et générera peu de pollution.

Étape 4 : Le recyclage permet également de protéger la couche d'ozone et de favoriser l'effet de serre tellement nécessaire à la vie de la terre. Ainsi nous maintiendrons la chaleur des gaz qui nous protègent et nous éviterons le changement climatique.

Étape 5 : Il est très important de tenir compte du fait que certains produits ne se recyclent pas. Ils sont considérés comme des résidus dangereux et ne peuvent pas être réutilisés. Parmi eux vous trouverez certaines huiles, la peinture et quelques plastiques, que vous devez déposer dans un point de ramassage de résidus, pour qu'ils les traitent convenablement.

I. 13. 2. Conseils

- Bien trier les matières selon leur nature.
- Déposer les matières dans un point approprié pour leur recyclage.
- Éviter l'usage de produits et gaz qui dangereux pour l'atmosphère.

Chapitre II : Déchets industriels spéciaux (DIS)

II. 1. Introduction

II.1.1. Définition

Les déchets industriels sont dits «spéciaux», lorsqu'ils sont toxique ou dangereux, ils ne peuvent pas être éliminés avec les autres déchets, et s'ils sont éliminés sans précaution, ces déchets peuvent menacer les personnes et les milieux naturels : contamination des ressources en eaux en cas de dispersion sauvage de polluantes ou d'infiltration de polluants dans le sol (exemple: sites de stockage non contrôlée), atteintes directes à la vie humaine (voisins, travailleurs,...) ou animales sous l'effet de substances toxiques : introduction dans le milieu naturel de substances stables ayant un effet toxique à long terme, certain ayant la propriété de s'accumuler dans les organismes vivants ou de se concentrer le long des chaînes alimentaires.

II. 1.2. Types

Les déchets industriels sont complexes. Chaque secteur d'activité produit des catégories de déchets bien spécifiques. En France Professionnels et Chercheurs se sont accordés pour définir la typologie des déchets industriels. Ceux-ci sont regroupés en trois catégories principales et représentent à elles seules environ 150 millions de tonnes. Il existe plusieurs catégories de DIS.

a. Les déchets inertes

En général, ils sont constitués d'éléments minéraux stables ou inertes au sens de leur éco-compatibilité avec l'environnement. Ils de certaines activités d'extractions minières ou de déblais de démolition (terre, gravats, sables...). Ils peuvent être utilisés pour le

remblaiement et les travaux routiers. Leur production est estimée à environ 100 millions de tonnes par an.

b. Les déchets industriels banals (DIB)

Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastiques, cartons, bois, produits par des activités industrielles et commerciales. Ces déchets peuvent être éliminés par les mêmes techniques que celle utilisées pour les ordures ménagères. Leur quantité est évaluée à 40 millions de tonnes.

c. Les déchets industriels spéciaux (DIS)

Cette appellation est récente. Elle a remplacé depuis la loi du « 13 juillet 1992 » la dénomination « déchets générateurs de nuisances ». Dans l'attente du décret qui donnera une définition précise du DIS, on admet qu'il s'agit d'un déchet spécifique de l'activité industrielle. Ils contiennent des éléments nocifs et dangereux pour l'homme et son environnement, ceci pour différentes raisons : toxicité due à la présence de substances chimiques ou biologiques, risques d'incendie et d'explosion. Ces DIS relèvent donc de dispositifs spéciaux d'élimination par opposition à ceux qui peuvent être assimilés aux déchets ménagers.

Sur l'ensemble de la production, on distingue actuellement trois grandes catégories de DIS :

- le un tiers (1/3) de déchets à dominante organique (résidus hydrocarbures de la pétrochimie, goudrons, solvants). – le 1/3 de déchets minéraux liquides (acides, bases, bains de traitements de surfaces). – le 1/3 de déchets minéraux solides (catalyseurs usés, sables de fonderie, boues d'hydroxydes métalliques).

Mais lorsque l'on parle de DIS on se heurte inévitablement au problème de déchets de même nature qui peuvent avoir d'autres origines que l'activité industrielle, c'est le cas des DTQD et des emballages souillés ;

d. Le casse tête des Déchets Toxiques en Quantités Dispersées (DTQD).

Il s'agit d'un gisement dispersé, d'origines très diverses, généré par les PME - PMI, mais aussi par les ménages et les collectivités locales. Ces déchets vont de la bouteille de tri-chloro-éthylène du particulier aux reliquats de pesticides et fongicides du cultivateur, jusqu'aux déchets de la petite PMI de traitement de surface. Ils représentent aujourd'hui le point faible du dispositif français de traitement des déchets spéciaux. La gestion des DTQD pêche en effet par 4 faiblesses :

- un vide réglementaire préjudiciable, - une méconnaissance du gisement réel, - un système de collecte et de traitement inadapté aux faibles quantités. - une sensibilisation des producteurs encore trop imparfaite.

Les DTQD, du point de vue qualitatif, ce sont des DIS ; la seule distinction est donc quantitative. Toutefois il n'y a pas pour le moment de seuil réglementaire fixant la limite entre DIS et DTQD. Mais cette ambiguïté commence à prendre de l'importance à mesure que les conséquences de leur mauvaise gestion apparaissent. En effet l'élimination irrégulière de DTQD par un rejet dans le milieu naturel (déversement dans les égoûts, mise en décharge), correspond à des pointes de pollution et à l'accumulation de métaux lourds (cuivre, chrome, zinc provenant des ateliers de traitement de surface). C'est pourquoi aujourd'hui une véritable gestion de ces DTQD se met en place et la mobilisation de gisements de déchets en petites et moyennes quantités devient une priorité des pouvoirs publics. (Yvon BRIAND, 1995).

e. Les emballages souillés : DIB ou DIS ?

En fonction de la nature du produit qu'il a contenu et de sa teneur résiduelle, l'emballage sera classé Déchet Industriel Banal ou Déchet Industriel Spécial. Ainsi pour son élimination, le déchet banal doit faire l'objet d'une valorisation nécessitant dans certains cas un traitement préalable. De même, le déchet dangereux peut être rendu banal grâce à un pré traitement qui permet alors sa valorisation. Si cela n'est pas possible, alors il sera détruit en centre de traitement collectif. Le problème de ces emballages repose donc sur le statut du déchet (DIB ou DIS), ou encore sur la terminologie à employer (emballage souillé, emballage à caractère spécial ou emballage contaminé).

Bien que les emballages souillés soient répertoriés dans la nomenclature française des déchets (code 305) : ils ne sont pas définis précisément. En effet le terme emballage souillé pourra en fonction des interlocuteurs aussi bien désigner le cagot en polystyrène de poissons, le flacon ayant contenu des cyanures ou encore le fût de solvants ! Les producteurs de ces déchets ne peuvent donc pas déterminer ceux qui doivent être considérés comme DIS et leur appliquer les traitements appropriés. Que doivent donc faire les détenteurs d'emballages ayant contenus des produits dangereux ou toxiques ? C'est pour répondre à cette question que l'ADEME a lancé une étude début 1995 dont les résultats seront mis à la disposition des détenteurs de ces emballages souillés et des professionnels chargés de leur valorisation. (Hervé PERNIN, 1995).

Mais au delà des luttes d'influences, des conflits d'intérêts et des divergences sur les priorités à fixer pour l'élimination de ces déchets d'emballage, les enjeux restent les mêmes : assurer la sécurité des personnes et préserver l'environnement.

Au niveau national la production annuelle de DIS est de l'ordre de 7 millions de tonnes par an. (source : CEREN 1990). Ces DIS relèvent de dispositifs spéciaux d'élimination correspondant soit à une filière interne à leur production soit à une filière externe dans des centres collectifs.

Trois possibilités s'offrent aux industriels pour leur élimination :

- Le traitement : il existe aujourd'hui 2 voies principales l'incinération (l'évapo-incinération qui lui est liée) et le traitement physico-chimique.
- La valorisation : certains DIS répondant à des caractéristiques précises peuvent donner lieu à une valorisation matière ou une valorisation énergétique.
- Le stockage : en Centre d'Enfouissement Technique (CET) de classe 1 (encore appelé décharge de classe 1) ou en mine de sels ; pour des déchets ne pouvant être ni valorisés ni traités ou pour les déchets issus des traitements cités ci-dessus.

On cite d'autres types de déchets industriels spéciaux tels que :

- déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) ;
- emballages vides souillés ;
- solvants souillés, recyclables ou à incinérer ;
- fluides d'usage ;
- huiles usagées ;
- bains et boues de traitement de surface ;
- piles et batteries ;
- Déchets toxiques en quantités dispersées (DTQD) : Déchets spécifiques au même titre que les DIS, mais produits de manière éparse et limités en quantité.
- Déchets radioactifs : Catégorie à part entière, spécifique par : la dangerosité même du produit les particularités de gestion (manutention, conditionnement, collecte et traitement) ; l'obligation d'une gestion par des organismes spécifiques dès la sortie du lieu de production du déchet.

Ces déchets industriels spéciaux doivent être triés et bénéficier d'un traitement spécifique adapté. Les DIS doivent impérativement être stockés dans des conteneurs spéciaux, et traités dans des centres adaptés :

- centres de valorisation par récupération ou régénération de déchets ;
- centres de regroupement et de prétraitement de déchets ;
- ou centres de traitement de déchets industriels.

II.1.3. sources de production

Parmi les secteurs d'activité, la métallurgie se distingue du fait de la masse particulièrement importante des déchets qu'elle génère. On peut noter la part prépondérante (55 %) de la mise en décharge, ainsi que la part significative de la valorisation (36 %). Il faut souligner le recours important à la mise en décharge principalement dans le secteur de la métallurgie. Ce qui est d'autant plus problématique avec l'échéance de 2002, la suppression des décharges traditionnelles. Le tableau 6 regroupe certaines sources de productions des DIS.

Tableau 6 : Déchets dangereux produits par les industries et les entreprises (source : Environmental Protection Agency, (1986)).

Génération de déchets	Types de déchets
Fabricants chimiques	Acide et base ; Solvant ; Déchets réactifs ; Eaux usées ; Matières organiques.
Imprimeries	Solutions métalliques ; Encre ; Solvant ; Contenants d'encre ; Métaux.
Industrie pétrolière	Eaux usées ; Benzène et autres ; Hydrocarbures ; Reste de processus d'affinage.
Fabricants de produits en cuirs	Toluène et benzène
Industrie du papier	Contenants de peinture ; Métaux ; Solvant
Industrie de la construction	Perte de peinture ; Solvant ; Acide et base en forte concentration
Fabrication du métal	Métaux ; Perte de cyanure ; Perte de peinture.

II.1.4. critère de dangerosité

II.1.5. Nomenclature

L'établissement d'une nomenclature est une nécessité pour une gestion plus efficace et un contrôle plus étroit du devenir des DIS dans le circuit production - transport - élimination. Et surtout pour établir un langage commun à l'ensemble des partenaires concernés par les problèmes de déchets : Industriels, Collectivités territoriales, Services administratifs, Etablissements Publics, Associations et Partenaires Sociaux. Jusqu'à présent, les DIS étaient identifiés et répertoriés en France selon une nomenclature issue des lois de 1975 sur les déchets et de 1976 sur les installations classées. Cette classification date de 10 ans et comprend une centaine de catégories de déchets (code C). Mais dans le cadre de l'harmonisation au niveau européen, une nouvelle nomenclature est en préparation, elle s'appuiera sur le catalogue européen des déchets, classification adoptée par la Commission

Européenne en 1993, et sur la liste européenne des déchets dangereux de 1994 (voir annexe n° 1). A noter que la liste européenne des déchets dangereux résulte d'une proposition Franco-allemande prenant en compte les concepts en vigueur dans les deux pays.

II.1.6. stockage

Le stocker des produits dangereux, doit se faire en sécurisant les **plateformes** ou les rayonnages afin d'éviter les chutes. De même, du matériel de rétention peut être utilisé pour éviter une potentielle fuite (rayonnages de rétention, bacs de rétention).

Un tri rigoureux des déchets est nécessaire. Vous devez vous équiper de bennes appropriées. Il en existe de différentes sortes : des bennes bi-chariots, des bennes auto-basculant, des bennes à basculement et retour automatique, des bennes à déchets à fond ouvrant et enfin des conteneurs à déchets en plastique.

De plus, le stockage des déchets industriels doit se faire à l'abri des intempéries. Il est également conseillé de ne pas mélanger les déchets car un déchet non dangereux pourrait le devenir.

Enfin, il faut noter que le recyclage est préférable à la destruction ou au stockage

II.2. Traitements physico-chimiques

II.2.1. Neutralisation

L'intérêt essentiel de la neutralisation est de réduire la toxicité des déchets et donc d'autoriser un stockage moins dangereux pour la santé humaine et l'environnement. La toxicité résiduelle de ces produits n'est pas pour autant anodine et justifie un traitement final par des centres autorisés.

Ceux qui peuvent être neutralisés sont : * les acides minéraux et les acides organiques aliphatiques (méthanoïque, éthanoïque, propanoïque...) de faible concentration c'est-à-dire $c < 1$ mol/L avec une solution de base (hydrogénocarbonate ou carbonate de sodium, soude) jusqu'à obtenir un mélange de $\text{pH} = 8$. Pour les solutions plus concentrées, les diluer avant de les neutraliser.

* la plupart des bases minérales après neutralisation par un acide minéral (HCl ou H_2SO_4) jusqu'à $\text{pH} = 8$

* la plupart des oxydants neutralisés par des réducteurs et des réducteurs neutralisés par des oxydants : - liqueur de Fehling - eau oxygénée - solutions de di-iodure neutralisées - solutions de thiosulfate de sodium ou potassium - solutions de permanganate de potassium

* les amines après neutralisation en milieu acide

* les alcools comme le méthanol, l'éthanol, les propanols, l'éthylène-glycol.

* les solutions renfermant des ions métalliques alcalins ou alcalino-terreux jusqu'à $\text{pH} = 8$ [source : [ADEME 2013](#) (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)].

II.2.2. Précipitation chimique

Le traitement physico-chimique des déchets peut se faire par centrifugation ou ultrafiltration, qui consiste à séparer les phases huileuses et aqueuses dans les déchets organiques. La neutralisation et la précipitation chimique sont utilisées sur les boues polluées, préalablement au traitement et à leur dépollution.

A titre d'exemple, la précipitation des métaux lourds. Les métaux ioniques sont convertis en une forme insoluble (particule) par la réaction chimique se produisant entre les composés des métaux solubles et le réactif précipitant. Les particules formées par cette réaction sont retirées de la solution par décantation et/ou filtration.

II.2.3. Oxydation/réduction

L'oxydation chimique permet de dégrader les polluants entièrement ou partiellement par l'ajout d'agents oxydants tels que le peroxyde d'hydrogène, l'ozone, le permanganate et le persulfate de potassium ou sodium. Les réactions chimiques entre les polluants et les oxydants s'effectuent en phase dissoute. L'oxydation chimique est, le plus souvent, utilisée pour le traitement de polluants organiques et s'effectue in situ. Il existe deux types de systèmes de mise en place de l'agent oxydant : l'injection et le malaxage, une technique plus récente et novatrice, cependant très peu utilisée.

La réduction est de plus en plus utilisée, la réduction est utilisée dans le but :

- soit de détruire totalement ou partiellement des polluants organiques (aboutissant à la minéralisation totale des polluants ou à la formation de sous-produits de dégradation généralement plus biodégradables) ;
- soit de réduire les polluants inorganiques afin de les stabiliser ou les rendre moins toxiques.

II.2.4. Sorption thermique

Le traitement par désorption thermique consiste à chauffer les déchets industriels pollués à l'aide de tubes afin d'évaporer les composés volatils et ainsi pouvoir les aspirer en aval.

Les éléments chauffants sont généralement constitués de tubes concentriques avec un brûleur en tête. Celui-ci produit des gaz chauds qui descendent le long du tube interne et remontent le long du tube externe dont la température dépendra du point d'ébullition des polluants à vaporiser (ne dépassant pas 500 °C). La chaleur est alors transmise par conduction à travers le déchet.

II.2.5. Stabilisation/solidification

Certains déchets non valorisables, à fortes teneurs en substances solubles, ou présentant une structure poudreuse ou fibreuse susceptible d'être disséminée nécessitent un traitement de stabilisation solidification, écartant tout risque de pollution de l'environnement. Ces procédés utilisent trois catégories de procédés qui sont le confinement par les liants hydrauliques, par des liants organiques, ou par la vitrification avec ou sans apport de verre. Ces procédés consomment plus ou moins d'énergie et sont sélectionnés en fonction de leur performance vis à vis du produit à confiner. La technique de stabilisation physico-chimique s'applique en priorité aux polluants métalliques, tels que le plomb, zinc, cadmium, arsenic, mercure, chrome.

II.2.6. Injection en puits

En règle générale, le réservoir réceptacle retenu pour l'injection devra : - être un aquifère à eau salée, c'est-à-dire qu'il devra contenir une eau de gisement impropre à toute consommation humaine, industrielle ou agricole.

- être confiné verticalement par des couvertures s'opposant à la migration des effluents vers des aquifères à eau consommable.

- avoir une perméabilité, une porosité, une épaisseur, une extension horizontales suffisantes pour agir comme réservoir d'emmagasinement de l'effluent injecté à des pressions ne dépassant pas les normes de sécurité (l'existence de pressions statiques de gisement anormalement élevées peut condamner un projet d'injection). Être tel que l'hydrodynamisme, c'est-à-dire l'écoulement naturel dans le réservoir, se fasse dans le sens des salinités croissantes des eaux de gisement (figure 7).



Figure 7 : Puits d'injection des déchets industriels.
Source : (<https://www.injection+en+puits+dechets>).

II.3. Traitements thermiques

II.3.1. Incinération

L'incinération est la technique la plus ancienne et repose sur la combustion des déchets. Les hautes températures détruisent les polluants ou les volatilisent. Notons que les métaux demeurent dans les cendres ou les vapeurs.

En élevant fortement la température du déchet pollué, les polluants sont convertis en dioxyde de carbone et vapeur d'eau, ainsi qu'en différents résidus de combustion. La transformation des polluants en molécules inoffensives simples permet de classer cette méthode parmi les plus efficaces.

II.3.2. Pyrolyse

La pyrolyse est l'application de chaleur en l'absence d'oxygène pour extraire du déchet par volatilisation les polluants volatils et semi-volatils. La technique est de plus en plus concurrentielle (performante) face à l'incinération.

La pyrolyse consiste à introduire les déchets industriels dans une unité de pyrolyse où elles seront chauffées en l'absence d'oxygène jusqu'à des températures comprises généralement entre 150 et 540 °C. Cette augmentation de température a deux buts :

- favoriser la désorption des contaminants fortement adsorbés sur les particules du sol,
- augmenter la tension de vapeur des composés peu volatils afin de pouvoir les volatiliser et les extraire en phase gazeuse.

L'absence d'oxygène lors de l'élévation de température permet d'éviter la formation de sous-produits toxiques (par exemple, les dioxines (tétrachloro-2, 3, 7, 8 dibenzo-para-dioxine (TCDD))).

La pyrolyse est toujours accompagnée d'une récupération des vapeurs émises durant le procédé. Ces vapeurs subissent une série de traitements après extraction : récupération des

particules puis élimination des composés organiques et du monoxyde de carbone. Ces composés peuvent être détruits (brûleur, oxydation catalytique) ou transférés sur un autre milieu (condenseur ou charbon actif).

Bien que la pyrolyse ne soit pas conçue à l'origine comme procédé de destruction, il arrive que certains composés soient altérés dans le réacteur, partiellement ou complètement, sous l'effet de la température.

Il est à noter que l'application de la pyrolyse s'effectue à des températures moyennes contrairement à l'incinération. Ainsi, une fois traité, le rendu n'est pas une cendre mais un déchet brûlé qui peut être intégré à divers matériaux : ciments, matériaux servant à recouvrir les décharges.

II.3.3. Oxydation hydrothermale

L'oxydation hydrothermale (OHT) – appelée aussi oxydation en voie humide (OVH) – est un **procédé propre** émergent qui apporte de nouvelles solutions de **traitement de résidus organiques variés**. Ce traitement consiste à traiter différents effluents à forte teneur organique en utilisant les propriétés de l'eau à haute température et haute pression. Cette technologie a pour avantage de générer une dégradation efficace et contrôlée de composés organiques humides pour lesquels l'incinération ne représente pas une option rentable (effluents de l'industrie chimique, boues de station d'épuration des eaux, etc.). L'OHT ne nécessite **pas de solvant ni de produits chimiques**. La récupération de l'énergie dégagée est même possible et ce, sans dégagement d'indésirables tels les dioxines ou furanes.

II.3.4. Vitrification

La vitrification est la transformation du déchet par la chaleur en un matériel fondu qui après refroidissement devient un verre encapsulant les polluants. La technique est fonctionnelle mais peu utilisée car elle engendre des coûts importants du fait de la consommation énergétique du procédé. La vitrification a des applications intéressantes dans le cas de déchets contaminés par des métaux ou certains radionucléides. Cependant, au final, les métaux sont immobilisés.

Chapitre III : Déchets de soins à risque infectieux (DASRI)

III.1 Définition

Les déchets d'activités de soins sont des déchets qui proviennent des soins médicaux ou vétérinaires, ou du secteur de la recherche médicale. On évalue le gisement annuel en France à environ sept cent mille tonnes. Du fait de leur grande diversité, il est difficile de les classer de manière claire. En effet, les déchets d'activités de soins ont des provenances variées, qui vont des déchets de cuisine aux déchets humains et des caractéristiques toutes aussi variées. Par ailleurs, il n'est pas toujours évident de marquer un seuil entre un déchet hospitalier ne présentant aucun risque et un déchet contaminé.

III.2 Types de déchets médicaux

Les déchets d'activités de soins (DASRI) sont :

- les déchets présentant un risque infectieux pour d'autres organismes vivants ;
- les déchets en l'absence de risque infectieux, l'un des déchets suivants :
- les déchets piquants, coupants ou tranchants qu'ils aient été exposés à des produits biologiques ou non ;
- Les produits sanguins à usages thérapeutiques partiellement utilisés ou arrivés à péremption ;
- Les déchets anatomiques humains non aisément identifiables ;
- les déchets mous : Coton, compresses, pansements, tous types de sondes, cathéters, poches et tubulures, tout matériel à usage unique souillé (gants, sur-blouses, masques, bouches d'aspiration, champs, haricots...), matériel provenant d'une chambre de patient en isolement septique, membrane de dialyse, plâtres souillés de sang, déchets anatomiques non identifiables ;

- les déchets piquants, coupants, tranchants (PCT) : Aiguilles, trocards, ampoules cassées, petit verre, bistouris, lames, rasoirs, scalpels, broches, vis, agrafes, mandrins de cathéters, cloches à hémocultures, corps de pompes montés, lancettes non protégées, perforateurs de tubulures, tubes de sang ;
 - les déchets semi-liquides objets perforants : Boîtes de petri, tubes de prélèvements sanguins, pinces à célioscopies, poches et bouchons d'aspiration pleins, redons, flacons de verre cassés / souillés ;
 - les pièces anatomiques aisément identifiables par un non spécialiste, destinées à la crémation ;
 - les déchets assimilables aux DASRI les déchets issus des activités d'enseignement, de recherche et de production industrielle (médecine humaine et vétérinaire) ainsi que les déchets issus des activités de thanatopraxie lorsqu'ils présentent une des caractéristiques présentées précédemment.
- Tous ces déchets sont soumis à la réglementation DASRI, concernant le tri, l'emballage, les modalités d'entreposage, ainsi que la traçabilité des DASRI.

III.3 Législation

Si la quantité de DASRI est supérieure à 15 kg par mois, les DASRI devront être entreposés dans un local dédié et à la contenance suffisante. Le local doit être éclairé, ventilé, doté d'une arrivée d'eau et d'une évacuation, pour prévenir les risques d'incendie. La mention déchets dangereux doit paraître de manière claire sur la porte, le sol et les murs doivent être facilement lavables, pour être nettoyés régulièrement. Chaque déchet déposé dans le local doit être emballé dans le respect de la réglementation et doit être prêt pour le transport.

Si la quantité de DASRI est inférieure à 15 kg par mois, une zone identifiée peut suffire pour entreposer les déchets (un local fermé et dédié aux DASRI n'est pas obligatoire), à condition qu'elle soit à distance de toute source de chaleur, et qu'elle soit signalée de manière claire, avec un accès limité.

III.4 Responsabilité et tri

Le tri est régi par un protocole et permet d'éviter les surcoûts inutiles. Il doit être réalisé par les producteurs directement. Le mélange des déchets d'activités de soins avec tout autre type de déchets est formellement interdit par le code de santé publique. En conséquence, tout mélange de déchets contenant une part de DASRI doit être traité comme DASRI.

Le tri assure

- la sécurité et l'hygiène
- le respect de l'environnement
- le contrôle de l'incidence économique (diminution des coûts de traitement, valorisation déchets et création d'emplois).

La séparation des DASRI à la source se fait par l'utilisation d'un système à 3 compartiments (figure 8) qui doivent équiper tout support fixe (plan de travail) ou mobile (chariot ou guéridon) de soins (Agence Nationale Algérienne des déchets, 2019).

DÉCHETS MÉNAGÉS ET ASSIMILÉS (DMA)

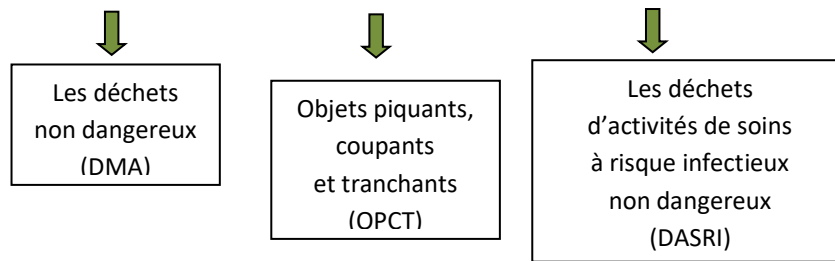


Figure 8 : Séparation des DASRI.

Les dispositifs médicaux souillés par les médicaments cytotoxiques (à titre d'exemple, poches, tubulures, pipettes, compresses, gants etc.), sont considérés comme DRCT et collectés dans des contenants de couleur rouge adaptés à leur nature. Ces contenants doivent obligatoirement porter un étiquetage de la catégorie du déchet « cancérogènes chimiques potentiels » et le symbole relatif à « toxique »

III. 4.1 Collecte

Les déchets triés sont collectés dans des récipients adaptés, lesquels doivent être conformes aux normes. Elles imposent au fabricant de faire apparaître sur les emballages majoritairement jaunes :

- la référence commerciale de l'emballage et identification du fabricant ;
- la capacité utile en litres ;
- la limite de remplissage correspondant à la capacité utile ;
- le symbole graphique "risque biologique"

D'après l'Agence Nationale Algérienne des déchets (2019), le circuit de collecte interne est le trajet suivi par les DASRI avant leur évacuation vers le local d'entreposage centralisé. Il doit s'intégrer dans les autres circuits hospitaliers, sans croisement avec les circuits « propres », en respectant la marche en avant. Dans le cas où le croisement des circuits sales et propres est inévitable, le conditionnement secondaire doit être fermé de façon étanche, dans le respect des codes couleurs et pictogramme.

Les déchets conditionnés dans leur emballage primaire sont placés dans des conditionnements secondaires sans transvasement. Le conditionnement secondaire ne doit pas se retrouver sur le site de réalisation des soins. Il doit être situé autant que possible à l'extérieur.

III.5 Emballage et marquage

Pour proposer des solutions adaptées à l'élimination de chaque type de DASRI, il existe une distinction entre ces différents déchets hospitaliers, et des modalités de tri spécifiques. Respecter les consignes de tri est indispensable pour garantir la sécurité des personnes, pour respecter l'environnement, la santé publique, et maîtriser ses coûts de gestion.

Les OPCT doivent être évacués dans des boîtes solides à fermeture sécurisée, et ne doivent en aucun cas être mélangés aux autres DASRI. De même, les déchets cytotoxiques doivent être triés puis jetés dans un conteneur spécifique, et doivent être bien séparés des autres DASRI. En ce qui concerne les déchets anatomiques non identifiables, ils sont assimilés aux déchets à risques infectieux tandis que les déchets anatomiques aisément identifiables sont éliminés en crématorium.

Côté emballage, les DASRI doivent être emballés dans des emballages à usage unique, conditionnés, marqués, étiquetés, en vue du transport, qui est lui aussi réglementé.

Tous les emballages utilisés devront comporter le nom du producteur des déchets. Le tableau 1 présente les emballages à utiliser en fonction de la nature des déchets.

Tableau 1 : Emballage en fonction de la nature des déchets.

	Types de Déchets				Pièces anatomiques
	Perforants	Solides	Mous	Liquides	
Sac en plastiques		x	X		
Sac en papier doublé intérieurement de plastique		x	X		
Caisse en carton avec sac plastique intérieur		x			
Boite et mini-collecteur	x				
Fût et jerricane en plastiques	x				
Emballage étanche pour liquides				x	
Emballage rigide avec la crémation					x

III.6 stockage

En raison de la dangerosité de ces déchets, la durée d'entreposage maximum est fonction de la quantité (tableau 2). Il existe 2 types de stockage :

- entreposage intermédiaire, qui concerne le stockage pour un ou plusieurs services;
- entreposage centralisé, qui concerne l'ensemble des DASRI de l'établissement et doit être accessible à tous les véhicules de transport.

Le regroupement des déchets, de producteurs différents, avant élimination est possible à condition de respecter les durées d'entreposage maximales indiquées par la loi.

Rappel : la congélation, le compactage et la réduction sont interdits.

Tableau 2 : Production et élimination des DASRI et des déchets assimilés.

Quantité de DASRI et assimilés produite (Q)	Durée maximale entre la production et l'élimination
$Q > 100$ kg/semaine	72 heures
5 kg/mois $< Q \leq 100$ kg/semaine	7 jours
$Q \leq 5$ kg/mois	3 mois

Les sacs et conteneurs contenant des déchets radioactifs doivent être entreposés dans un local protégé situé en dehors du service de médecine nucléaire, autorisé par le Commissariat à l'énergie atomique (COMENA). Les contenants utilisés doivent afficher le symbole de radioactivité (étiquetage obligatoire) et comporter des informations sur le radio-isotope, la quantité de radioactivité, la source et la date de dépôt ainsi qu'un numéro de suivi et d'inventaire.

III.7 Transport

Le stockage nécessite un emballage résistant et étanche dans des conteneurs pour vrac portant la mention « cancérogènes chimiques potentiels ». Cette même mention, doit être apposée à l'entrée du local d'entreposage.

Les moyens de transport internes à l'établissement peuvent être de plusieurs sortes (chariots ou camions.) :

- être planifié pour éviter toute exposition du personnel, des patients et du public.
- se faire pendant les périodes de basse activité.
- éviter autant que possible le passage à travers les zones « propres ».
- le producteur de déchets est responsable de la qualité de l'emballage et de son étiquetage afin d'assurer la traçabilité pour chaque type de déchets.

En cas de sous-traitance avec une entreprise externe, il doit s'assurer que cette entreprise de transport est autorisée à prendre en charge les déchets dangereux et qu'elle respecte la législation et la réglementation en vigueur.

III.8 Traitements

Il existe plusieurs voies possibles d'élimination pour les DASRI.

III.8.1 Incinération

L'incinération s'effectue dans deux types d'installations:

- en UIOM : Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères
- en installation centrale spécialisées : usine destinée aux seuls DASRI

Le traitement se fait en 2 étapes :

- une incinération à 850 °C et une post combustion à la même température durant 2 secondes le taux d'imbrûlés ne doit pas dépasser 3 %.
- la proportion de DASRI traités ne doit pas excéder 10 % de la capacité totale de traitement de l'installation.

III.8.2 Stérilisation en autoclave

La stérilisation est une technologie compacte de décontamination des déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI). Il s'agit d'une technique qui fonctionne selon une base thermique à la vapeur d'eau. Cette opération est destinée à détruire et éliminer tout germe microbien porté par des milieux inertes contaminés. La stérilisation est utilisée pour la destruction de tous les germes micro-organismes au moyen d'un banaliseuse autoclave.

Cette méthode peut être effectuée dans l'établissement producteur de DASRI ou par un prestataire de service extérieur. Seuls les banaliseuses validés par le Conseil supérieur d'hygiène publique peuvent être utilisés.

Exemple de banaliseuse-stérilisateur (figure 9) de déchets hospitaliers (DASRI) - (Newster NW10) (**Source** : <http://www.made-in-algeria.com/produit>. Banaliseuse-sterilisateur de déchets hospitaliers (DASRI).

Station écologique de banalisation-stérilisation de déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI) «made in ITALY». Traitement définitif en une seule opération. Capacité de traitement 30 à 40 kg/heure. Technologie de pointe: procédé thermique par voie humide et choc thermique en fin de cycle à 150°C. Les déchets sont broyés et activés en continu durant tout le cycle. Procédé sans pression, ni produit chimique, ni micro-ondes.

- Résidu stérile, inerte, très fin, sec, léger et inodore.



Figure 9 : Banaliseur-stérilisateur des DASRI (Newster NW10).

III.8.3 Désinfection chimique

La désinfection se fait par des appareils validés par un groupe d'experts associés de l'INERIS.

- prétraitement des DASRI par broyage (ou autre technique): réduire les risques mécaniques et psychologiques,
- désinfection physique ou chimique: réduire les risques infectieux.

Le tableau 3 offre un comparatif de ces deux techniques :

Tableau 3 : Méthodes de traitements.

Sources : ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise des Energies).

	Incineration à 850 °C	Désinfection + Broyage
Avantage écologique	Valorisation énergétique des déchets	Absence de : - Fumée ; - rejet atmosphérique chimique ; - radiation ; - transport de matières dangereuses pour les traitements in situ.
Efficacité	- Destruction totale des germes ; - réduction du volume de 98 % ; - réduction du poids 90 %.	- Réduction du volume de 80 % ; - Adapté à toutes les quantités.
Fiabilité	- sécurité par respect des normes européennes ; - contrôle des rejets de gaz émis dans l'atmosphère.	- machines homologuées par le ministère de la santé ; - traçabilité des appareils (vérification du bon fonctionnement).
Capacités régionales	8500 tonnes/an	9800 tonnes/an
Part actuelle du gisement traité	85 %	15 %
Coûts (Etude de coûts réalisée par ADEME en 2006, sur 14 sites de traitement en France).	13 303, 95 à 66 519,75 Dinar Algérien/tonne	36 364,13 à 147 821,66 Dinar Algérien /tonne

La désinfection chimique, utilisée communément dans les établissements sanitaires pour tuer les micro-organismes sur les équipements médicaux, a été étendue au traitement des déchets de soins médicaux. Des substances chimiques sont ajoutées aux déchets pour tuer ou inhiber les agents pathogènes. Ce type de traitement est surtout adéquat pour le traitement des déchets liquides infectieux comme le sang, les urines, les excréments ou les canalisations d'hôpitaux. On utilisera une solution diluée d'eau de javel ou du chlore actif. Pour les liquides à forte teneur en protéines comme le sang, une solution non diluée d'eau de javel est nécessaire, ainsi qu'un temps de contact de plus de 12 heures (CICR, 2011).

III.8.4 Irradiation aux micro-ondes

Les déchets hospitaliers, ou DASRI, représentent une problématique et des enjeux majeurs au quotidien pour tout centre médical, de par les réglementations encadrant leur gestion. Les solutions existantes pour traiter ces déchets dangereux sont très surveillées et de ce fait contraignantes. Certains centres de production utilisent la technologie autoclave depuis des décennies (permettant la décontamination par montée en température et en pression). Mais cette technologie atteint ses limites et n'assure pas le degré de sécurité de travail, pour les opérateurs et l'environnement, des méthodes de stérilisation par micro-ondes.

[Klaus Zimmermann \(2017\)](#), confirme que l'irradiation aux micro-ondes comme le Steril wave, sont plus sûres concernant « l'inactivation bactérienne des déchets médicaux », mais aussi plus écologiques car moins coûteuses en énergie, réduisant fortement l'empreinte carbone des hôpitaux et les rejets d'effluents liquides.

III.8.5 Valorisation

La seule valorisation possible de ces déchets est énergétique : soit par production d'électricité, soit par production de chauffage. Les métaux ferreux et non ferreux issus de l'incinération sont recyclés.

A noter : l'ensemble des déchets d'emballage des produits de traitement représente 45% des déchets médicaux produits. Une grande partie est non souillée et doit donc suivre les voies d'élimination classique des emballages.

Types de déchets médicaux, législation, tri, emballage et marquage, stockage, transport.

Traitements : par incinération, stérilisation en autoclave, désinfection chimique, irradiation aux micro-ondes.

Travaux Pratiques (Questions de cours)

Questions (TD 01)

1. Quels sont les différents types de déchets ?
2. Quels sont les principaux risques liés aux déchets ?
3. Quels sont les autres déchets dangereux ?
4. Quel est le principe de gestion des résidus urbains solides ?
5. De quelle manière doit-on transporter les déchets chimiques et les déchets toxiques ?

Réponses (TD 01)

1. Les différents types de déchets :

- Déchets ménagers solides ;
- Déchets industriels spéciaux (DIS) ;
- Déchets de soins à risque infectieux (DASRI).

2. Les principaux risques liés aux déchets

- Les risques liés aux déchets ménagers solides : les dépôts sauvages des déchets : maladies qui peuvent être transférées à l'homme par les animaux domestiques, pollution du sol par éparpillement des sacs en plastiques, pollution des nappes phréatiques par l'infiltration du

lixiviat (jus provenant de la dégradation des bio déchets), pollution de l'air par évaporation des gaz pendant les saisons chaudes (surtout le méthane) qui résultent de la dégradation des bio-déchets qui sont mélangés avec les déchets toxiques et dangereux (médicaments périmés, seringues, les métaux ferreux, les peinturesEtc.)

- Les risques liés à la collecte et au tri des déchets par les agents de l'hygiène, à titre d'exemple : contaminations par blessures cutanées et piqûres dues à l'exposition aux micro-organismes, inhalations des poussières et d'agents infectieux ou allergisants, contacts cutanés avec des produits corrosifs, irritants, toxiques, cancérigènes..., traitements pouvant générer des expositions à des gaz et poussières.

- Risques liés aux déchets dangereux ; la non-conformité réglementaire : non-respect des règles d'entreposage des déchets par les entreprises et risques liés aux défauts d'informations, défauts de planifications, défauts de maintenances et aussi les risques liés à la non-conformité aux bonnes pratiques professionnelles : absence de gants, collecteurs piquants tranchants éloignés.

- Risques liés aux DASRI : les risques infectieux, ce type de déchets peuvent provoquer des brûlures par irradiation, des blessures par des objets tranchants, des intoxications et pollutions dues au rejet de produits dans l'eau.

3. Les déchets dangereux :

Les dangereux sont appelés aussi les déchets spéciaux sont les déchets corrosifs, explosifs, toxiques, inflammables, cancérigène, infectieux qui présentent un danger pour la santé humaine ou pour l'environnement.

4. Principe de gestion des résidus urbains solides

La gestion des déchets se déroule en plusieurs étapes : la collecte des déchets (type de collecte, équipements de collecte, trajet de collecte, stations de transfert) ; le transport des déchets ; le traitement des déchets (compostage, méthanisation, incinération, recyclage et mise en décharge).

5. Transport des déchets chimiques et des déchets toxiques

Les déchets chimiques et les déchets toxiques peuvent être à l'origine d'accidents ou d'incidents pouvant causer des dommages à la fois matériels et humains. Leur transport doit être régi selon des critères et des règles mis en place par une réglementation internationale.

Les déchets chimiques et toxiques doivent obéir à des règles de transport comme :

- les emballages utilisés sont agréés pour le transport ;
- chaque emballage est étiqueté correctement ;
- les emballages contiennent des produits compatibles ;
- le conducteur doit posséder un document de suivi de déchets dangereux c'est-à-dire une autorisation de transport de déchets ;
- le conducteur dispose d'une attestation de formation en cours de validité et adaptée au transport ;
- le véhicule est correctement signalisé par l'entreprise de transport des déchets chimiques et dangereux.

Questions (TD 02)

1. Quel est le principe de la gestion des résidus solides urbains ?
2. Quelle est la classification des déchets ménagers solides dans les pays en voie de développement ? donnez des exemples sur l'Algérie et sur la Mauritanie ?
3. Quels sont les principaux paramètres de caractérisation physique et de caractérisation chimiques des déchets solides ménagers ?
4. Quels sont les procédés de la bioconversion des déchets organiques ?
Détaillez vos réponses ?
5. Quel est l'importance du recyclage des déchets solides ? détaillez vos réponses ?
6. Quel est le traitement approprié des déchets industriels spéciaux (DIS) ?

Réponses (TD 02)

1. Quel est le principe de la gestion des résidus solides urbains ?

Le tri, la collecte, le transport, la valorisation, le recyclage, la mise en décharge : toute ces opérations sont le principe de la gestion des déchets solides urbains.

2. Quelle est la classification des déchets ménagers solides dans les pays en voie de développement ? donnez des exemples sur l'Algérie et sur la Mauritanie.

Dans les PED, les déchets ménagers solides sont classés en trois catégories :

- les putrescibles ;
- les déchets inertes ;
- les déchets recyclables.

En Algérie, les déchets ménagers solides sont classés comme suit :

- les putrescibles ménagers et assimilés (les déchets biodégradables, les déchets recyclables et les déchets dangereux) ;
- les déchets de voirie et de propreté urbaine ;
- Les déchets des espaces verts et des marchés.

En Mauritanie, les déchets ménagers solides sont classés (d'après thèse ALOUEIMINE en 2006) :

- Les déchets putrescibles ;
- Papiers et cartons ;
- Textiles et textiles sanitaire ;
- Les combustibles non classés ;
- Le verre ;
- Les métaux ;
- Les fines.

3. Quels sont les principaux paramètres de caractérisation physique et de caractérisation chimiques des déchets solides ménagers ?

1. Paramètres physiques des déchets ménagers solides : - tri par taille ; - tri par catégories ; - tri par sous-catégories ; - densité.
2. Paramètres chimique : - Taux d'humidité ; - taux du carbone et de la matière organique ; - pH ; - pouvoir calorifique inférieur (PCI).

4. Quels sont les procédés de la bioconversion des déchets organiques ? détaillez vos réponses.

Les procédés de conversion des bio-déchets : compostage et méthanisation

1. Le compostage est procédé de dégradation de la matière organique en présence de l'air. Le but de ce dernier est de : -réduire les quantités des déchets organiques enfouies dans les décharges sauvages et les décharges contrôlées ; - produire du compost. Les paramètres de suivi du procédé sont : - la température ; - l'oxygène ; - le % de la matière organique ; - le % de l'humidité ; - les microorganismes et le rapport C/N. Il se déroule en quatre phases : - phase mésophile ; - phase thermophile ; - phase de refroidissement et phase de maturation.
2. Méthanisation est procédé de dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène. On obtient un biogaz et un digestât (compost). Les paramètres de ce procédé : -le pH ; -la température et le potentiel d'oxydoréduction. Les phases de ce procédé sont : - phase d'hydrolyse ; -phase d'acidogénèse ; - phase d'acétogénèse et phase méthanogénèse.

5. Quel est l'importance du recyclage des déchets solides ? détaillez vos réponses.

- le recycler les déchets est une grande économie de matière première. Si nous utilisons la matière déjà existante, nous préserverons les ressources à long terme.
- le recyclage permet d'économiser beaucoup d'énergie et de réduire la pollution. Avec le recyclage l'homme n'aura pas besoin de créer beaucoup d'objets. Il pourra réutiliser les objets existants, et générera peu de pollution.
- le recyclage permet également de protéger la couche d'ozone et de favoriser l'effet de serre tellement nécessaire à la vie de la terre. Ainsi nous maintiendrons la chaleur des gaz qui nous protègent et nous éviterons le changement climatique.

6. Quel est le traitement approprié des déchets industriels spéciaux (DIS) ?

Les déchets industriels spéciaux sont des déchets dangereux ou toxiques. Ces déchets industriels spéciaux doivent être triés et bénéficier d'un traitement spécifique adapté. Les DIS doivent impérativement être stockés dans des conteneurs spéciaux, et traités dans des centres adaptés :

- centres de valorisation par récupération ou régénération de déchets ;
- centres de regroupement et de prétraitement de déchets ;
- ou centres de traitement de déchets industriels.

Questions (TD 03)

1. Au sens de la loi algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001(Article3). Donnez la définition d'un déchet ?
2. Quels sont les paramètres nécessaires à la réalisation de la caractérisation physique et chimiques des déchets solides ?
3. Il existe plusieurs types de collectes, selon la catégorie des déchets :
 - Ramassage déchets classiques
 - Collecte des encombrants
 - Collecte sur rendez-vous
 - Collecte des déchets verts
 - Collecte des déchets toxiques
 - Collecte de vêtements
 - Collecte de papier ou carton
 - Collecte des verres

Donnez les procédures pour chaque type de collecte ?

4. Quels types de déchets accueille chaque type de décharge contrôlée ? Définissez chaque type de ces centres d'enfouissements techniques ?

- Décharge contrôlée de classe 1.
- Décharge contrôlée de classe 2.
- Décharge contrôlée de classe 3.

5. Après l'enfouissement technique des déchets ménagers solides dans une décharge contrôlée, deux phénomènes ont lieu dans les casiers de cette dernière. Quels sont ces phénomènes ?

De ces deux phénomènes découlent deux autres phénomènes. Les quels ?

Détaillez vos réponses dans les deux cas.

Questions (TD 04)

1. Donner des exemples de chaque catégorie des déchets dans le tableau suivant.

Déchets ménagers solides	exemples
Putrescibles	-
	-
fermentescibles	-
	-
papiers	-
	-
Textiles sanitaires	-
	-
CNC	-
	-
Verre	-
	-
Déchets dangereux	-
	-
Matière fine	-
	-
métaux	-
	-

2. Quelle est la différence entre les déchets dangereux et les déchets toxiques ?

3. Que ce qu'un déchet ultime ?

4. Quelles sont les différents types de décharges contrôlées et quels sont les déchets qu'on peut enfuir dans chaque type de décharge ?

Réponses (TD 04)

1. Donner des exemples de chaque catégorie des déchets dans le tableau suivant.

Déchets ménagers solides	exemples
Putrescibles	- épluchures des légumes et fruits, les restes des repas ; - déchets verts de jardin de la maison.
fermentescibles	- putrescibles ; - papiers et cartons non imprégnés.
papiers	- journaux ; - magazines.
Textiles sanitaires	- mouchoirs en papiers ;

	- couches bébés et adultes.
CNC	- bois des caisses de dates ; - bois provenant des jardins de maison.
Verre	- bouteilles en verre ; - verre de vitre.
Déchets dangereux	- piles ; - reste de médicaments.
Matière fine	- putrescibles dégradés ; - verre fin, papier en morceaux fins et carton très fin.
métaux	- boites de conserves (tomate, ton, confitureetc.) ; - métaux provenant d'appareillages utilisés à la maison.

2. Quelle est la différence entre les déchets dangereux et les déchets toxiques ?

Les déchets dangereux contiennent des quantités d'éléments qui présentent un danger pour la santé et l'environnement. Ces déchets doivent être triés seuls. Par contre les déchets toxiques contiennent des éléments toxiques pour la santé et l'environnement et doivent être triés et collectés séparément aux autres déchets.

Les déchets toxiques présentent des risques de contaminations plus graves que les déchets dangereux.

3. Que ce qu'un déchet ultime ?

Les déchets ultimes ne sont plus valorisable, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique. Ce sont les seuls déchets qui par réglementation sont enfouissables dans les centres de Stockage des Déchets Ultimes (CSDU).

4. Quelles sont les différents types de décharges contrôlées et quels sont les déchets qu'on peut enfuir dans chaque type de décharge ?

1. Les décharges de classe 1

Les déchets qui présentent un caractère dangereux (déchets industriels spéciaux) sont enfouis dans ce type de décharges contrôlées. Elles sont également appelées Centres de stockage de déchets dangereux (CSDD).

Généralement, ce type de déchets est stabilisé avant d'être enfouis pour éviter les réactions chimiques dans les fosses de la décharge.

2. Les décharges de classe 2

Les décharges de classe 2 sont spécialement conçues pour enfouir les déchets non dangereux, les déchets ménagers solides et les déchets banals industriels.

3. Les décharges de classe 3 pour les déchets inertes

Les décharges de classe 3 accueillent principalement des déchets inertes (gravats, déchets de démolitions, déchets de bâtiments et des travaux publics, etc.). Ce genre de décharges ne présente aucun danger pour la pollution de l'environnement.

Références Bibliographiques

Aina, M.P., (2006). « MSW Landfills Techniques in Developing Countries: Methodology and Experimental Applications ». Thèse de Doctorat. Université de Limoges, France.

Alouemine, S. O., (2006). « Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision ». Thèse de doctorat. Université de Limoge, France.

Aloueimine S., Matejka G., Zurbrugg C. et Sidi Mohamed M.E., (2005-a). « Caractérisation des Ordures Ménagers à Nouakchott : Partie I : Méthode d'Echantillonnage », article en Presse, 7 pages.

Aloueimine S., Matejka G., Zurbrugg C. et Sidi Mohamed M.E., (2005-b). « Caractérisation des Ordures Ménagers à Nouakchott : Partie II : Résultats en Saison Sèche et en Saison Humide ». Article.

Ben Ammar, S. (2006). « Les enjeux de la caractérisation des déchets ménagers pour le choix des traitements adaptés dans les pays en développement : résultats de la caractérisation dans le grand Tunis. Mise au point d'une méthode adaptée ». [Thèse de doctorat en géosciences. L'institut National Polytechnique de Lorraine].

Braun R. et O. JAAG (1970). « Methods of Sampling and Analysis of Solid Waste. Eawag, Swiss Federal Institute for Water Supply, Sewage Purification and Water Pollution Control. Section for Solid Wastes ». CH - 8600 Dübendorf, Switzerland, 72 p.

Brewer, L.J., Sullivan, D.M. (2003). « Maturity and Stability Evaluation of Composted Yard Trimmings ». *Compost Science & Utilization*, 11(2), 96-112.

Brinton, W.F., Jr. (1983). « A qualitative method for assessing humus condition". *in* Knorr, D. (éditeur). 1983. Sustainable food systems. AVI Publishing, Westport, Connecticut. 416 pages.

Boda B. (2002). Evaluation of stability parameters for landfills. Thesis in in Civil and Environmental Engineering, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State university, 48 pages.

Charney. F., (2005). « Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost ». Thèse de Doctorat. Université de Limoge, France

Chiampo F., CONTI R. & COMETTO D. (1996). « Morphological characterisation of MSW landfills ». *Resources, Conservation and Recycling*, 17, 37-45.

CICR (2011)."Manuel du Déchets Médicaux". Guide technique. Comité international la croix rouge. Genève, suisse .Mai 2011. PP:68 -70

Cole, M. (1992). "Simple chemical test for compost maturity. Recherche effectuée à l'Université de l'Illinois ». Cité dans Biocycle, mai 1992, page 26.

Diop O., (1988). « Contribution à l'Etude de la Gestion des Déchets Solides de Dakar : Analyse systémique et Aide à la Décision, thèse de doctorat en Génie Rural et Géométrie », Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 292 p.

Environmental Protection Agency, (1986). « Solving the Hazardous Waste Problem: EPA's RCRA Program ». (Washington, DC: EPA, November 1986), 8.).

François, V., (2004). « Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis. Etude de l'impact de la recirculation de lixiviats sur des colonnes de déchets ». Thèse de doctorat. Université de Limoges.

Garcia, M.T., Campos, E., Sanchez-Leal, J., Ribosa, I., (2006). « Effect of linear alkylbenzene sulphonates (LAS) on the anaerobic digestion of sewage sludge ». *Water Research*. 40, 2958-2964.

Germon, J.-C., B. Nicolardot et G. Catroux. (1980). « Mise au point d'un test rapide de détermination de la maturité des composts ». Ministère de l'environnement et du cadre de vie, Convention d'étude n 79-509. France.

Hervé PERNIN, (1995). « Étude menée par ERLAP en 1994-1995 a porté sur 36 stations européenne ».

Hiolle G. (1997) – « Les déchets industriels spéciaux ». Mém. D.E.S.S. Univ. Picardie Jules Verne

Hirai, M.F., V. Chanyasak et H. Kubota. (1984). A standard measurement for compost maturity. *Biocycle*, 24(6):54-56.

Kathirvale, S., Yunus, M., N., M., Sopian, K., Samsuddin, A.H., (2003). « Energy potential from municipal solid waste in Malaysia ». *Renewable Energy* 29: 559-567.

Kelly R.J., (2002). « Solid waste biodegradation enhancements and the evaluation of analytical methods used to predict waste stability. PhD. Thesis in Environmental science and engineering ». Blacksburg, Virginia: faculty of Virginia polytechnic institute and State university, 2002, 65p., 2002.

Klaus Zimmermann,. (2017). « Microwave as an emerging technology for the treatment of biohazardous waste: A mini-review ». <https://doi.org/10.1177/0734242X166843>

Kononova, M.M. (1966). "Soil organic matter: Its nature, its role in soil formation and in soil fertility". Pergamon Press, Londres. 544 pages.

Koledzi, K.E. (2011). « Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de Lomé (Togo): Approche méthodologique pour une production durable de compost ». [Doctorat, Limoges].

Mezouari, F., (2011). « Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux ». Thèse de Doctorat. Ecole Polytechnique d'architecture et d'urbanisme et l'université de Limoge, France.

MODECOM, (1993). « Méthode de caractérisation des ordures ménagères ». Livre. AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE. Edité par ADEME ANGERS - 1993.

Morvan B., (2000). « Méthode de caractérisation des déchets ménagers : analyse sur produit sec ». *Déchets Sciences et Techniques*, 20, 9-11.

Mohee, R., (2002). « Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius ». *Resources, Conservation and Recycling* 36: 33-43

Mustin, M. (1987). *Le compost : gestion de la matière organique*. Éditions François Dubusc, Paris. 954 pages.

Ngnikam, E. & Tanawa, E. (2002). « Mise en place des structures de pré-collecte et de traitement des déchets solides ménagères urbains dans une capitale tropicale : cas de Yaoundé ». Cameroun, Yaoundé.

Schnitzer, M. (1982). "Organic matter characterization". pages 581-595 in Page, A.L., R.H. Miller et D.R. Keeney (éditeurs). 1982. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2^{ème} édition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 1159 pages.

Spohn, W. (1976/8). « Grundlagen der Entscheidungstheorie, Dissertation at the University of Munich 1976, published: Kronberg/Ts.: Scriptor, 1978 (references refer to the published version).

Spohn, E. (1969). "How ripe is compost" ?. *Compost Science*, automne 1969, pages 24 à 26.

Spohn, E. (1978). "Determination of compost maturity". *Compost Science/Land Utilization*, 19(3):26-27.

Source : <http://www.made-in-algeria.com/produit>. Banaliseur-sterilisateur de déchets hospitaliers (DASRI).

Tahraoui Douma Naïma (2013). « Valorisation par compostage des déchets solides urbains de Chlef, Algérie ». Thèse de doctorat, Université de Limoges, France.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., (1993). « Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues." McGraw Hill, New York.

Wei, Y.L., Chang, N.B., (1999). Strategic planning of recycling drop-off stations and collection network by multiobjective programming. *Environmental Management* 24, 247–263.

Wicker, A., (2000). « Gestion des déchets. Statistiques pour la politique d'environnement ». 27-28.

World Health Organization. (1978). "Methods of analysis of sewage sludge, solid wastes and compost". International Reference Center for Wastes Disposal, CH-8600, Dübendorf, Suisse.

World Health Organization (WHO) (1978). « International Conference on Primary Health Care ». Retrieved on 15 February 2012. <http://www.who.int/hpr/NPH/docs/>