

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Popular Democratic Republic of Algeria
Ministry Of High Education and Scientific Research
Abebes Laghrour University, Khenchela
Faculty of Nature and Life Science
Departement of Ecology and Environment



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة عباس لغرور - خنشلة -
كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم علوم البيئة و المحيط

Polycopié pédagogique

Gestion des Déchets Solides

Cours et TD

Cours et TD destinés aux étudiants de :

Master II : Protection des écosystèmes (MII-PE)

Nom : ABABSA

Prénom : Nawal

Année universitaire : 2021- 2022



Gestion Des Déchets Solides

Master II Protection des écosystèmes

Dr. ABABSA N.
MCA Département Ecologie et Environnement
Faculté SNV, Université ABBES Laghrour, Khenchela

Gestion des déchets solides

Cette matière est destinée aux étudiants de
MII-Protection des écosystèmes (université
Abbes LaghrourKhenchela)

UE Fondamentale, semestre S3

Coefficient 2

Crédits 4

Programme cours

1_ Définitions

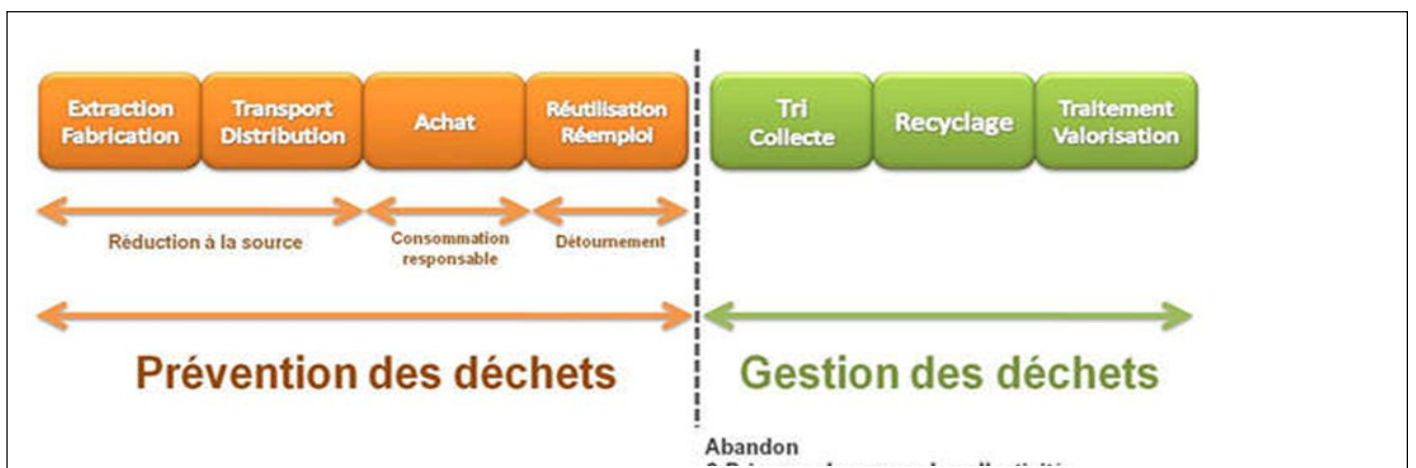
2_ Types de déchets

3_ Gestion des déchets

4_ Acteurs de la gestion

5_ Traitement bio des déchets solides

6_ Avenir de la gestion des déchets



Préface

Les stratégies de gestion des déchets reposent traditionnellement sur des pratiques d'élimination (principalement la mise en décharge et l'incinération), tandis qu'actuellement la prévention, la réduction et la valorisation des déchets par le recyclage, la méthanisation, le compostage et la transformation les déchets en énergie sont les principales mesures de la gestion des déchets dans une approche d'économie circulaire.

Ce manuscrit est un support pédagogique destiné principalement aux étudiants de master II protection des écosystèmes, filière écologie et environnement, mais il peut être également utilisé comme un guide de sensibilisation destiné à un large public.

Ce document est divisé en six chapitres de cours (le premier s'intéresse aux définitions, le chapitre suivant concerne la classification et les types des déchets, le chapitre trois aborde la gestion des déchets solides, le quatrième chapitre décrit les principaux acteurs intervenant dans la gestion des déchets, le cinquième chapitre est consacré aux traitements biologiques des déchets et le sixième et dernier chapitre est dédié à l'avenir de la gestion des déchets) et trois TD.

Sommaire

Chapitre 1. Définitions	01
Chapitre 2. Classification et types des déchets solides	
1. Classification des déchets solides	03
2. Quelques types de déchets	03
3. Nomenclature des déchets	06
Chapitre 3. Gestion des déchets	08
1. Objectifs de la gestion des déchets	09
2. Hiérarchie De La Gestion Des Déchets	09
3. Enlèvement et transport des déchets	11
4. Les modes de gestion après collecte des déchets	16
5. Stockage des déchets	25
6. Recommandations pour une bonne gestion des déchets	26
7. Facteurs qui influencent la gestion des déchets	27
Chapitre 4. Les acteurs de la gestion des déchets	
1. L'Etat et les collectivités locales	28
2. Les usagers	29
3. Les entreprises	29
4. Les services extérieurs de l'état	29
5. Le secteur informel	29
Chapitre 5. Filière de traitement biologique des rejets	
1. La dégradation de la matière organique	34
2. Notion de biodégradation	34
3. Micro-organismes, nutrition et écologie microbienne	35
4. Les enjeux de la gestion des matières organiques	36
5. Types de déchets traités par les procédés biologiques	37
I. Compostage	38
1. Définition du compostage (processus) et du compost (produit)	38
2. Phases de compostage	41
3. Paramètres du compostage	44
4. Les micro-organismes du compost	46
5. Objectifs du compostage	48

6. Techniques d'aération	49
7. Les types de déchets à composter	50
8. Les différents procédés de compostage	51
9. Les avantages et les inconvénients du compostage	56
II. Méthanisation	63
1. Définitions	63
2. Mécanismes de la méthanisation	65
3. Les intérêts et les avantages d'un projet de méthanisation	66
4. Types de matières à méthaniser	67
5. Paramètres de la méthanisation	68
Chapitre 6. Avenir de la gestion des déchets	
1. Scénarios prévu pour l'avenir de la gestion des déchets	76
2. Zero waste	77
3. Stratégie en trois points	78
4. Zéro déchet : concept et pratique	79
TD1. Cycle de vie de déchets	
1. Définition	82
2. Cycle de vie des déchets	82
3. Source de génération des déchets solides municipaux	85
4. Problèmes environnementaux et sanitaires des déchets	88
5. Temps de dégradation des déchets	88
TD2. Caractéristiques et composition des déchets solides	
1. Caractéristiques des déchets solides	91
2. Composition des déchets	92
TD 3. Gestion des déchets	
1. Définition	94
2. Stratégies de gestion des déchets	94
3. Quelques Définitions	98

Liste des figures

Figure 1. Classification des déchets selon la nature et l'origine.....	03
Figure 2. Hiérarchie De La Gestion Des Déchets	10
Figure 3. Les mesures de la prévention et de la gestion des déchets	11
Figure 4. Les modes de gestion après collecte	17
Figure 5. Participation du système informel dans la récupération	31
Figure 6. Les acteurs de la gestion des déchets	32
Figure 7. Processus du compostage	39
Figure 8. Processus et étapes du compostage	40
Figure 9. Courbe théorique de l'évolution de la température au cours du compostage ...	41
Figure 10. Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage	44
Figure 11. Aération mécanique au cours du processus du compostage	49
Figure 12. Compostage en récipients clos	52
Figure 13. Compostage en casier	53
Figure 14. Système de compostage en lits rectangulaires remués	54
Figure 15. Silo et tambour rotatif pour le compostage	55
Figure 16. Sources du carbone et de l'azote pour le compost	58
Figure 17. Quelques types des déchets compostable	59
Figure 18. Comment fonctionne un lombricomposteur	60
Figure 19. Vermicomposteur	61
Figure 20. Comment faire le compost	62
Figure 21. Processus de Méthanisation	63
Figure 22. Digestion anaérobie : Schéma réactionnel	64
Figure 23. Production de biogaz à différentes températures	70
Figure 24. Cycle de vie des déchets	83
Figure 25. Mécanismes de la génération des déchets solides.....	84
Figure 26. Schéma des flux de la production de DSM à partir de différentes sources	87
Figure 27. Temps de dégradation de quelques types de déchets	89
Figure 28. Cycle de vie d'un produit	90
Figure 29. Prévention et gestion des déchets	95

Figure 30. Relation entre la gestion des déchets et les risques et les coûts	97
--	----

Liste des tableaux

Tableau 1. Les catégories de 01 à 20 des déchets	07
Tableau 2. Les caractéristiques standards d'un compost	39
Tableau 3. Température de destruction des pathogènes dans les boues résiduares. Relation entre température et temps	43
Tableau 4. Présentation générale de la méthanisation avec les différentes filières d'intrants et de valorisation du biogaz et des digestats	66
Tableau 5. Potentiel méthanogène de différents substrats	68

Définitions

Les activités humaines de toute nature s'intensifient de plus en plus et génèrent des quantités importantes de déchets et contribuent énormément à l'augmentation tant qualitative que quantitative des déchets. Le déchet apparaît comme inéluctable et il est intimement associé à toute vie et tout processus, qu'il soit humain ou matériel. Si la perception du déchet a évolué au fil du temps, le déchet a toujours existé, à partir du moment où la vie a existé et que l'on a cherché à fabriquer. Ce qui a évolué, ce sont la diversité, la quantité et la composition des déchets.

Le terme déchet vient du verbe *déchoir* qui traduit la diminution de la valeur d'un bien, d'une matière ou d'un objet jusqu'au point où il devient inutilisable en un lieu et en un moment donné.

La notion de déchet peut être appréhendée sous différentes facettes car elle relève d'une réalité multidimensionnelle. Elle est relative dans l'espace, dans le temps et suivant les individus. Elle est tributaire du niveau économique, technologique et de l'information d'un pays ou d'une région.

Les déchets sont synonymes de résidus, rebuts, chutes, copeaux, ordures, immondices, le déchet est rejeté, après production ou utilisation, parce qu'il n'est plus utilisable ou consommable (c'est la perte de compétence), parce qu'il n'a plus de valeur.

Un déchet est un matériau qui est rejetée après qu'il ait accompli un travail ou qu'il ait rempli sa mission. C'est donc quelque chose devenue inutile. Généralement il s'agit de « *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* ».

Du point de vue économique, un déchet est un bien qui n'a, à priori, aucune valeur marchande. Sociologiquement, le déchet est le témoin d'une culture et de ses valeurs. Il est le reflet d'une civilisation et du niveau social des populations et de l'espace dans lequel elles évoluent : zones rurales / urbaines, habitats collectifs / individuels.

Actuellement, la définition du déchet n'est pas totalement acceptée par tous. C'est notamment le cas lors des évolutions qu'il pourra subir (opérations de collecte, tri, transformation

primaire) et qui lui confère des caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques différentes, et de ce fait, une valeur économique.

On distingue une conception subjective et une conception objective de la définition du déchet.

Selon la conception subjective, un bien devient un déchet lorsque son propriétaire à la volonté de s'en débarrasser. Il demeure sien tant qu'il n'a pas quitté la propriété de cette personne ou l'espace qu'elle loue. Ce bien devient une propriété de la municipalité lorsqu'il est déposé sur la voie publique ou dans une poubelle, car par cet acte son propriétaire peut avoir clairement signifie sa volonté d'en abandonner tout droit de propriété.

Selon la conception objective, un déchet est un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement, indépendamment de la volonté du propriétaire et de la valeur économique du bien : les biens recyclables qui sont des matières premières secondaires entrent dans cette définition objective. Ainsi, le détenteur d'un bien est soumis à la réglementation et il ne peut se décharger de ses responsabilités envers la gestion de ce déchet sous prétexte de sa valeur économique.

Le mot poubelle vient d'Eugene-René Poubelle (1831 – 1907). Il fut juriste, administrateur et diplomate français. En 1884, alors Préfet du département de la Seine en France, il obligea les Parisiens à déposer leurs détritrus dans un récipient qui immortalisera ainsi son nom.

La **rudologie** ou science des résidus est une science qui étudie les déchets, leur gestion et leur élimination. Elle est née en **1884** lorsqu'Eugène - René Poubelle décréta que les Parisiens ne jetteraient plus leurs ordures par les fenêtres.

Le **rudologue**, spécialiste de la gestion des déchets industriels ou ménagers et de la prévention des pollutions de l'environnement, travaille généralement pour les organismes publics et parapublics. Il analyse la production des déchets et les nuisances qu'ils génèrent, pour proposer des solutions de traitement des déchets.

Classification et types des déchets solides

1. Classification des déchets solides

Le déchet est complexe car il est constitué en général d'un mélange de plusieurs phases (liquides, solides, gazeuses), et sa composition évoluée dans le temps et dans l'espace. Le but d'une classification peut être :

- D'ordre technique, afin de mieux maîtriser les problèmes de transport, de stockage intermédiaire, de traitement, d'élimination finale ;
- D'ordre financier, selon l'application du principe de pollueur-payeur ;
- L'ordre légal, afin de cerner les responsables causales relatives à des questions de la sécurité des populations ou de protection de l'environnement.

Dans la littérature scientifique il existe plusieurs classifications des déchets :

*déchets solides, déchets liquides

*déchet urbain, déchet rural

*déchets dangereux, déchets non dangereux

Mais la plus adoptée est celle qui classifie les déchets selon la nature et selon l'origine ;

Selon la nature trois catégories de déchets sont distingués, ainsi que selon l'origine des déchets.

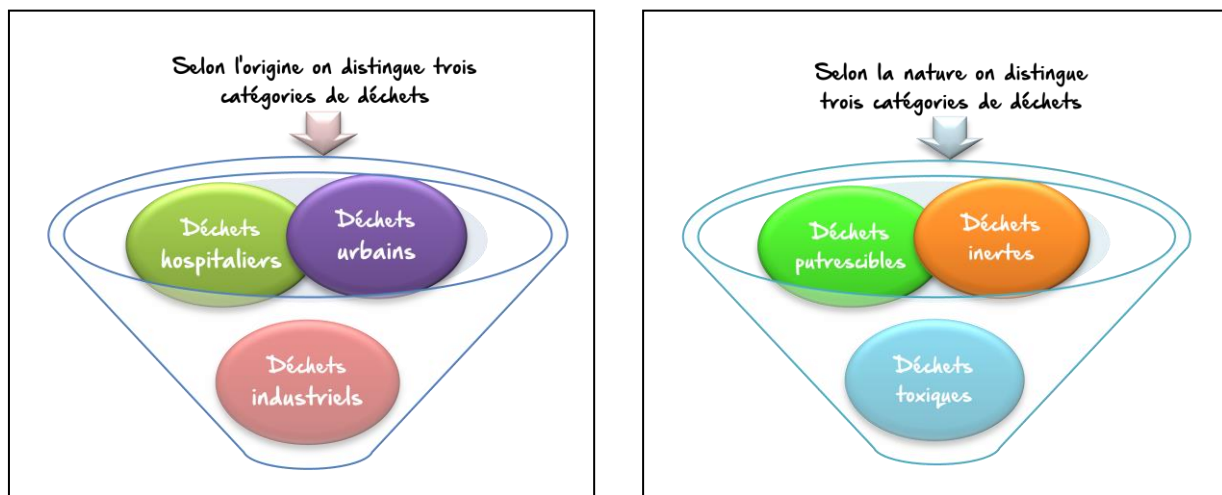


Figure 1. Classification des déchets selon la nature et l'origine

2. Quelques types de déchets

2.1. Les déchets solides urbains : composés par

-Des ordures ménagères, industrielles ou collectives ;

- Des produits résultant du nettoyage tels que balayage, curage des égouts ;
- Des déchets encombrants, objets volumineux, ferrailles, gravats, décombres, carcasses automobiles ;
- Des déchets commerciaux, emballages et autres résidus générés par les activités commerciales.

2.2. Déchets ménagers et assimilés

Ce sont tous les déchets issus des ménages, des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres, qui sont assimilables aux déchets ménagers par leur nature et leur composition, tel que, déchets de cuisine, emballages...

2.3. Déchets encombrants

Ce sont tous les déchets issus des ménages (pas forcément) qui ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés en raison de leur caractère volumineux. Nous pouvons citer par exemple : les meubles, les pneus, l'électroménager.

2.4. Les déchets verts

Issus de l'entretien des jardins et des espaces verts, ils se composent de tontes de gazon, de feuilles, de branchages...

2.5. Déchets hospitalier

Les déchets hospitaliers correspondent à un mélange des déchets assimilés aux ordures ménagères (DAOM) et des déchets d'activités de soins à risque infectieux

2.6. Déchets d'activité de soins

Ce sont des déchets spéciaux issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire.

2.7. Les déchets industriels non dangereux ou banals (DND ou DIB)

Certains déchets des entreprises peuvent être assimilés à des déchets ménagers lorsqu'ils n'ont pas un caractère dangereux ou polluant. C'est le cas du papier, du carton du verre, etc., non souillés par des substances dangereuses.

2.8. Les déchets industriels dangereux (DID)

Certains déchets de l'entreprise ont des propriétés dangereuses (par exemple : l'amiante, déchets radioactifs, etc.). Ils sont signalés dans la nomenclature par un astérisque. : Ces déchets présentent une ou plusieurs des propriétés suivantes : explosif, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, corrosif, infectieux, toxique pour la reproduction, mutagène,

écotoxique... Ce sont les déchets qui impliquent le plus de risques vis-à-vis de l'environnement.

2. 9. Déchets inertes

Ce sont notamment, les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. La production totale de lixiviats et la teneur des déchets en polluants ainsi que l'écotoxicité des lixiviats doivent être négligeables et, en particulier, ne doivent pas porter atteinte à la qualité des eaux de surface et/ou des eaux souterraines. Ces déchets proviennent de l'exploitation des mines, des carrières, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, de fabrication ou d'utilisation de tuiles, bétons, briques, carrelages, etc.

2. 10. Déchets biodégradables

Appartiennent à une catégorie de déchets d'origine végétale ou animale en général, qui se décomposent grâce à d'autres organismes vivants. Venant de jardin, d'espaces verts ou de cuisine, ils représentent généralement environ un tiers des déchets municipaux, et s'y ajoutent les eaux usées et les déchets agricoles et de l'industrie agroalimentaire et papetière. Tous ont des effets importants sur l'environnement, et présentent un risque pour la santé s'ils ne sont pas correctement traités. Ils peuvent être une source d'énergie par l'application des procédés de traitement de la méthanisation ou de l'incinération avec récupération de l'énergie.

2. 11. Les déchets toxiques en quantités dispersées (DTQD)

Ce sont des déchets dangereux produits en petites quantités par les entreprises (laboratoires photographiques, pressing, laboratoire, etc.). Il peut s'agir de déchets solides (déchets non dangereux souillés - chiffons comportant des traces de solvant, cartons imprégnés d'huiles de vidanges, piles, résidus de peintures) ou liquides (lessives et détergents, eau de javel, huile de vidanges, liquides de refroidissement moteur, etc.). Ces déchets doivent être traités avec les déchets dangereux.

2. 12. Les déchets d'emballages industriels et commerciaux (DEIC)

Ces déchets sont destinés à contenir ou protéger des marchandises (matières premières, produits finis), et à permettre leur manutention et distribution du producteur au consommateur ou utilisateur et à assurer leur présentation. Les seuls modes d'élimination de ces déchets d'emballages : la préparation en vue de la réutilisation, le recyclage ou tout autre mode de valorisation, y compris la valorisation énergétique.

2. 13. Déchet ultime

C'est un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques actuelles, donc ce sont des 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 dans un Centre de Stockage des Déchets Ultimes (CSDU).

2. 14. Déchet carné

Il s'agit des déchets de viande issus des abattoirs, de boucherie, des conserveries, des métiers de la distribution alimentaire, mais aussi les cadavres d'animaux, qui doivent être acheminés pour leur destruction vers un centre de collecte agréé.

Les cadavres d'animaux doivent être éliminés sans causer le moindre préjudice à l'environnement. Il est interdit de les jeter dans les lacs, les marécages ou les cours d'eau, de les abandonner à l'air libre ou de les enterrer (à l'exception des animaux domestiques de moins de 10 kg, sur terrain privé, profondeur minimale 1.20 m).

3. Nomenclature des déchets

La nomenclature des déchets est une liste unique des déchets qui figure dans le Code de l'environnement. Les déchets considérés comme dangereux sont signalés par un astérisque dans cette liste. La liste n'est pas exhaustive et est réexaminée périodiquement. L'inscription sur la liste ne signifie pas que la matière ou l'objet en question soit un déchet dans tous les cas. Toutes les informations relatives aux déchets prévues par la réglementation doivent être fournies en utilisant les codes indiqués dans cette nomenclature.

Tableau 1. Les catégories de 01 à 20 des déchets

Catégorie	Déchets
01	Déchets provenant 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.
14	Déchets de solvants organiques, d'agents réfrigérants et propulseurs.
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.

La gestion des déchets

La protection de l'environnement devient de plus en plus une préoccupation collective. L'augmentation actuelle de la production de déchets solides est une conséquence regrettable du développement que connaît le monde entier. La question des déchets est quotidienne et touche chaque être humain tant sur le plan professionnel que familial. En qualité de consommateur, producteur, usager du ramassage des ordures et trieur de déchets recyclables, citoyen ou contribuable, chacun peut et doit être acteur d'une meilleure gestion des déchets.

Si l'on se contentait d'entreposer ses déchets dans des décharges, le problème de leur accumulation se poserait car, suivant leur nature, ils peuvent se dégrader, et donc disparaître, très lentement. C'est ce qui fait de la gestion des déchets une étape cruciale.

Les solutions de gestion des déchets solides doivent non seulement être durables sur le plan environnemental, mais aussi rentable et socialement acceptable.

La gestion des déchets est un domaine complexe qui va au-delà de la prévention, de la collecte, du traitement et de l'élimination des déchets, englobant un champ plus large de développement socio-économique, de réglementations gouvernementales, de choix politiques et de gestion des ressources. Il s'agit de protéger, de préserver et d'améliorer la qualité de l'environnement, la santé humaine, garantir une utilisation prudente et rationnelle des ressources naturelles, promouvoir une économie plus circulaire, en améliorant l'utilisation des ressources et l'efficacité de cette utilisation et en veillant à ce que les déchets soient valorisés en tant que ressource.

La gestion des déchets implique plusieurs démarches, avec une étape préalable à la collecte (qui comprend la séparation à la source → tri à la source), la collecte elle-même, le transport par des camions à ordures et, enfin, la transformation, le traitement ou l'élimination.

Les stratégies de gestion des déchets qui se concentrent sur **la réduction à la source** et la **récupération et la réutilisation des ressources** se sont avérées plus rentables à long terme, et ils sont moins dommageables pour l'environnement simplement parce qu'ils empêchent ou minimisent la production de déchets à la source.

1. Objectifs de la gestion des déchets

Le système fonctionnel de la gestion des déchets implique la gestion des déchets depuis le point de production, la manutention, le tri, le stockage et le traitement à la source ainsi que le transfert, le transport et l'élimination. Dans le passé, les pratiques de gestion étaient moins préoccupées, mais plus récemment, on s'est davantage concentré sur cela en raison de problèmes de santé publique et de considérations esthétiques. La gestion des déchets solides a attiré l'attention pour la première fois en 500 avant JC., avec très peu de techniques et de moyens gérer les déchets solides. Au fil du temps, les gens ont commencé à se rendre compte qu'il s'agissait de l'un des secteurs importants de la gestion des déchets auxquels il fallait accorder une grande attention.

L'objectif de la gestion des déchets est environnemental (limiter les exportations de nuisances et protéger l'environnement), mais aussi socio-économique (tirer profit de matières premières de récupération, de matières premières urbaines pour dynamiser une économie locale), ainsi que minimiser la quantité des déchets.

2. Hiérarchie De La Gestion Des Déchets

La problématique des déchets ne peut pas être traitée comme un objet isolé, ni même se limiter aux seuls aspects de valorisation et d'élimination. Elle doit être placée dans une perspective holistique de gestion des risques et des ressources, qui couvre tout le cycle de vie du déchet, depuis sa génération jusqu'au traitement ultime. Elle anticipe le déchet dès le stade projet, inclut les stratégies de réduction à la source, de valorisation et d'élimination et vise à la maîtrise des flux tout au long du procédé aboutissant au déchet.

La hiérarchie vise à privilégier les modes de gestion qui auront le moins de répercussions négatives. Cela signifie que la plus grande quantité possible de matières résiduelles doit être destinée, dans l'ordre, à la réduction à la source, au réemploi, au recyclage ou à d'autres formes de valorisation, pour ainsi n'éliminer que le résidu ultime.

Les approches de gestion des déchets peuvent être décrites comme des stratégies. Pour bien gérer les déchets nous devons adopter des stratégies et des technologies qui préviennent et minimisent les déchets solides et diverses formes de pollution plutôt que sur les techniques de traitement en bout de chaîne et les pratiques d'élimination. Par exemple, Les technologies d'élimination et de traitement nécessitent d'importants investissements à long terme en biens d'équipement et ont des coûts permanents.

Mais en outre, les déchets et la pollution qui sont traités et éliminés persistent, posant des menaces continues et futures pour le public et l'environnement.

Pour bien gérer nos déchets plusieurs principes doivent être respectés :

- ❖ Prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets;
- ❖ Organiser le transport des déchets;
- ❖ Valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute action visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie;
- ❖ Informer le public des effets pour l'environnement et la santé publique;
- ❖ Limiter le stockage définitif aux seuls déchets résiduels, ultimes.

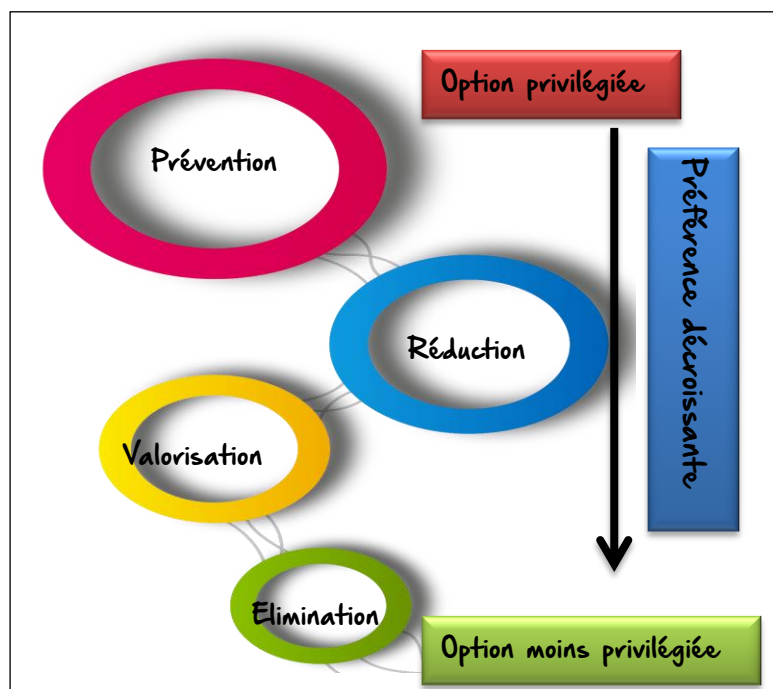


Figure 2. Hiérarchie De La Gestion Des Déchets

La gestion des déchets solides vise à prévenir la pollution du milieu naturel et tout système de gestion des déchets solides devrait reposer sur des études techniques et sur une planification d'ensemble comprenant:

- Des études et estimations de la composition des déchets et de leurs quantités;
- Des études sur les techniques de collecte;
- Des études sur les installations de traitement et d'élimination;

- Des études sur la prévention de la pollution de l'environnement naturel;
- Des études sur les normes de sécurité et de santé au travail;
- Des études de faisabilité.

Les attitudes qui favorisent la prévention sont préférables à toutes les autres, la pire des solutions étant l'élimination par incinération.

L'idée centrale est de **réduire la quantité de déchets** qui sont générés. On peut y parvenir soit par des **mesures préventives** (préférentielles) soit par des **mesures de gestion** (figure 3)

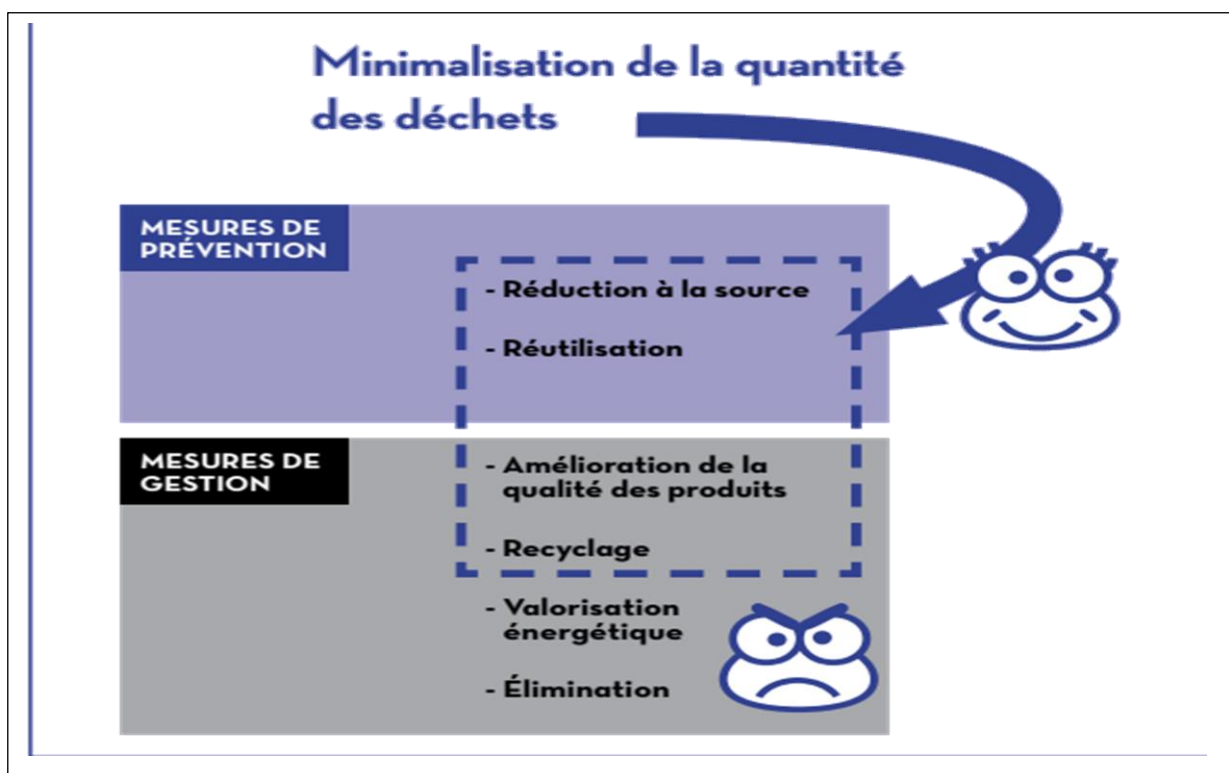


Figure 3. Les mesures de la prévention et de la gestion des déchets

3. Enlèvement et transport des déchets

3. 1. Collecte des déchets

Ensemble des opérations consistant à enlever les déchets et à les acheminer vers un lieu de transfert, de tri, de traitement, de valorisation ou vers une décharge.

L'objectif principal de la collecte des déchets n'est pas seulement de collecter les déchets solides, mais aussi de transférer les déchets de la source vers un site où le véhicule chargé peut être déversé. Le producteur de déchets solides devrait être responsable du tri et de la livraison des déchets aux collecteurs autorisés (tri et pré collecte) conformément.

Pour informer les citoyens sur le tri et la collecte des déchets, les autorités municipales devraient régulièrement organiser des campagnes de sensibilisation en association avec les communautés locales et les organisations non gouvernementales.

La majorité des pays sont dotés de systèmes de collecte dans les principaux centres urbains, plus limités en zone rurale. Toutefois, ces systèmes sont souvent mal coordonnés et exploités pour un certain nombre de raisons, dont les suivantes :

- ✓ Disponibilité limitée d'équipements de collecte appropriés ;
- ✓ Absence de directives et de supervision ;
- ✓ Pénurie de personnel formé et motivé pour collecter les déchets efficacement et régulièrement ;
- ✓ Faible sensibilisation à l'importance du tri et de la collecte des déchets au niveau des ménages.

3. 1. 1. Les différents types de collecte du service d'enlèvement des déchets

A) Collecte séparée ou spéciales

La collecte séparée désigne une collecte dans le cadre de laquelle un flux de déchets est conservé séparément en fonction de son type et de sa nature afin de faciliter un traitement spécifique».

C'est la rubrique des déchets dont l'enlèvement ne peut pas s'effectuer par les opérations de collecte normale. Seront englobés dans cette catégorie : les déchets encombrants, les déchets

du commerce, de l'artisanat et de certains bureaux, les déchets des marchés, les déchets des hôpitaux et les carcasses des véhicules hors d'usage.

Exemple 1 : La levée des déchets d'équipements électriques et électroniques (D3E) déposés par les particuliers auprès de distributeurs ou dans une déchèterie par un prestataire de service est une opération de collecte séparée.

Exemple 2 : La levée des conteneurs réceptionnant les flux de déchets de verre d'emballage est une opération de collecte séparée.

Exemple 3 : La levée des bacs des ordures ménagères résiduelles n'est pas une opération de collecte séparée.

B) La collecte sélective

La collecte sélective est fondée sur le principe de l'apport volontaire (acte de civisme). Elle consiste en la mise en place de points d'apport volontaire à proximité des centres d'habitations, chaque point d'apport recevant un type de déchets : verre, plastique ... Elle nécessite une sensibilisation et une bonne information des habitants.

La collecte sélective peut aussi se faire au niveau de centres de recyclage ou déchetteries.

Le mode de collecte sélective des déchets, est une gestion écologique avec retombée économique.

La collecte sélective nécessite la mise en place des moyens de collecte spécifiques pour des types des déchets bien déterminés.

Elle permet la récupération plus facile de produits ayant une certaine valeur et améliore les performances du compostage en séparant les éléments non fermentescibles gênants ou nuisibles.

Ils existent deux types de collecte pour tri sélectif

B. 1. La collecte apport volontaire

Acte volontaire d'aller dans un lieu particulier pour y déposer ses déchets. Ce type de système de bacs est adopté dans les endroits où les résidents de la communauté peuvent facilement accéder aux conteneurs pour jeter leurs déchets. Ce système est relativement abordable et largement adopté dans les pays développés et en développement. Pour réussir la mise en œuvre de ce système, les conteneurs doivent être couverts et régulièrement nettoyés. En outre, des conteneurs séparés doivent être fournis pour les matières recyclables, biodégradables et le verre.

Ce geste volontaire de l'habitant est fait pour principalement trois raisons :

- La protection de l'environnement ;
- Faciliter le recyclage et donc minimiser le coût d'élimination;
- Pour ne pas être gêné dans le lieu de vie.

B. 2. La collecte en porte à porte

C'est la municipalité qui organise la collecte des déchets déposés par les producteurs sur la voie publique, une à quatre fois par semaine.

Dans la pratique, la collecte sélective consiste à séparer et à trier les déchets et à les répartir sur divers récipients pouvant être des conteneurs, des poubelles ou des sacs.

La population dispose généralement de 3 à 4 types de récipients de collecte :

- ✓ Conteneur pour verre: ces conteneurs placés dans des endroits stratégiques où l'accessibilité est facile - le verre est même trié selon sa couleur verte, marron et transparente.
- ✓ Conteneur bio pour les déchets fermentescibles des cuisines et jardins : A l'intérieur de foyers, les déchets organiques sont emballés dans des sacs en papier renforcés pour absorber l'eau et disposés dans des bidons à couvercle qu'on vide par la suite dans le conteneur bio.
- ✓ Conteneurs pour les emballages : ils sont conçus pour recevoir des produits d'emballage qui sont revalorisables comme les emballages métalliques (boîtes de conserve, les tubes ...), les emballages de plastique (bouteilles de l'eau...).

3.1.2. Les systèmes de collecte

Pour la conservation des ordures dans les immeubles on utilise des récipients spéciaux. Il convient de distinguer les récipients utilisés dans les maisons individuelles, ou récipients de ménages, et les récipients collectifs utilisés dans les immeubles comprenant plusieurs appartements.

Les règlements sanitaires préservent un certain nombre de dispositions concernant les récipients des ordures ; ils doivent être étanches, clos, insonores constituées en matériaux imperméables et munis d'un mode de fermeture s'opposant à l'accès des mouches rongeurs et autres animaux. Ils doivent être assez stables pour ne pas être renversés et doivent être aussi maintenus en état de propreté.

Il existe à présent plusieurs catégories de récipients :

- * **collecte par poubelle ordinaire ;**
- * **collecte par sacs-perdus ;**
- * **collecte par récipients hermétiques ;**
- * **collecte par bacs roulants ;**
- * **collecte par conteneur.**

L'organisation des circuits de collecte est basée sur le découpage des zones urbaines à devenir en un certain nombre de secteurs dont la détermination devra compter les différents paramètres soit essentiellement :

- les qualités de déchets générés à l'intérieur de chaque secteur ;
- les caractéristiques techniques des matériels de collecte mis en œuvre ;
- la vitesse de collecte, celle-ci dépendant du type des récipients utilisés :- c'est-à-dire du type d'habitat dans le secteur considéré ;

- la fréquence et les horaires ;

- les contraintes diverses résultant des caractéristiques de la voirie et de la circulation ;
- les variations hebdomadaires (jours de pointe).

La collecte quotidienne a été longtemps considérée comme constituant le service le plus perfectionné ; du fait que les habitants sont débarrassés chaque jour de leurs déchets, en fait elle est souvent adoptée dans les grandes villes en raison de la grande concentration des déchets et des difficultés de stockage dans les immeubles.

La collecte est parfois réalisée la nuit, il est certain qu'elle est grandement facilitée par la faible circulation nocturne. Elle soulève toutefois, sur le plan pratique certaines difficultés notamment à cause du bruit qu'elle provoque, la sortie des récipients peut poser certains problèmes si l'on désire que les récipients ne séjournent pas toute la soirée sur les trottoirs.

Le moment le plus favorable pour la collecte d'une façon générale est le début de la matinée lorsque la circulation n'est encore trop active. L'intensification de la circulation dans les villes au cours des dernières années rend la collecte matinale de plus en plus difficile, pour limiter les risques d'accidents, la collecte des deux côtés sera limitée aux voies très étroites.

Le nombre de tournées effectuées par chaque véhicule est lié aux conditions de circulation dans la ville et à l'éloignement des lieux de décharge.

Il est évident qu'il y'a intérêt à utiliser au mieux le matériel et à effectuer le maximum de tournées, mais la prolongation du travail dans la matinée et dans l'après-midi est gênante dans les voies à circulation active.

Le service complet consiste à assurer avec l'équipe de collecte la sortie des récipients et leur remise en place dans les immeubles après vidage. C'est un service confortable pour les usagers, mais il nécessite des effectifs plus importants en plus des deux ou trois chargeurs affectés à chaque benne, l'équipe doit comprendre deux ouvriers pour sortir les poubelles avant le passage de la benne et au moins un pour les rentrer, avec cette méthode le ramassage dans la voie peut s'effectuer à n'importe quelle heure.

Le personnel est le plus fréquemment composé de trois personnes, un conducteur et deux éboueurs.

Pour que la collecte soit rationnelle, il faut que les circuits urbains et la fréquence et les horaires soient bien estimés.

3. 2. Les moyens de transport des déchets

- les moyens traditionnels

- les véhicules à traction animale
- Les véhicules à traction humaine
- Les véhicules à traction mécanique
- les camions plateaux
- Les tracteurs avec remorques
- Les bennes tasseuses

4. Les modes de gestion après collecte des déchets

Bien qu'elles utilisent les mêmes méthodologies, les pratiques de gestion des déchets solides diffèrent encore largement dans le monde. A titre d'exemple, le Japon brûle plus de 70% de ses déchets solides, tandis que plus de 84% des déchets américains sont mis en décharge. Malheureusement, les deux méthodes contribuent à une pollution accrue. Compte tenu de sa forte dépendance à l'incinération, le Japon doit faire face aux émissions atmosphériques dangereuses et à l'élimination des cendres. La fumée de l'incinérateur contient des substances toxiques telles que les dioxines, le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote. La concentration de dioxines dans l'atmosphère est trois fois celle des États-Unis.

En effet les modes de gestion des déchets solides après collecte et transport peuvent être divisés en deux types : méthodes destructives et méthodes de valorisation, comme c'est illustré dans la figure (3).

4. 1. Mise en décharge

Les décharges constituent l'approche terminale de la gestion des déchets et c'est le plus ancien mode de gestion. Mais les décharges sont également un défi environnemental. Ils contiennent des contaminants importants qui peuvent polluer les aquifères souterrains et les eaux de surface. De plus, ils abritent de grandes quantités de dioxyde de carbone, de méthane et d'autres gaz toxiques qui contribuent à l'effet de serre.

4. 1. 1. La décharge sauvage

Dépôt clandestin de déchets réalisé par des particuliers ou des entreprises, sans autorisation communale. Les déchets sont de toutes natures (banals, dangereux, organiques) et sont déposés dans des conditions qui ne respectent pas les règles des décharges contrôlées. Les impacts sur l'environnement, non gérés, sont nombreux et peuvent concerner la pollution des sols, la pollution des eaux, etc.

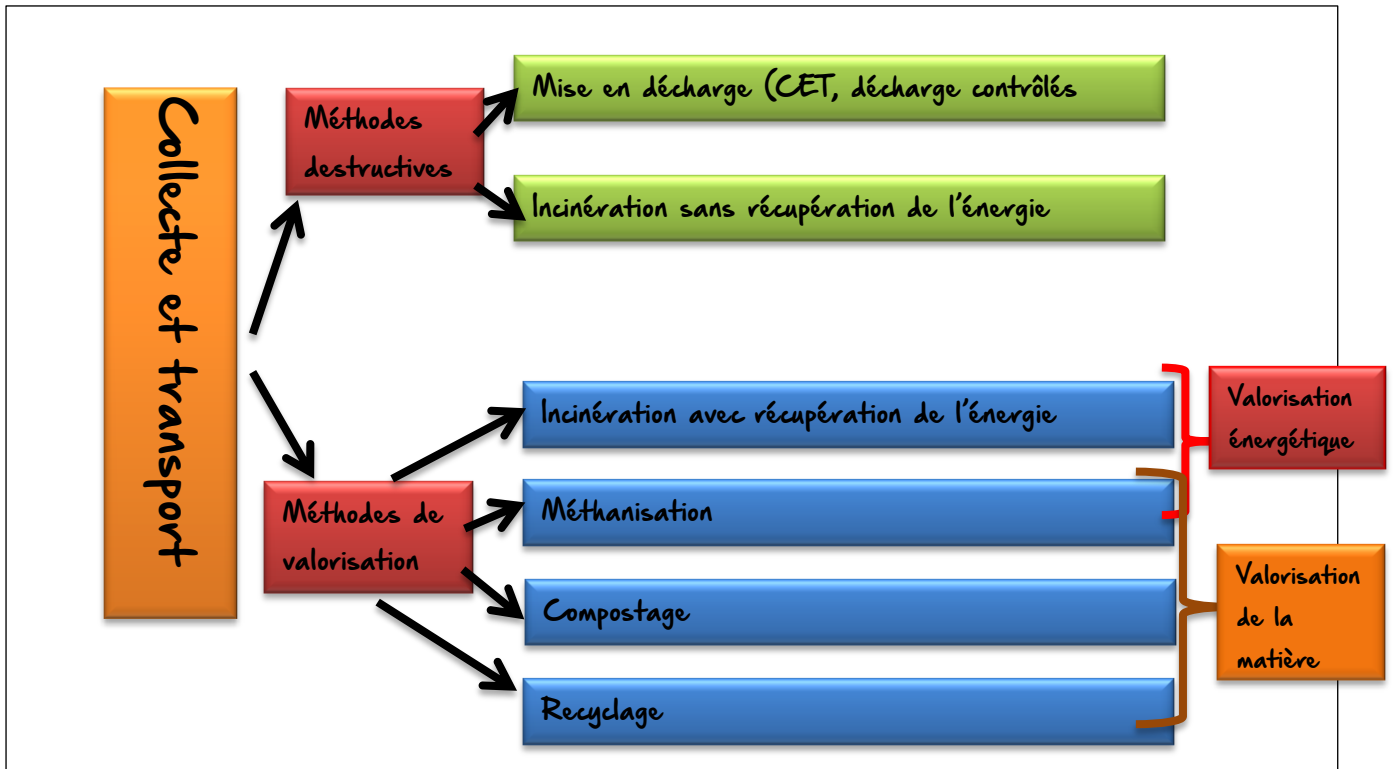


Figure 4. Les modes de gestion après collecte

4. 1. 2. La décharge contrôlée

C'est une méthode d'élimination des déchets solides urbains dont le principe repose sur l'enfouissement des déchets effectués de façon rationnelle dont le but d'éviter toutes nuisances, c'est une technique qui est jugée satisfaisante d'un point de vue environnemental, avantageuse de point de vue des coûts. Les décharges contrôlées sont apparues entre les deux guerres mondiales. Leur objectif était de favoriser la décomposition de la matière organique en ne tassant pas les déchets et en y favorisant la circulation d'air.

- Elle est implantée sur un site approprié après autorisation de l'administration, cette autorisation n'étant accordée qu'après une étude approfondie de son impact sur l'environnement, et en particulier de tous les dangers de pollutions pouvant en résulter ;
- Les déchets y sont mis en dépôt dans le respect des règlements administratifs en vigueur et suivant des techniques bien maîtrisées garantissant leur élimination hygiénique ;
- Son exploitation s'effectue conformément à un plan fixé à l'avance et suivant lequel la réintégration du site dans son environnement naturel devra s'effectuer en fin d'exploitation.

◆ Principe de la mise en décharge des ordures ménagères

Il consiste à épandre les ordures ménagères en couches successives ayant une épaisseur appropriée, à les régaler à l'engin, et à les limiter par des talus réglés peu inclinés dont la

largeur est en rapport avec le tonnage traité chaque jour, et que l'on appelle le " front de décharge". Les déchets sont recouverts journallement d'une couche d'un matériau inerte ayant une épaisseur de 10 à 20 cm que l'on appelle la " couverture".

Les ordures mises en décharge sont le siège d'activités biochimiques intenses dont le déroulement exige plusieurs mois, si ce n'est des années. Le tassement qui s'effectue plus ou moins rapidement a une influence déterminante sur le caractère aérobie ou anaérobie des fermentations dont la matière organique des déchets. Si ce tassement est modéré, la masse reste suffisamment aérée et les processus aérobies sont prépondérants, la fermentation anaérobies prennent le dessus à l'intérieur de la masse.

◆ **Les différents modes de mise en décharge contrôlée**

Les différents systèmes d'implantation et d'exploitation des décharges contrôlées diffèrent en fonction de la topographie des sites :

a) Décharges en terrains plats

Le principe de base consiste à diviser l'espace disponible en un certain nombre de parcelles rectangulaires semblables que l'on délimite à l'aide d'un cordon ou casier étant en cours de remplissage pendant la préparation du casier suivant.

On utilise alors une des deux méthodes suivantes :

-La méthode des monticules : qui consiste à élever sur le sol plat des cordons de matériaux inertes délimitant les casiers, mais en laissant un accès pour l'entrée des véhicules de collecte et des engins ;

-La méthode des tranchées : elle consiste à creuser dans le sol des tranchées de 25m x 100m ayant une profondeur de 3m à 5m, ces dimensions pouvant varier suivant les quantités d'ordures à mettre en décharge. Les déblais sont utilisables comme matériel de couverture.

La terre végétale pouvant servir à la régénération du terrain après remplissage de la tranchée.

Une rampe doit être aménagée pour le passage et la descente des véhicules et des engins.

Dans les deux cas, les ordures sont déposées par couches dont l'épaisseur varie suivant le type d'exploitation adopté, c'est à dire suivant le degré de compression. Ces couches, suivant les dimensions des casiers, sont constituées soit horizontalement, soit inclinées.

b) Décharges en terrains accidentés

-Terrain en cuvette ou en dépression : en ce cas, on procède à l'enfouissement par couches successives légèrement inclinées que l'on recouvre de matériau de couverture en procédant ainsi jusqu'à remplissage de la dépression.

-Terrain avec relief : si le terrain possède un relief c'est à ses dépens que sera prélevé le

matériau de couverture dont on recouvrira les couches successives et cela sera un avantage, car il ne sera pas besoin de l'apporter de l'extérieur.

♦ **Volume occupé par les décharges**

La densité- ou masse volumique- des ordures mises en décharge diminue sous l'effet de deux influences :

- Le tassement effectué par le passage des engins, le degré de compression étant très variable suivant le type d'exploitation- et par conséquent suivant le type des engins mis en œuvre ;
- Le tassement progressif qui s'accomplit naturellement avec le temps : alors que, au bout d'un certain temps soit 5 à 6 ans, le tassement aura pratiquement cessé de s'effectuer, il n'en sera pas de même au cours des premières années, et en particulier durant les premiers mois alors que les effets du mode de compression adopté se seront plus nettement manifestés.

♦ **Les différents types de décharges contrôlées**

Suivant le degré de compression des ordures ménagères mises en décharge, ou suivant que ces ordures ont subi une préparation préalablement à leur mise en décharge, on distingue trois types de décharges contrôlées, à savoir la décharge contrôlée du type traditionnel, la décharge contrôlée compactée, la décharge contrôlée de déchets broyés.

La décharge contrôlée est un procédé relativement simple qui ne nécessite pas d'infrastructure importante. Mais, en pratique, l'exécution matérielle comporte certaines difficultés : mise en place des déchets, circulation des engins, constitution de la couverture. Le terreau ainsi obtenu peut être utilisé ultérieurement comme amendement et engrais pour le sol. Les décharges contrôlées complètent tous les autres modes de traitement pour en éliminer les déchets ou pour pallier les arrêts des unités industrielles de traitement des déchets domestique ou industriels.

Bien que le risque de nuisance soit considérablement réduit l'ouverture d'une décharge est subordonnée à une enquête géologique, pour éviter la pollution des nappes souterraines par l'infiltration des eaux pluviales, et à une autorisation administrative, car il s'agit d'une installation classée pour la protection de l'environnement.

Récemment, les décharges sont désormais appelées *centres de stockage des déchets ménagers et assimilés* ou *centres d'enfouissement technique* (appellations moins péjoratives) et divisées en trois classes :

- classe 1 : réservée aux déchets industriels spéciaux ou toxiques ;
- classe 2 : réservée aux déchets ménagers et assimilés ;
- classe 3 : réservée aux déchets inertes.

Un centre d'enfouissement technique (CET) est un ensemble de « casiers » divisés en alvéoles, indépendants sur le plan hydraulique et entourés de digues étanches. Les lixiviats sont récupérés, traités par lagunage et envoyés en stations d'épuration.

4. 2. Traitement par chaleur

4. 2. 1. Incinération

Ce procédé est déjà ancien : la première unité d'incinération a été installée en 1876 au Royaume-Uni. Outre des gaz et des poussières, la combustion des déchets génère inévitablement des résidus solides : cendres, mâchefers. Certains de ces déchets de déchets sont récupérés et valorisés, à l'image des mâchefers en technique routière, les autres sont envoyés en décharge

a) Avantages

- Importante réduction volumétrique, puisque les cendres et mâchefers résiduels ne représentent que 10 à 20 % du volume initial.
- Adaptation aux gros gisements.
- Rapidité de traitement (pas de prétraitement).
- Pas de production de méthane.
- Récupération d'énergie possible
- Récupération des métaux possible.
- Certitude de stérilisation microbienne (ce qui en fait le seul mode de traitement acceptable pour les déchets hospitaliers, septiques par nature, ou pour les farines animales).
- Dépolymérisation de certains déchets industriels, leur faisant perdre ainsi leur toxicité.
- Combustible dont le coût est souvent raisonnable pour les cimenteries, mais à des degrés divers selon les cours des autres sources d'énergie. Les déchets y sont utilisés comme combustibles de substitution depuis une quinzaine d'années, avec une préférence pour les pneumatiques, dont l'approvisionnement est régulier et qui ont un pouvoir calorifique très élevé : en effet, pour produire du ciment, il faut chauffer à très haute température un mélange minéral broyé (calcaire, argile et schiste, mélangés à du gypse). La température requise est de 1 450 °C.

b) Inconvénients

- Les coûts d'investissement et de fonctionnement sont importants, impliquant un seuil de rentabilité élevé, ce qui peut être gênant pour les petites unités ;

- Un incinérateur pour produits industriels doit être plus équipé d'un laboratoire permettant de vérifier que la nature des déchets est compatible avec les capacités de l'installation et que les dispositions légales sont respectées ;
- La production d'énergie entraîne un surcoût d'investissement de l'ordre de 25 % et est très dépendante dans le temps de la qualité calorifique et de la quantité des déchets traités ;
- L'incinérateur a une capacité de traitement qui n'est pas toujours immédiatement superposable aux apports ponctuels de déchets ;
- Un lieu de dépôt des cendres et mâchefers avant enlèvement doit être prévu ;
- L'incinération dégage cinq types de produits : de l'eau, des gaz (dont gaz carbonique et oxyde d'azote), de la poussière minérale (cendres et mâchefers), des métaux lourds (plomb, mercure...) et des molécules organiques (carbone, acides chlorhydrique et fluorhydrique, et les trop fameuses dioxines issues des résidus chlorés, peu biodégradables et cancérigènes) ;
- Le problème des eaux (ruissellement, lavage des installations, vapeur issue de l'incinération, etc.) doit aussi être pris en compte et obéit à des règles strictes ;
- L'incinération s'accompagne de production de fumées et donc d'odeurs.

c) Modes de valorisation des produits issus de l'incinération

▪ Production d'énergie

En termes de comparaison énergétique, on estime que l'incinération d'une tonne d'ordures ménagères produit l'énergie qu'auraient fournie 150 litres de fuel.

La production d'énergie peut être d'ordre thermique et servir ainsi par exemple à alimenter les besoins d'un chauffage collectif ou d'industries de proximité.

Le lieu d'implantation doit être alors judicieusement choisi pour permettre de ménager l'aspect environnemental tout en préservant l'intérêt économique lié au nécessaire voisinage.

Dans tous les cas, elle permet une économie des sources d'énergie plus nobles et permet de réduire les coûts de traitement des déchets pour la collectivité.

▪ Mâchefers

Mélanges de métaux, de verre, de silice, d'alumine, de calcaire, de chaux, d'imbrûlés et d'eau, les mâchefers ont été longtemps utilisés comme *équivalents-sable* dans les infrastructures routières, ainsi que pour la réalisation des pistes de stades (les *cendrées*).

On s'est aperçu depuis que certains d'entre eux avaient un potentiel polluant et, aujourd'hui, ils ne sont valorisés qu'après analyse chimique et classification : V (valorisables immédiatement), M (valorisables après maturation) ou S (stockables en centre d'enfouissement de classe 1).

La maturation, réalisée dans des centres de stockage, peut durer de 3 mois à 1 année et permet de stabiliser les propriétés chimiques du mâchefer : oxydation naturelle, carbonation de la chaux, réduction du pH. Le mâchefer ayant subi cette maturation peut être, selon les cas, valorisable ou au contraire passer dans la catégorie S.

4. 2. 2. Thermolyse

La thermolyse est un procédé de traitement par la chaleur (450 à 2 000 °C) en l'absence d'air. Elle est applicable aux matières organiques (composé de cendres, minérales et carbone).

a) Avantages

- Le principal avantage réside dans son adaptation aux petits volumes (moins de 50 000 t/an, idéalement de 5 000 à 10 000 t/an).
- Elle permet par ailleurs de traiter des déchets variés, quelle que soit leur valeur calorifique.
- Il s'agit d'une technique propre, qui, en particulier, ne génère pas de dioxine (dioxine = chlore + oxygène + température ; ici pas d'oxygène, donc pas de dioxine). De plus, le chlore est capté à la sortie, et la dioxine ne peut donc pas se former secondairement.
- Le coût de traitement est compétitif.
- Le résidu carboné final peut intéresser certains industriels grands consommateurs d'énergie, comme les cimenteries : c'est un combustible de substitution renouvelable à l'infini, stockable, au pouvoir calorifique significatif.

b) Inconvénients

- Obligation d'obtenir des débouchés de proximité pour le résidu carboné, condition sans laquelle les coûts de transport annulent les bénéfices obtenus par l'économie de traitement. Or les lieux où sont générés les petits gisements sont souvent éloignés des sites d'implantation des utilisateurs.
- Le combustible obtenu s'apparente à un charbon, certes, mais de qualité médiocre.
- Ce résidu carboné renferme une certaine quantité de cendres qui peuvent contenir des métaux lourds : son utilisation ne peut donc s'envisager que pour des industries qui possèdent des moyens performants pour le traitement des fumées : c'est le cas des centrales thermiques et des cimenteries, mais elles sont souvent trop éloignées.

4. 2. 3. Stabilisation des déchets ultimes

Le déchet ultime ne peut plus subir de transformations permettant de le valoriser. Mais il peut comporter encore des substances dangereuses pour l'environnement qu'il faut donc contenir, d'où la mise au point de méthodes de stabilisation par liaison à une « matrice ».

Plusieurs possibilités ont été étudiées :

- encapsulation dans des matières plastiques : technique encore à l'étude, plusieurs questions restant sans réponse, notamment la stabilité à long terme ;
- inclusion dans des bitumes : technologie séduisante, mais aussi questions sans réponses justifiant un attentisme des autorités ;
- fixation par des liants hydrauliques permettant une solidification, puis un dépôt en décharge de classe 1 : ce procédé a été étudié par de nombreuses sociétés et fait aujourd'hui l'objet d'une exploitation industrielle ;
- vitrification : sous réserve qu'ils présentent une structure chimique le permettant, les déchets sont portés à des températures dépassant 1 200 °C et prennent, en se refroidissant une structure vitreuse homogène : les premières applications ont concerné les déchets radioactifs. C'est aujourd'hui, par exemple, le mode de traitement de l'amiante;
- reconstitution de minéraux naturels : certains minéraux naturels ont la propriété de fixer les métaux lourds dans leur structure. C'est le cas des apatites qui permettent une stabilité évaluée à 60 millions d'années, mais qui craignent les milieux acides. Les techniques sont plus onéreuses que la vitrification et leur exploitation industrielle n'est pas encore à l'ordre du jour.

Bien que la technologie existe pour éliminer les produits chimiques toxiques de la fumée des incinérateurs et pour empêcher les décharges de fuir, elle est généralement coûteuse et soumise à une réglementation étatique stricte.

4. 3. Valorisation

La valorisation consiste à donner une valeur marchande aux déchets par divers moyens:

4. 3. 1. Le recyclage

Le **recyclage** est un procédé de traitement des déchets (déchet industriel ou ordures ménagères) qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui composaient un produit similaire arrivé en fin de vie, ou des résidus de fabrication.

Le recyclage aurait aussi pour vertu d'aider à résoudre le problème de l'alimentation mondiale : «le recyclage des déchets alimentaires et la mise en place de nouvelles technologies, comme produire du sucre à partir de déchets de paille ou de restes de noix.

Le recyclage permet de préserver les ressources naturelles par la réutilisation de matériaux issus de déchets et de réduire la consommation d'énergie, l'émission de gaz à effet de serre, la protection de l'environnement et la diminution des déchets.

En Algérie Sur 6,1 millions de tonnes de déchets ménagers recyclables (Environ 45 % de ces déchets), seulement 5% sont exploités par des filières de la récupération. Parmi ces 6,1 millions de tonnes, il y a 1,8 million de tonnes de papiers, 1,22 millions de tonnes de plastiques, 1,6 millions de tonnes de textiles et 300.000 tonnes de métaux.

En 2009, moins de 15% des matières plastiques, 20% du zinc, 15% du cuivre sont recyclés dans le monde.

Les indiens champions du monde du recyclage. Les chiffonniers de New Delhi trient quelques 8000 tonnes d'ordures chaque jour. Beaucoup de plastique car les indiens en sont les plus gros consommateurs au monde.

- 89 milliards de bouteilles d'eau en plastique sont vendues chaque année dans le monde, soit 2822 litres d'eau mis en bouteille chaque seconde. Soit 22 milliards de dollars de recettes.
- Une tonne de verre = une tonne de verre. Le verre est recyclable à l'infini.
- Le plastique des bouteilles est transformé en tubes, tuyaux et fibres plastiques. Une tonne de plastique recyclé = 700 kg de pétrole économisé.

Une tonne de papier-carton recyclé = 2,5 tonnes de bois économisé. Tous les cartons se recyclent une dizaine de fois.

* Une tonne d'aluminium trié = une tonne d'aluminium « neuf ». Le recyclage de ce matériau permet de fabriquer des voitures, des vélos, des flacons, des semelles de fer à repasser...

-Une tonne d'acier recyclé = une tonne de minerai de fer économisé. On fabrique avec des clés, des caddies (poussette), des outils, de nouvelles boîtes de conserve...

4. 3. 2. Le compostage

Le compost est le produit obtenu par la dégradation des déchets organiques. Il permet d'améliorer la fertilité du sol. Il provient de la transformation des déchets organiques en présence d'eau et d'oxygène, par le biais de micro-organismes (champignons microscopiques, bactéries...) et des macro-organismes (lombrics, acariens, gastéropodes...). Le produit obtenu est comparable à l'humus, et est utile en agriculture et en jardinage.

D'une manière générale les déchets compostables ont une composition très diversifiée. Ils regroupent tout ce qui est fermentescible. Parmi Les composantes des déchets de

compostage : - épluchures ; - fanes de légumes ; - restes fruits;- légumes abîmés; - papiers;- carton;- feuilles;- gazon ; - mauvaises herbes;- résidus de récolte;- branches;- écorces.

Ce mode de valorisation des déchets vise les déchets verts, les déchets des marchés de fruits et légumes, les déchets de l'industrie agroalimentaire et les déchets organiques des ménages.

Le compostage permet :

- de réduire la quantité à enfouir en décharge de de 30 à 70% (moins de lixiviats);
- de prolonger la durée de vie de la décharge ;
- de valoriser la matière organique sous forme de compost pour l'agriculture.

Le compostage ne représente que 1% de l'ensemble des déchets produits en Algérie.

- **Avec une tonne de déchets verts, on obtient 250 kg de compost.**

4. 3. 3. La méthanisation

La méthanisation est un procédé de traitement biologique par voie anaérobie, dans des conditions contrôlées, de déchets exclusivement ou majoritairement composés de matériaux fermentescibles.

C'est une dégradation anaérobie des déchets, il s'agit d'un processus par lequel les déchets biodégradables sont décomposés par des microorganismes anaérobies en l'absence d'oxygène, produisant du méthane et du dioxyde de carbone et du digestat.

Dans ce processus, l'oxygène n'est pas nécessaire pour la décomposition des déchets; le processus anaérobie est intrinsèquement l'option la plus économe en énergie pour l'élimination sûre des déchets. Toutes les autres options sont soit énergivores, peu pratiques ou dangereuses pour l'environnement. Une grande variété d'applications de procédés pour la bio méthanisation des eaux usées, des boues, des déchets alimentaires et des déchets solides a été développée. Depuis plus de 100 ans, cette technologie a été utilisée dans différentes situations pratiques, se montrant comme une plate-forme viable. Néanmoins, des améliorations techniques sont en cours.

5. Stockage des déchets

Le terme de stockage contient a priori, la possibilité de récupérer le déchet stocké au moment où, les conditions techniques ou économiques ayant évolué, le caractère ultime du déchet aura disparu et pourra de nouveau faire l'objet d'un traitement.

Le stockage est le dernier maillon dans la chaîne de gestion des déchets. Il concerne la fraction des déchets qui ne peut être valorisée sous forme de matière ou d'énergie dans les conditions techniques et économiques du moment

Le stockage est un mode de traitement destiné à stocker des déchets ultimes, c'est-à-dire ceux ne pouvant plus faire l'objet d'une valorisation dans des conditions technologiques et économiques optimales, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. Exutoire ultime des déchets, les installations de stockage ont su optimiser leur activité et investir technologiquement pour augmenter leur performance en termes de valorisation matière ou énergétique. Elles sont de 3 sortes :

Les Installations de Stockage de Déchets Dangereux (ISDD)

Les Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND)

Les Installations de Stockage de Déchets Inertes (ISDI)

6. Recommandations pour une bonne gestion des déchets

Les déchets occupent une place importante dans la dégradation de l'environnement et doivent faire l'objet d'une attention particulière :

- Réalisation des études d'un réseau de collecte des déchets adapté au développement de chaque agglomération ;
- Renforcer les services de collecte des ordures ménagères en personnel et en matériel ou à défaut de moyens ;
- Multiplier l'installation de poubelles sur les lieux publics ;
- Installation des bacs de réception d'ordures ménagères près des centres commerciaux, marchés et quartiers ;
- Encourager et favoriser la création de petites entreprises de récupération ;
- Réformer les véhicules de collecte car ils sont anciens et largement amorties;
- Réorganisation du parc véhicule avec le recrutement d'un personnel qualifié et l'achat de matériels nécessaires pour le fonctionnement de la collecte ;
- L'acquisition des moyens du pré collecté (caissons et bacs) serait la solution à entreprendre à court terme pour diminuer l'éparpillement des ordures ainsi que l'acquisition de nouveaux véhicules de collecte serait une solution plus efficace à court et moyen terme pour diminuer le problème d'accumulation des déchets ménagers et éradiquer les points noirs ;

-
- Homogénéiser les moyens du pré collecte et utiliser les plus adéquats afin de faciliter la collecte (des sachets en plastique normalisés et la mise en place des bacs pour faciliter le ramassage des ordures ménagères) ;
 - Recruter une équipe de balayeur et les bien former sur l'importance de son travail pour la santé publique et la protection de l'environnement ;
 - Utilisation des caissons à ordures dans la grande artère commerçantes (marchés) et les bacs dans les cités ;
 - Sensibiliser les citoyens pour le respect des endroits et les heures de collecte ;
 - Eradication des dépôts sauvages et les points noirs existants dans le territoire de la commune et interdire les dépôts anarchiques.

7. Facteurs qui influencent la gestion des déchets

Plusieurs sont les facteurs qui influencent la gestion des déchets entre autres :

Facteurs Politiques: volonté politique, gouvernance multi-niveaux, réglementations gouvernementales (impôts, subventions), collecte et suivi des données;

Facteurs Économiques: modèle d'entreprise, analyse coûts-avantages, disponibilité des financements, collaboration et transparence tout au long de la chaîne de valeur;

Facteurs liés à l'Environnement: politique de durabilité, impact sur la santé humaine;

Facteurs Sociaux: perception de la communauté;

Facteurs liés aux Progrès technologiques: innovation, infrastructure;

Facteurs Pédagogique: centres de recherche, projets de coopération.

Les acteurs de la gestion des déchets

Du point de vue de la consommation globale de matières, des quantités excessives de déchets dans la société résultent de processus de **production inefficaces du côté industriel, d'une faible durabilité des biens** et de **modes de consommation non durables du côté des consommateurs**. Alors que les quantités totales de déchets reflètent la perte de ressources, les composants dangereux contenus dans les déchets de produits et leur rejet dans l'environnement déterminent les priorités et les défis pour des stratégies efficaces de gestion des déchets, de sorte que des risques environnementaux importants puissent être évités.

La gestion des déchets implique un grand nombre d'acteurs publics et privés. Des producteurs, aux collectivités locales, en passant par les entreprises spécialisées dans la collecte, le transport et le traitement des déchets,

Les acteurs développent des stratégies ou des logiques propres, leurs relations de natures diverses concourent à la réalisation d'un objectif commun qui est celui d'assurer la propreté

1. L'Etat et les collectivités locales

Interviennent surtout en amont dans l'organisation du service (car elle présente un rôle primordial de l'encadrement juridique du service de l'élimination des ordures ménagères) et, en aval, dans son financement et la tarification à l'utilisateur. L'Etat a le pouvoir de promotion et d'animation de la politique de gestion des déchets, il fixe le cadre réglementaire et les grandes orientations pour une gestion durable des déchets (une gestion durable des déchets a comme priorité la prévention, la valorisation et la réduction des impacts environnementaux et sanitaires). Généralement, l'Etat intervient par le ministère de l'environnement avec pour objectifs la prévention sanitaire et la protection de l'environnement.

Dans la dynamique d'acteurs du service de l'élimination des déchets ménagers, le rôle essentiel de l'Etat est l'encadrement du système par les réglementations, par lesquels tous les acteurs concernés sont conduits à modifier leurs stratégies et leurs comportements. En outre, il intervient directement et indirectement avec les moyens administratifs, techniques et financiers. Les communes doivent organiser sur leur territoire le service d'élimination des déchets des ménages soit directement, soit l'intermédiaire de leurs groupements. Les communes traduisent en décision une demande sociale, décident des modes de collecte et de traitement et des modes de gestion et de tarification.

2. Les usagers

Les usagers sont des producteurs des déchets après consommation ou utilisation. Ils ont l'obligation de présenter leurs ordures ménagères au collecteur désigné et d'acquitter, en contrepartie, le paiement demandé pour un service qui doit desservir de façon continue et équitable.

D'autres acteurs interviennent lors de la mise en œuvre du service dont les étapes sont : conception, décision, montage financier. En réalité, le rôle de ces acteurs, quoique ne devant pas être déterminant dans la phase avant-projet, se révèle parfois très important, subtil et influant.

3. Les entreprises

Le rôle des entreprises est plus ou moins important selon la décision de l'autorité organisatrice. Nous trouvons les entreprises de fourniture de matériels de collecte ou de pré collecte, d'ingénierie de construction d'unité de traitement, de prestations de service de collecte ou de traitement. Ces entreprises réalisent, pour le compte des collectivités en charge des déchets, des services de collectes, de transport ou de traitement, soit dans le cadre de prestations ou bien en délégation de service public. Elles interviennent également au service des autres producteurs de déchets (déchets de l'activité économique...).

4. Les services extérieurs de l'état

Jouent des rôles de :

- Conseil, maitre d'œuvre, conduite d'opération pour les communes
- Contrôle : service des installations classées
- Coordination

5. Le secteur informel

Il est absolument nécessaire d'intégrer le secteur informel (qui se compose de chiffonniers et de recycleurs illégaux ou non autorisés) dans le processus général de gestion des déchets, car ils traitent une quantité substantielle de déchets sans les garanties environnementales obligatoires.

Les gens de ce secteur sont appelés chiffonniers, qui ramassent des chiffons et récupèrent les déchets recyclables et d'autres ressources; ils reçoivent peu de reconnaissance et sont très

vulnérables. Leurs activités incarnent le secteur informel, car il s'agit d'un travail à forte intensité de main-d'œuvre, à faible technologie, à bas salaire et non réglementé, souvent accompli par des individus ou des groupes familiaux. Le travail des chiffonniers est de trier et de collecter les déchets de valeur inutilisés, composés de plastiques, de bouteilles, de carton, de boîtes de conserve, d'aluminium, de fer, de laiton et de cuivre. Après la collecte, ces personnes vendent les déchets à des ferrailleurs. Ils assurent la collecte primaire et transforment les matériaux collectés en produits intermédiaires ou finaux. Le recyclage informel des déchets est effectué par des groupes sociaux pauvres et marginalisés, qui ont recours à la récupération et à la collecte des déchets pour générer des revenus et même pour survivre au quotidien. Il existe trois catégories de chiffonniers:

1. Ramasseurs de déchets de rue: collecter les matières premières secondaires récupérées à partir des déchets mixtes jetés dans la rue.
2. Ramasseurs de déchets municipaux: Collectez les déchets des véhicules qui transportent les DSM jusqu'aux sites d'élimination.
3. Ramasseurs de déchets de décharges: Collectez les déchets des décharges. Les décharges contiennent des déchets de partout dans la ville et sont donc des lieux de choix pour les ramasseurs de déchets. Les systèmes de recyclage informels peuvent apporter des avantages économiques importants aux pays en développement. D'un point de vue macroéconomique, ils sont bien adaptés aux conditions du moment: il y a une main-d'œuvre abondante, qui gagne capital très limité. Bien que les chiffonniers contribuent dans une large mesure à la réduction des déchets et au tri des matières premières secondaires précieuses, ils ont à titre personnel de mauvaises conditions de vie. Les chiffonniers ont un risque élevé pour la santé au travail et souffrent souvent de blessures et de morsures de chien. Les risques pour la santé au travail des ramasseurs de déchets dans les pays en développement sont élevés en raison de leur manipulation manuelle des matériaux et du manque de vêtements / équipements de protection, entraînant un contact direct avec les déchets.

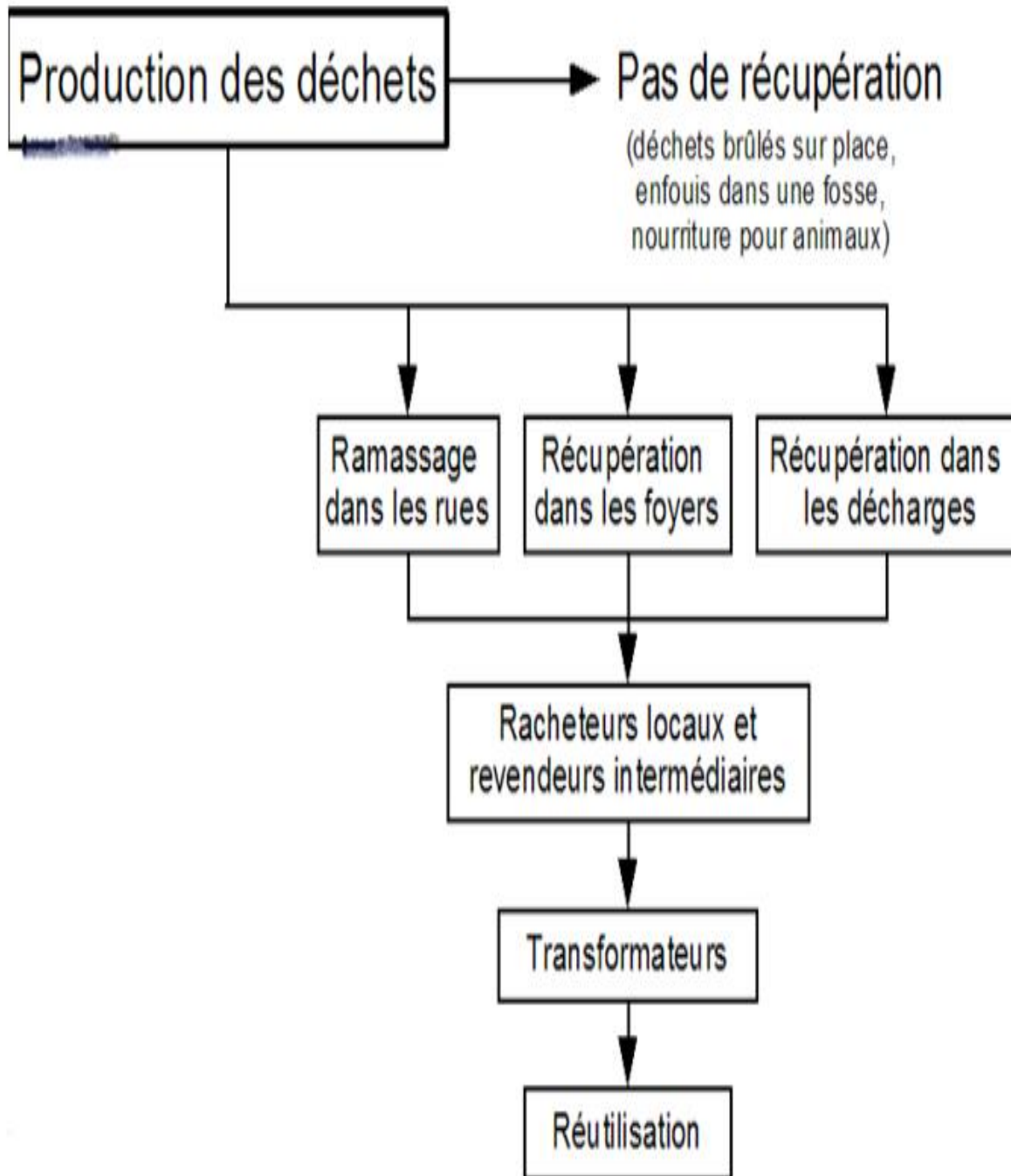


Figure 5. Participation du système informel dans la récupération

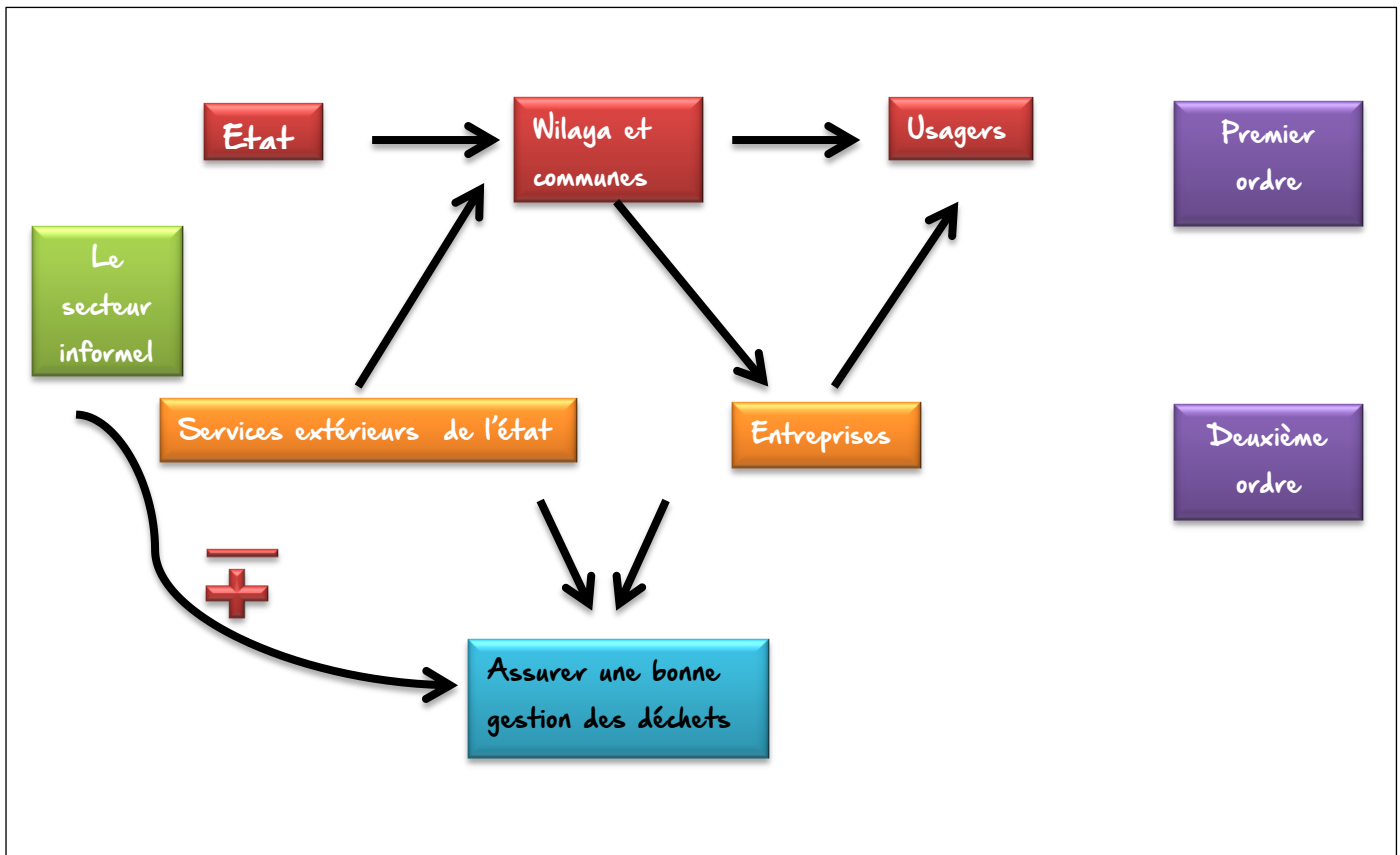


Figure 6. Les acteurs de la gestion des déchets

Filière de traitement biologique des rejets

La fraction fermentescible des ordures ménagères représente de 30 à 70 % voire plus du poids humide de la poubelle des ménages. De nombreuses interrogations existent quant au meilleur traitement à mettre en place pour cette fraction de déchets.

La pertinence d'installer une unité de traitement biologique des déchets est d'ailleurs renforcée par la limitation de la mise en décharge aux seuls déchets non valorisables. La satisfaction des objectifs fixés des plans de gestion des déchets relatifs à l'élimination des déchets passe donc inéluctablement par le développement de la filière de traitement biologique des déchets organiques.

Les sources de production de déchets organiques ménagers et assimilés sont nombreuses et variées. Il s'agit par exemple : des déchets de jardin, déchets de la restauration, les déchets de l'industrie agro-alimentaire. Généralement la fraction de déchets organiques trouve dans un traitement biologique la voie d'élimination à privilégier.

Les enjeux de la mise en place d'une unité de traitement biologique sont importants. Planter une unité de traitement biologique inquiète souvent les responsables de collectivités locales qui craignent les plaintes des riverains. Il est vrai que de nombreuses installations ont donné lieu à des conflits de voisinage ayant pour origine des émissions constantes d'odeurs nauséabondes. Cette époque est aujourd'hui révolue du fait des avancées technologiques observées depuis plusieurs années.

Le principe général des traitements biologiques est d'exploiter certaines activités microbiennes en les stimulant de manière contrôlée afin soit de réduire les nuisances potentielles des déchets (odeurs, risques sanitaires, caractère polluant au sens large du terme), soit de les **valoriser sous forme énergétique ou sous forme de matière**. De ce fait, les procédés biologiques sont en pratique généralement utilisés pour le **traitement de déchets essentiellement organiques présentant un caractère biodégradable**, à savoir notamment les déchets associés à l'exploitation ou à la consommation de la biomasse (sous-produits d'élevage, de cultures, d'industries agroalimentaires ; fraction organique des ordures ménagères).

Les déchets solides possédant un taux de matières sèches respectivement supérieur à 15 % de la masse brute alors que pour les déchets dits « boueux » le taux de matières sèches compris entre environ 3 et 15 %.

1. La dégradation de la matière organique

La matière organique présente un caractère spécifique qu'est la biodégradabilité. La dégradation peut se dérouler en présence (aérobie) ou en absence (anaérobie) d'air. En fonction de la voie, les micro-organismes responsables de la dégradation sont différents et de nombreux paramètres varient.

La mise à disposition d'air par retournement de la matière ou par insufflation d'air induit une réaction de fermentation aérobie : c'est le principe du compostage. Dans ce cas, la flore bactérienne est spécifique et la dégradation se divise en deux phases principales.

Le produit issu de cette dégradation est un composé solide et stable proche des humus naturels que l'on appelle le compost. Les émanations gazeuses sont moindres et le produit solide n'a pas la même valeur agronomique que lors d'une dégradation anaérobie. Enfin, la réduction de volume et de poids est de 50 %.

Sans apport d'air, artificiel ou non, la fermentation est anaérobie. Elle est le résultat d'une forte activité microbienne qui a pour effet une réduction considérable de la charge de matière organique allant jusque 70 % et est à l'origine de l'émission de biogaz : c'est le principe de la méthanisation. Quel que soit le lieu, les étapes de fermentation anaérobie dont résulte le biogaz sont au nombre de quatre.

Cette réaction naturelle peut être mise en évidence en remuant le fond d'un marais duquel s'échapperont des bulles de gaz. Le biogaz est un gaz combustible, mélange de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂) de composition variable. Ce phénomène peut être optimisé en envoyant la fraction fermentescible dans un milieu confiné, le digesteur, afin d'accélérer la vitesse de dégradation.

2. Notion de biodégradation

Généralement, les termes liés à la notion de biodégradation sont définis à l'échelle moléculaire et non à l'échelle du matériau et concernent dans la plupart des cas des substrats organiques. Le terme **biodégradation** généralement retenu dans la littérature scientifique

correspond à une action de dégradation d'un composé organique par des agents biologiques (généralement microbiens) avec comme seuls rejets, des produits simples tels que H_2O , CO_2 , CH_4 , H_2 , Cl -..., mais encore des produits organiques simples (métabolites) tels que des acides organiques etc. Si la biodégradation du substrat organique est totale, c'est à dire formation uniquement de produits inorganiques tels H_2O , CO_2 , CH_4 , H_2 , on parle de **minéralisation**. Le terme **biotransformation** implique la notion de transformation incomplète d'un substrat organique métabolisé qui n'aboutit donc pas forcément à son assimilation totale. Il peut s'agir par exemple d'une oxydation partielle du substrat qui se traduit par un rejet de produits intermédiaires (**métabolites**) dans le milieu.

Le terme **biodégradabilité** regroupe les qualités nécessaires à une substance pour subir un processus d'altération microbienne.

L'**altération** microbienne ou **bioaltération** concerne non seulement les substances organiques mais aussi les substances inorganiques et résulte soit d'attaques enzymatiques (action directe des microorganismes), soit de modifications chimiques de l'environnement tels que le pH, sous-produit du métabolisme... qui ont pour conséquence l'altération physique et/ou chimique (action directe).

3. Micro-organismes, nutrition et écologie microbienne

3.1. Micro-organismes

Pour simplifier, la notion de micro-organisme sera ici limitée aux **bactéries**, **levures**, **champignons filamenteux** (moisissures) et **algues** classés en deux groupes, **procaryotes** et **eucaryotes**, l'ensemble correspondant grosso modo aux **protistes**.

- **Eucaryotes** ou protistes supérieurs : (algues, protozoaires et champignons). Cellule avec un "vrai" **noyau** entouré d'une enveloppe nucléaire qui contient deux jeux semblables de chromosomes (cellule **diploïde**).

- **Procaryotes** ou protistes inférieurs (algues bleu-vert ou cyanophycés et bactéries). Cellule dépourvue d'un véritable noyau à tous les stades de son développement, un seul chromosome porteur de la grande majorité de l'information génétique (cellule **haploïde**).

Les **bactéries** et les **algues bleues** (ou cyanophycées) sont les plus petits organismes connus (diamètre $\approx 1 \mu m$), doués de **métabolisme** et capables de **croître** et de se **diviser** aux dépens de substances nutritives. Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires. La membrane cytoplasmique joue un rôle fondamental dans les mécanismes de respiration et d'échanges chimiques avec le milieu extérieur. C'est une barrière qui empêche la fuite de composés intracellulaires et contrôle la pénétration des composés extracellulaires. La

pénétration des éléments nutritifs est soit passive (diffusion selon la Loi de Fick), soit active (transport actif) avec l'intervention de protéines de transport, appelées **perméases**, présentes au niveau de la membrane cytoplasmique.

4. Les enjeux de la gestion des matières organiques

4.1. Enjeux énergétiques et climatiques

La gestion globale des déchets est à la croisée de plusieurs problématiques énergétiques et environnementales. La réduction de la production de déchets à la source est le premier levier d'action. Le fait de limiter ou d'éviter l'augmentation du volume des déchets permettrait de réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur tout en présentant d'autres avantages pour la société et l'environnement.

Le choix des modes de traitement des déchets est également un moyen d'action. Les émissions de **méthane**, sont surtout liées à l'agriculture mais également à l'exploitation des **décharges**. Les déchets organiques s'y décomposent et produisent du méthane en absence d'oxygène. Pour limiter les émissions dans l'atmosphère, ce méthane peut être capté et valorisé sur le plan énergétique.

4. 2. Enjeux agricoles

La gestion des déchets organiques est également concernée par des enjeux agricoles. En effet, la qualité des sols se dégrade de plus en plus rapidement dans de nombreuses régions du monde.

Encourager le retour au sol de la matière organique contenue dans les déchets via un traitement biologique constitue donc une voie à privilégier.

L'utilisation du compost, du digestat ou de l'affinat en tant qu'amendements pour les sols présente des avantages agronomiques tels que l'amélioration de la structure des sols, de l'infiltration de l'eau, de la capacité de rétention de l'eau, des micro-organismes du sol et de l'apport de nutriments.

4. 3. Les intérêts économiques

Le traitement biologique est le mieux adapté, sur un plan économique, à la fraction organique des déchets municipaux. Le développement de la filière doit venir confirmer cela par l'ouverture de débouchés et l'augmentation de la valeur des produits.

5. Types de déchets traités par les procédés biologiques

Théoriquement les traitements biologiques peuvent accueillir toutes les matières organiques capables d'être digérées par des micro-organismes. Cependant, pour des raisons sanitaires et environnementales certaines matières organiques sont interdites de compostage ou de méthanisation. Il s'agit par exemple des déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI). Les déchets ligneux (déchets de bois pour la méthanisation) sont également difficilement dégradables par la méthanisation.

Globalement, les matières organiques susceptibles d'être valorisées par voie de compostage (considéré comme un procédé biologique contrôlé de conversion et de valorisation des substrats organiques, sous-produits de la biomasse et de déchets organiques d'origine biologique en produits stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composées humiques) ou de méthanisation (qui est une digestion anaérobie de la matière organique par les micro-organismes, elle est réalisée en milieux confinés appelés les digesteurs afin d'optimiser les réactions, elle donne lieu à une production de biogaz ainsi qu'à un digestat) relèvent essentiellement des déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, ainsi que de la préparation et de la transformation des aliments, et les déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations).

Certains déchets qui relèvent d'une autre réglementation comme les sous-produits du traitement des eaux usées, ou les effluents d'exploitation peuvent également intégrer une installation de compostage ou de méthanisation.

I. Compostage

1. Définition du compostage (processus) et du compost (produit)

Selon son sens étymologique, le compostage (du latin *compositum*, signifiant mélange) désigne un processus de biodégradation d'un mélange de substrats réalisé par une communauté microbienne composée de diverses populations en conditions aérobies et à l'état solide.

Un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes (plusieurs communautés de micro-organismes, constituées majoritairement de bactéries, d'actinomycètes, de champignons et de protozoaires se succèdent au cours du compostage) évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé **compost**. Bien que ce procédé se réalise de lui-même dans la nature, le compost ainsi obtenu a des caractéristiques et des propriétés différentes en fonction de la nature du substrat et du déroulement de la bio-oxydation. Ces transformations s'accompagnent de modifications physico-chimiques et micro-biologiques, qu'il est nécessaire d'identifier afin de mieux les appréhender pour obtenir un compost de qualité.

Ce processus de dégradation est similaire à celui de l'humification naturelle des résidus organiques en substances humiques dans les sols, seulement le compostage accélère la transformation biologique aérobie de la matière organique impliquant la formation de substances humiques et engendrant un produit stable.

Lors du compostage, il y a un dégagement temporaire de phytotoxines (métabolites intermédiaires, ammoniac, etc.). À la fin du processus, cette phytotoxicité est complètement surmontée et le produit final est bénéfique pour la croissance des plantes. Le processus de compostage conduit à la production finale de dioxyde de carbone, d'eau, de minéraux et de matière organique stabilisée (compost). Le processus commence par l'oxydation de la matière organique facilement dégradable ; cette première phase est appelée décomposition. La deuxième phase, la stabilisation, comprend non seulement la minéralisation de molécules lentement dégradables, mais comprend également des processus plus complexes tels que l'humification de composés ligno-cellulosiques.

Le processus du compostage est similaire à celui de l'humification naturelle des résidus organiques en substances humiques dans les sols. C'est sûrement pour cette raison que le

compostage est traditionnellement associé à une pratique naturelle de décomposition des déchets.

Suivant leurs origines, les composts peuvent avoir des différences dans leur qualité, mais généralement les caractéristiques standards d'un compost sont résumées sur le tableau suivant:

Tableau 2. Les caractéristiques standards d'un compost

Caractéristique	Valeur
pH	7 à 8.5
Humidité	35 à 55 %
MO	>25%
Azote total (Kjeldahl)	8.1 Kg/ tonne de matière fraîche
Ca sous forme de CaO	50 Kg/tonne de matière fraîche
K sous forme de K₂O	6.7 Kg/tonne de matière fraîche
P sous forme de P₂O₅	3.4 Kg/tonne de matière fraîche
Mg	2 Kg/tonne de matière fraîche
Soufre	1 Kg/tonne de matière fraîche



Figure 7. Processus du compostage



Figure 8. Processus et étapes du compostage

2. Phases de compostage

La mise en œuvre du compostage comporte généralement deux étapes biologiques, auxquelles s'ajoutent des prétraitements et post traitements éventuellement nécessaires (broyages, mélange avec d'autres produits, tris, etc.).

La première est la fermentation chaude : une dégradation rapide de la matière fraîche et facilement biodégradable en molécules moins complexes comme les sucres ou les polymères et la seconde est la maturation qui est plus lente (figure 9).

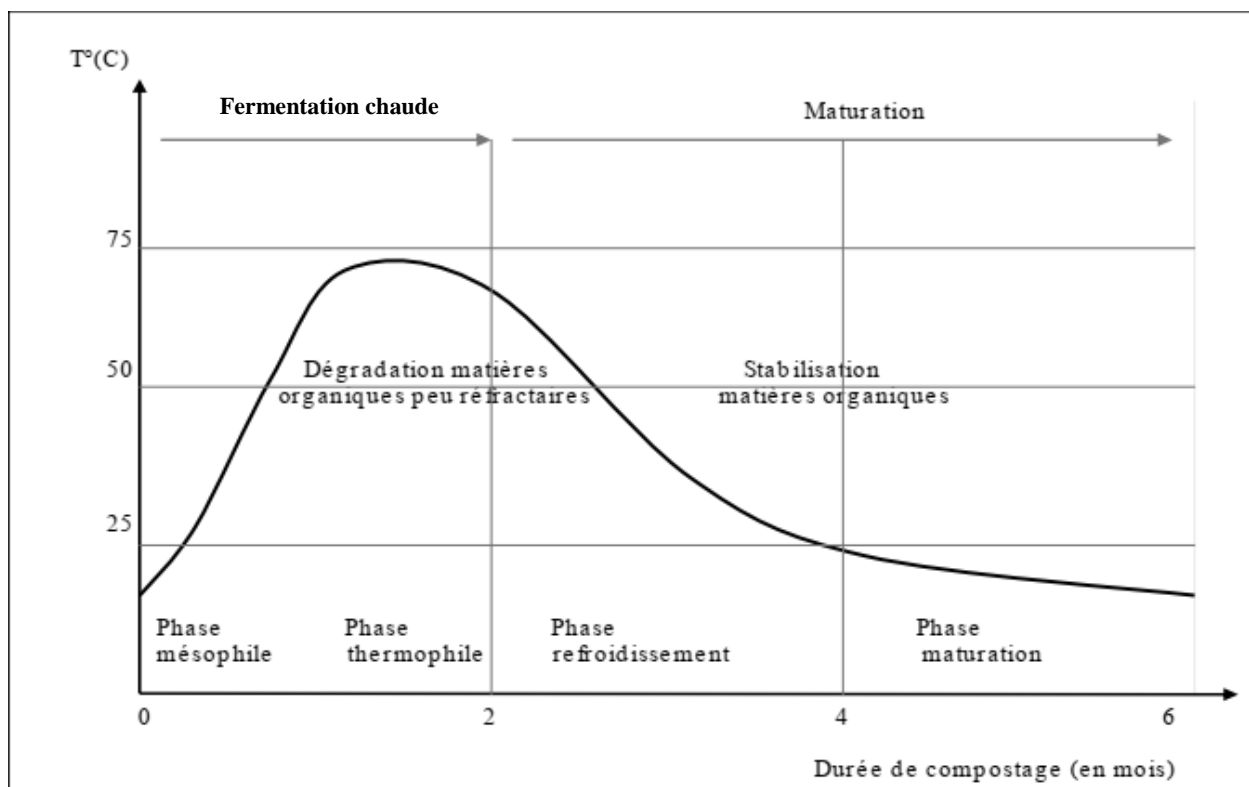


Figure 9. Courbe théorique de l'évolution de la température au cours du compostage

a) Phase de dégradation ou de fermentation chaude

La **première étape** biologique, dite de fermentation chaude (également appelé oxydation, décomposition ou dégradation), répond aux deux premiers objectifs de stabilisation du déchet et de réduction de sa masse. Sa dénomination est en fait un abus de langage puisque le terme « fermentation » désigne en toute rigueur un processus microbologique anaérobie. Au cours de cette étape, la matière organique la plus facilement biodégradable du déchet est oxydée par des micro-organismes aérobies qui consomment de l'oxygène et libèrent de la chaleur. On assiste donc, si le déchet est suffisamment biodégradable et aéré et que les pertes thermiques sont réduites, à une élévation de la température qui peut atteindre 80 C°, voire davantage.

Pour de nombreux déchets de biomasse, on enregistre une dégradation d'environ 30 à 40 % de la masse. La durée de cette première étape varie de quelques jours à quelques semaines en fonction de la nature du déchet, des conditions opératoires (aération, etc.) et de contraintes diverses (dimensionnement de l'installation, objectifs fixés...).

À l'issue de cette étape, le déchet est beaucoup moins bio évolutif qu'avant traitement puisque sa fraction la plus biodégradable a été éliminée, et, en outre, les cellules indésirables (micro-organismes pathogènes, graines végétales) ont pu être détruites par effet thermique si la température dépasse 60 °C pendant de quelques heures à 24 heures (**tableau 3**). On obtient donc un produit relativement stabilisé pouvant être stocké ou valorisé dans des conditions plus acceptables que le déchet de départ.

Deux phases théoriques se succèdent au cours de cette première phase (phase mésophile et thermophile).

La première est appelée phase mésophile du fait des températures atteintes inférieures à 45°C.

Des micro-organismes dont la température de croissance optimale est comprise entre 20 et 45°C se multiplient alors rapidement, notamment grâce à la présence de matière organique facilement biodégradable (sucres simples et acides aminés libres). Leurs métabolismes très actifs engendrent une production intense de chaleur et élèvent ainsi la température du compost à un point tel que leurs propres activités sont inhibées.

A ce moment, débute **la phase thermophile** où quelques champignons ainsi que de nombreuses bactéries thermophiles (température de croissance optimale comprise entre 50 et 70°C) poursuivent le processus, en augmentant encore la température du milieu jusqu'à 65 - 70°C et même plus. Durant cette phase très active, une importante part de la matière organique est perdue par minéralisation du carbone organique et dégagement de CO₂, et un assèchement du compost lié à l'évaporation de l'eau est souvent observé. Cependant, la hausse de température est cruciale pour la qualité du compost, car la chaleur détruit les pathogènes et les graines.

Tableau 3. Température de destruction des pathogènes dans les boues résiduaires. Relation entre température et temps

Microorganismes	Température et durée de la destruction			
	Température	Durée (min)	Température	Durée (min)
<i>Salmonella typhosa</i>	55-60	30	60	20
<i>Salmonella sp.</i>	55	60	60	15-20
<i>Shigella sp.</i>	55	60	-	-
<i>Entamoeba histolytica cysts</i>	45	quelques	55	Quelques secondes
<i>Brucella abortis</i>	55	30	65.5	3
<i>Micrococcus pyogenes</i>	50	10	-	-
<i>Streptococcus pyogenes</i>	54	10	-	-
<i>Mycobacterium tuerculosis</i>	66	15-20	67	quelques
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	55	45	-	-
<i>Necator americanus</i>	45	50	-	-
<i>Ascaris lumbricoides eggs</i>	50	60	-	-
<i>Escherichia coli</i>	55	60	60	15-20

b) Phase de maturation

La phase de fermentation chaude est suivie par une période de ralentissement de l'activité, pendant laquelle la température diminue graduellement. Des micro-organismes mésophiles colonisent à nouveau le compost. S'en suit alors une phase de maturation constructive où apparaissent lentement des éléments précurseurs de l'humus. La dégradation lente des composés résistants entraîne une coloration brun foncé à noir du compost et rend celui-ci plus fin et homogène. Sa texture ressemble alors à celle d'un sol. Le compost est alors mature et le processus est achevé.

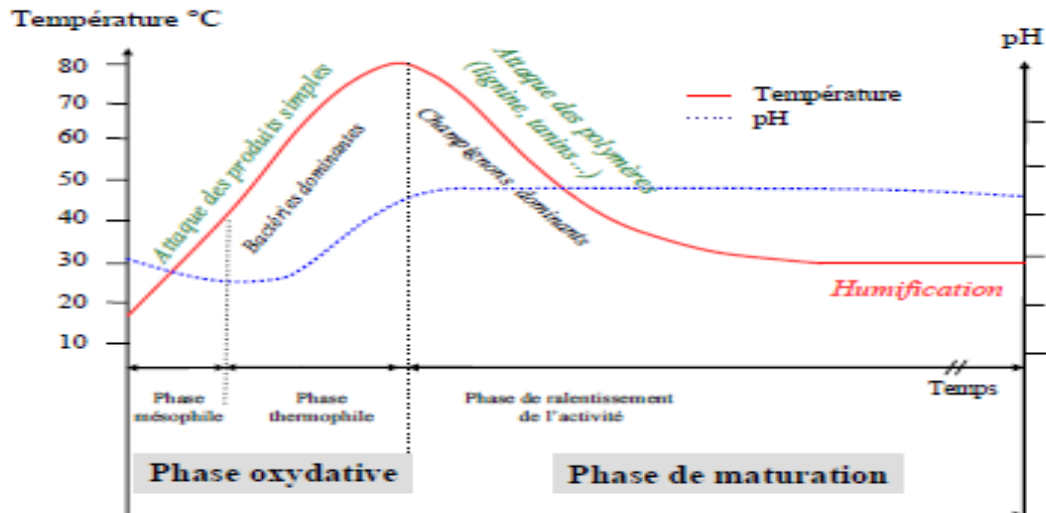


Figure 10. Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage

3. Paramètres du compostage

Le compostage n'est pas un processus instantané et de nombreuses conditions environnementales et physiques affectent ce processus microbien, à la fois négativement et positivement.

Les conditions pour un bon développement des activités microbiologiques doivent être optimisées et leur suivi est indispensable pour évaluer la bonne conduite du compostage.

Les facteurs influençant le processus de compostage peuvent être divisés en deux catégories : ceux concernant les propriétés du mélange de compostage, tels que le rapport carbone/azote (C/N), l'équilibre des nutriments, la taille des particules, la porosité et l'humidité, et ceux liés à la gestion du processus, comme la température, l'oxygène et la teneur en eau. Les principaux paramètres à suivre pendant le procédé de compostage sont :

3.1. pH

Le suivi du pH est un indicateur du degré de décomposition biologique et biochimique. Le pH initial est également un paramètre important du compostage. Un pH initial compris entre 6,7 et 9,0 peut favoriser une bonne activité microbienne pendant le compostage, et la plupart des matières premières se situent dans cette plage de pH, le pH est très pertinent pour contrôler la perte d'azote via la volatilisation du NH_3 , qui se produit en particulier à un pH supérieur à 7,5.

3. 2. Température

Le compostage est accompagné de production de chaleur. Il est largement admis depuis longtemps que la chaleur générée au sein du compost est essentiellement d'origine biologique, c'est à dire due à l'activité microbienne.

Des oxydations chimiques exothermiques peuvent également prendre part à l'échauffement du compost. Mais l'origine abiotique de l'échauffement est considérée négligeable devant l'origine biologique, lorsque les températures n'atteignent pas des valeurs très stressantes pour l'activité microbienne (plus de 80°C). Généralement, une température supérieure à 55°C permet l'hygiénisation, entre 45 et 55°C, elle favorise la biodégradation et entre 35 et 40°C elle améliore la diversité des micro-organismes.

3. 3. Taux d'humidité

Le maintien d'une humidité adéquate est nécessaire au bon déroulement du processus. Si l'humidité est insuffisante, les déchets deviennent secs, les micro-organismes meurent et le processus s'arrête. En cas d'excès d'humidité, il y a asphyxie et dégagement d'odeurs désagréables. Il faut donc surveiller l'humidité et intervenir à temps. Assécher quand c'est trop humide en étalant le compost au soleil pendant quelques heures ou en le mélangeant avec du compost sec ou de la terre sèche. Au cours de la phase thermophile, une part importante de matière organique est perdue sous forme de CO₂, et un assèchement du compost lié à l'évaporation de l'eau est souvent observé. L'optimum de la teneur en eau se situe entre 40% et 60%. La décomposition de la matière organique est inhibée si la teneur en eau baisse en dessous de 20%. Au contraire, si elle dépasse 80%, elle empêche les échanges d'oxygène, provoquant des conditions favorables à l'anaérobiose.

3. 4. Rapport C/N

Les bactéries utilisent le carbone comme source d'énergie et l'azote comme source protéique. En compostage, la dégradation des matières organiques dépend du rapport C/N de la matière première. Il se situe entre 25 et 45 pour les ordures ménagères hétérogènes, Le C/N approprié pour le compostage est d'environ 30 ; un rapport C/N plus élevé peut prolonger le processus tandis qu'un rapport C/N faible signifie que l'azote disponible est en excès et peut être perdu sous forme de NH₃ avec une odeur. Pour des composts jeunes, les C/N varient de 10 Le C/N diminue au cours du compostage pour arriver à des valeurs généralement comprises entre 8 et 25.

3. 5. Teneur en Matière Organique Totale (MOT)

La minéralisation du compost correspond à une diminution de la matière organique totale au cours de la dégradation biologique du substrat. Cette diminution est variable et dépend des conditions de réalisation du processus de dégradation, mais également de la durée du procédé.

3. 6. Apport d'Oxygène ou l'aération

Les micro-organismes responsables du compostage ont besoin d'oxygène. Ils sont asphyxiés si l'air ne circule pas dans la masse en compostage. Il est donc recommandé de brasser et de mélanger les déchets organiques pour faciliter l'aération et éviter le pourrissement des déchets. Cela est tout particulièrement important au début du compostage lorsque l'activité des micro-organismes est la plus forte. Le niveau d'oxygène optimal requis pour le fonctionnement est d'environ 10 à 30%. L'oxygène est utilisé par les micro-organismes comme un récepteur terminal d'électrons lors de la respiration aérobie et de l'oxydation des substances organiques et sa présence est indispensable au bon déroulement du compostage pour maintenir les conditions aérobies nécessaires à une décomposition rapide et inodore.

3. 7. Granulométrie

La granulométrie est un facteur important qui détermine la vitesse de biodégradabilité. Trop fine elle induit un espace poral trop réduit et diminue l'accès puis la circulation de l'air : « étouffement » du compost. A contrario si la granulométrie est trop élevée, les apports en oxygène vont dépasser les teneurs optimales, asséchant le compost, et la montée en température se réalisera difficilement. La plupart des catégories de déchets compostent difficilement seules. Il faut les mélanger pour obtenir un bon rapport carbone/azote, une humidité adéquate et une porosité adaptée facilitant l'aération, c'est ce qu'on appelle le co-compostage utilisé surtout dans le cas où la granulométrie des déchets est très fine cas de la boue résiduaire par exemple.

4. Les micro-organismes du compost

Le compostage est l'une des biotechnologies les plus complexes qu'il soit, en raison des changements d'états physiques et biologiques innombrables durant le processus. Une bonne compréhension de ces changements exige une étude précise des successions de communautés microbiennes comprenant l'ensemble des micro-organismes présents y compris ceux qui sont en très faible proportion.

4.1. Les bactéries

Les bactéries sont toujours présentes et largement dominantes en qualité et quantité au cours du compostage. Elles sont typiquement unicellulaires avec une taille de 0,5 à 3 µm. Les bactéries isolées dans les différents types de compost constituent une importante diversité de genres et d'activités. De plus, leur spectre d'activité est très large et sur une grande gamme de pH.

Plusieurs et diverses espèces isolées pour chacune des phases du compostage en fonction de la température et du pH.

Pendant la phase mésophile, les bactéries isolées appartiennent à diverses familles : *Alcaligenaceae*, *Alteromonadaceae*, *Bacillaceae*, *Burkholderiaceae*, *Bradyrhizobiaceae*, *Caryophanaceae*, *Caulobacteraceae*, *Cellulomonadaceae*, *Clostridiaceae*, *Comamonadaceae*. Pendant la phase thermophile, plusieurs familles de bactéries thermophiles ont été identifiées : *Micromonosporaceae*, *Streptomycetaceae*, *Thermoactinomycetaceae*, *Thermomonosporaceae* et *Streptosporangiaceae*.

Parmi les bactéries, un sous-groupe a une grande importance au sein du compost : les **actinomycètes**. Ce sont des bactéries formant des filaments multicellulaires et agissant plus tardivement que les autres. Ils apparaissent aussi bien lors de la phase thermophile que pendant la phase de maturation du compostage. Les actinomycètes tolèrent des pH légèrement basiques mais leur croissance est lente. Ils peuvent cependant dégrader la cellulose et la lignine comme certains champignons tout en tolérant des températures et un pH plus élevé que les champignons. Ainsi, les actinomycètes sont des agents essentiels de la lignocellulolyse pendant la phase thermophile, bien que leur capacité de dégrader la cellulose et la lignine ne soit pas aussi étendue que celle des champignons. Les genres *Streptomyces* et *Nocardia* représentent plus de 90 % de leur biomasse.

4.2. Les champignons

La température est l'un des plus importants facteurs affectant la croissance fongique devant les sources de carbone et d'azote et le pH. Un niveau modérément élevé de l'azote est nécessaire pour la croissance fongique bien que quelques champignons, dits de la pourriture blanche, se développent à des taux d'azote bas.

La plupart des champignons préfère un environnement acide mais tolère un large éventail de pH, excepté les Basidiomycotina qui se développent moins bien au-dessus de pH 7,5.

La majorité des champignons est mésophile et se développe entre 5 et 37°C, avec une température optimale de 25-30°C. Cependant, le processus de compostage, engendrant des

élévations de température importantes, octroie une grande importance au petit groupe de champignons thermophiles dans la biodégradation de la matière organique.

Les capacités ligninocellulolytiques de tous les champignons thermophiles ne sont pas déterminées. Cependant, la plupart d'entre eux sont connus pour dégrader la lignine, la cellulose ou les hémicelluloses. Les plus importantes capacités de dégradation de la lignine sont rencontrées chez *Basidiomycotina*. Ceux-ci sont mésophiles mais quelques-uns d'entre eux se développent à des températures plus élevées. Par exemple, *Phanerocha et echryosporium* qui est un champignon de la pourriture blanche, ayant fait l'objet de nombreuses études pour ses capacités de production d'enzymes actives dans la dégradation de la cellulose et de la lignine, a des températures optimales de 36 à 40°C avec des températures maximales de 46 à 49°C.

4. 3. Les algues, les protozoaires et les animaux pluricellulaires

A côté de ces trois principaux types de micro-organismes, on retrouve également dans le compost, des algues, des protozoaires et des animaux pluricellulaires.

Les algues se développent en surface en présence de lumière. Le rôle des algues est mal connu, mais leur importance dans l'évolution de la matière organique en milieu aérobie est sans doute faible.

Les protozoaires bactériophages sont connus pour une action importante sur le nombre de bactéries dans les sols. Des variations cycliques des populations prédateurs / proies ont été observées. Les animaux pluricellulaires présents dans les composts appartiennent à différentes catégories. Par ordre de taille sont représentés les microarthropodes (collembolés, acariens et myriapodes) et les nématodes (vers ronds) entre 0,2 et 4 mm, les larves d'insectes (autres que les collembolés) et les annélides (vers de terre) entre 4 et 80 mm et enfin les animaux supérieurs à 80 mm comme les mollusques (limaces, escargots...) et les crustacés notamment représentés par les cloportes. Beaucoup de ces animaux pluricellulaires se nourrissent de débris végétaux et peuvent avoir un rôle important dans l'homogénéisation des composts.

5. Objectifs du compostage

Le compostage est un traitement biologique de déchets organiques permettant de poursuivre un ou plusieurs des objectifs suivants :

- Stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique ;
- Réduction de la masse du déchet ;
- Production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols.

6. Techniques d'aération

Dans la plupart des cas pour les déchets de biomasse, il est nécessaire d'aérer le déchet par intervention extérieure. On peut procéder :

- soit par retournements mécaniques périodiques ou continu du déchet ;
- soit par aération forcée ;
- soit par les deux méthodes.

Dans le premier cas, la fréquence des **retournements** dépend de la biodégradabilité du déchet et de l'avancement du traitement.

Pour un déchet bien biodégradable (déchets de cuisine, déjections animales, etc.), un retournement quotidien, voire continu, peut être nécessaire pendant les premiers jours, puis l'intervalle de temps entre deux retournements s'accroît à mesure que la biodégradation avance et que les besoins en oxygène diminuent.



Figure 11. Aération mécanique au cours du processus du compostage

7. Les types de déchets à composter

7. 1. Les boues des stations d'épuration

Les boues des stations d'épuration sont issues du traitement des eaux usées domestiques ou industrielles. Les boues sont bien pourvues en matière organique, azote, phosphore ainsi qu'en oligo-éléments, il est préférable de traiter les boues par le procédé du co-compostage.

7. 2. Les déchets verts

Les déchets verts sont des déchets organiques issus de l'entretien des espaces verts, des jardins privés, des serres, des terrains de sports... On désigne par déchets verts les feuilles mortes, les tontes de gazon, les tailles de haies, d'arbustes, les déchets de jardin des particuliers collectés séparément ou par le biais des déchetteries.

7. 3. Les déchets ménagers fermentescibles

Les déchets ménagers fermentescibles sont des déchets issus de l'activité domestique des ménages à caractère putrescible comme par exemple : les mouchoirs en papier, les Essuie-tout, certains tissus en fibres naturelles, le marc de café et les filtres papier, les sachets de thé, les coquilles d'œufs bien broyés, les coques des noisettes, cacahuètes, noix, les cheveux, ongles, plumes, ...

Pour un bon déroulement du processus du compostage, il ne faut surtout pas penser à composter :

- Les plantes malades ;
- La viande et le poisson ;
- Les produits laitiers ;
- Les excréments d'animaux domestiques (chien, chat) ;
- Les mauvaises herbes à cause du risque de monter à graines.

8. Les différents procédés de compostage

Il existe une grande variété d'usines de compostage allant des plates-formes les plus simples, constituées uniquement d'une surface à l'air libre pour placer les andains et de quelques engins (broyeurs, tracto-pelles), aux plates-formes les plus sophistiquées constituées d'espaces abrités, d'appareils de contrôle continu de la température, de la teneur en oxygène, de systèmes de ventilation, etc.

8. 1. Compostage en andains

a) Andains retournés

Le compostage en andains consiste à placer un mélange de matières premières dans de longs tas étroits appelés andains remués ou tournés de façon régulière. Ces andains sont aérés essentiellement par un mouvement passif ou naturel de l'air (convection et diffusion gazeuse). Le taux d'échange avec l'air dépend de la porosité de l'andain. Ainsi, la taille de l'andain qui peut être effectivement aéré de cette manière est déterminée par sa porosité. Un andain composé de feuilles peut être bien plus grand qu'un andain humide contenant du fumier. Quand l'andain est trop grand, des zones anaérobies peuvent alors apparaître à proximité du centre et des odeurs sont libérées quand l'andain est retourné. Par contre, les petits andains perdent rapidement de la chaleur et risquent de ne pas réussir à atteindre une température suffisamment élevée pour permettre l'évaporation de l'eau et l'élimination des pathogènes et des graines d'adventices.

b) Andains aérés passivement

Avec la méthode des andains aérés passivement, de l'air est fourni aux déchets à composter par des tuyaux perforés, enfoncés dans l'andain, qui élimine la nécessité du retournement. Les extrémités des tuyaux sont ouvertes et l'air circule ainsi dans les tuyaux et à travers l'andain en raison de l'effet de tirage créé par les gaz chauds qui s'élèvent hors de l'andain. Comme les matières premières ne sont pas retournées quand les andains sont achevés, celles-ci doivent être parfaitement mélangées préalablement à leur mise en andain. Il est crucial d'éviter le compactage des matières lors de la préparation des andains.

8. 2. Compostage en récipients clos

Le compostage en récipient fait référence à un ensemble de méthodes qui confinent les matières à composter dans un bâtiment, un container ou un récipient. Ces méthodes sont basées sur l'aération forcée et des techniques de retournement mécanique qui visent à accélérer le processus de compostage. De nombreuses méthodes combinent les techniques des andains et des tas aérés dans le but de surmonter les faiblesses et exploiter les avantages de chaque méthode.

a) Compostage en casier

Le compostage en casier est peut-être la méthode de compostage en récipient la plus simple. Les matières sont contenues par des murs avec le plus souvent un toit (figure 13). Les bâtiments ou les silos permettent de stocker des quantités plus importantes de matériaux et d'utiliser l'espace au sol de manière plus efficace que ne le font les tas indépendants. Les casiers permettent aussi d'éliminer les problèmes climatiques, de maîtriser les odeurs et d'offrir un meilleur contrôle de la température. Les méthodes de compostage en casier

fonctionnent de la même façon que la méthode du tas statique aéré. Un mélange occasionnel des matières dans les casiers peut faire redémarrer le processus. La plupart des principes et des conseils suggérés pour le tas aéré s'applique également au compostage en casier.



Figure 12. Compostage en récipients clos



Figure 13. Compostage en casier

b) Lits rectangulaires remués

Le système de lit remué est une combinaison des méthodes d'aération contrôlée et de retournement périodique. Le compostage a lieu entre des murs qui forment de longs et étroits couloirs appelés lits. Un rail ou une saignée en haut de chaque mur supporte et guide la machine retournant le compost. Un chargeur place les matières premières à l'extrémité frontale du lit. Au fur et à mesure que la machine avance sur les rails, le compost est retourné et reposé à l'arrière.

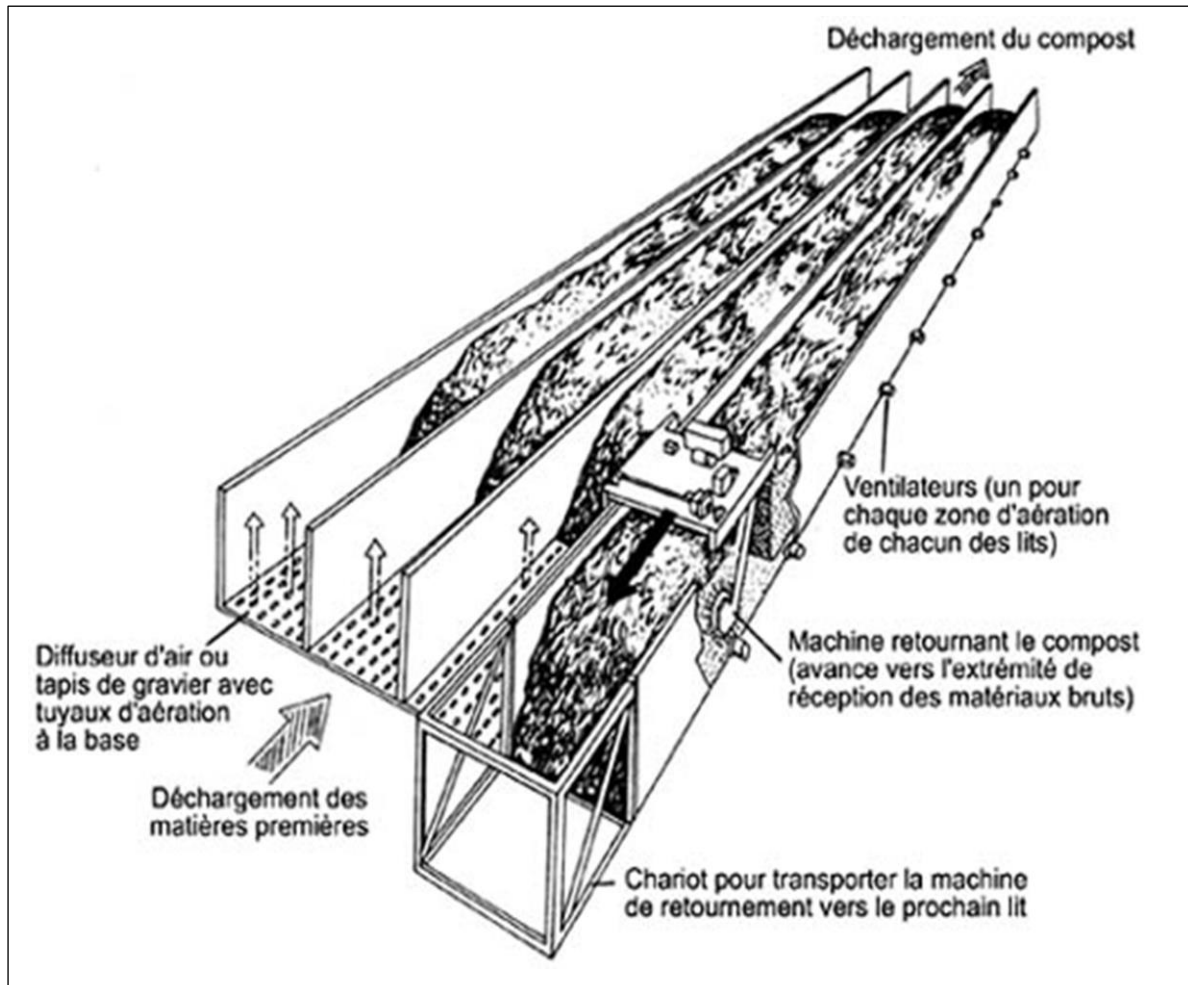


Figure 14. Système de compostage en lits rectangulaires remués

c) Silos

Une autre technique de compostage fait intervenir un récipient clos ressemblant à un silo à déchargement par le bas. Le système d'aération à la base du silo souffle de l'air à travers les matières à composter. L'air évacué peut être recueilli au sommet du silo de façon à traiter les odeurs. Cependant, l'empilement présente des problèmes au niveau de la compaction, du

contrôle de la température et de la circulation de l'air. Les matières n'étant que très peu mélangées dans le silo, celles-ci doivent l'être préalablement à leur chargement dans le silo.

d) Tambours rotatifs

Ce système utilise un tambour horizontal rotatif pour mélanger, aérer et déplacer les matières à travers le système. De l'air est fourni à partir de l'extrémité de déchargement et est intégré aux matières alors que celles-ci sont remuées.



Figure 15. Silo et tambour rotatif pour le compostage

8. 3. *Vermicompostage* (lombricompostage)

Le lombricompostage est une variante reposant sur l'utilisation de vers de terre (lombrics) pour consommer et dégrader la matière organique du déchet. Les vers peuvent consommer pratiquement tous les types de matière organique et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour. Les excréments des vers sont riches en nitrates, et en formes disponibles de P, K, Ca et Mg. Le passage à travers les vers de terre favorise la croissance des bactéries et notamment des actinomycètes dont la teneur dans les déjections de vers de terre est six fois supérieure à celle du sol.

Il peut s'utiliser :

—soit en une étape unique de traitement ;

—soit après une étape de fermentation chaude en substitution de l'étape classique de maturation.

La première approche concerne essentiellement le domaine agricole car elle nécessite des surfaces relativement importantes (de l'ordre de 2,5 m²/m³ de déchet). En effet, pour éviter un échauffement du déchet (lié à l'activité microbienne de biodégradation aérobie) qui serait néfaste au développement des lombrics, il est nécessaire de travailler avec des tas ou andains présentant un rapport surface/volume élevé. Typiquement, la hauteur des tas ou andains ne dépasse pas 30 à 40 cm pour que la température reste bien inférieure à 40 C°. La durée du traitement est variable en fonction notamment de la nature du déchet, mais est généralement de l'ordre de plusieurs semaines à plusieurs mois. La deuxième approche évite le problème de l'échauffement car le lombricompostage s'effectue après que la fraction la plus biodégradable du déchet ait été éliminée par une étape classique fermentation chaude. Elle permet donc de travailler dans des systèmes plus compacts (rapport surface/volume faible).

Le compost obtenu (lombricompost ou vermicompost) est alors constitué par les excréments des vers qui ingèrent et digèrent la matière organique résiduelle.

On obtient ainsi de fait un produit plus calibré et donc plus facile à séparer par criblage des éléments indésirables pouvant se trouver dans le déchet.

9. Les avantages et les inconvénients du compostage

9.1. Les avantages du compostage

Le compostage reste la meilleure façon de traiter les déchets. Il permet de réduire considérablement les masses et les volumes à mettre en décharge et de ce fait l'augmentation de la durée de vie des décharges ou installation d'élimination des déchets. Le compostage

produit un substrat qui possède des propriétés physicochimiques, biologiques et améliore la qualité des sols avec ses trois compartiments physique, chimique et biologique.

9.2. Les inconvénients du compostage

Lorsque la récupération des déchets organiques n'est pas faite à la source, le coût du compostage devient très élevé et la qualité n'est pas assurée et peut engendrer des risques sanitaires et des risques de pollution de l'environnement.

Bien que globalement, le compostage se fasse en conditions aérobies, plusieurs travaux ont mis en évidence la présence possible de sites anaérobies durant la phase de dégradation intensive. De tels sites peuvent s'expliquer par l'intense activité microbienne consommatrice d'oxygène et génératrice de gaz carbonique combinée à un manque d'aération du compost.




Figure 16. Sources du carbone et de l'azote pour le compost



Figure 17. Quelques types des déchets compostable

How a Worm Composter Works

A multi-layered, stackable worm composting bin!



Fun Fact:
8,000-12,000 worms can process 5-8 pounds of food per week!

Each tray consists of four solid sides, an open top, and a bottom covered in a hardware screen. The trays interlock when stacked on top of each other, creating layers.

To start, the bottom layer is filled with bedding, food scraps, and some worms. Kitchen and paper scraps are placed in this layer until it is full, then new bedding and scraps are placed in the next tray up.

The worms naturally migrate up through the screen towards the new scraps.

Worm castings and moisture are left behind when worms move from tray to tray. The castings are harvestable and the moisture collects in the bottom reservoir.

The moisture, or "worm tea", from the bottom reservoir can be drained using the spigot, and then fed to plants.

Ten times the nutrients of traditional backyard compost!

As the worms migrate upwards, the lower level is removed. By shaking the tray the castings can be sifted out through the screen, and any wayward worms can be found.

After the bottom tray is emptied, any worms and unprocessed pieces of compost can be placed in to the next full layer. The emptied tray then becomes the top layer.

Gardener's EDGE A.M. Leonard's

GardenersEdge.com
888-556-5676

Figure 18. Comment fonctionne un lombricomposteur

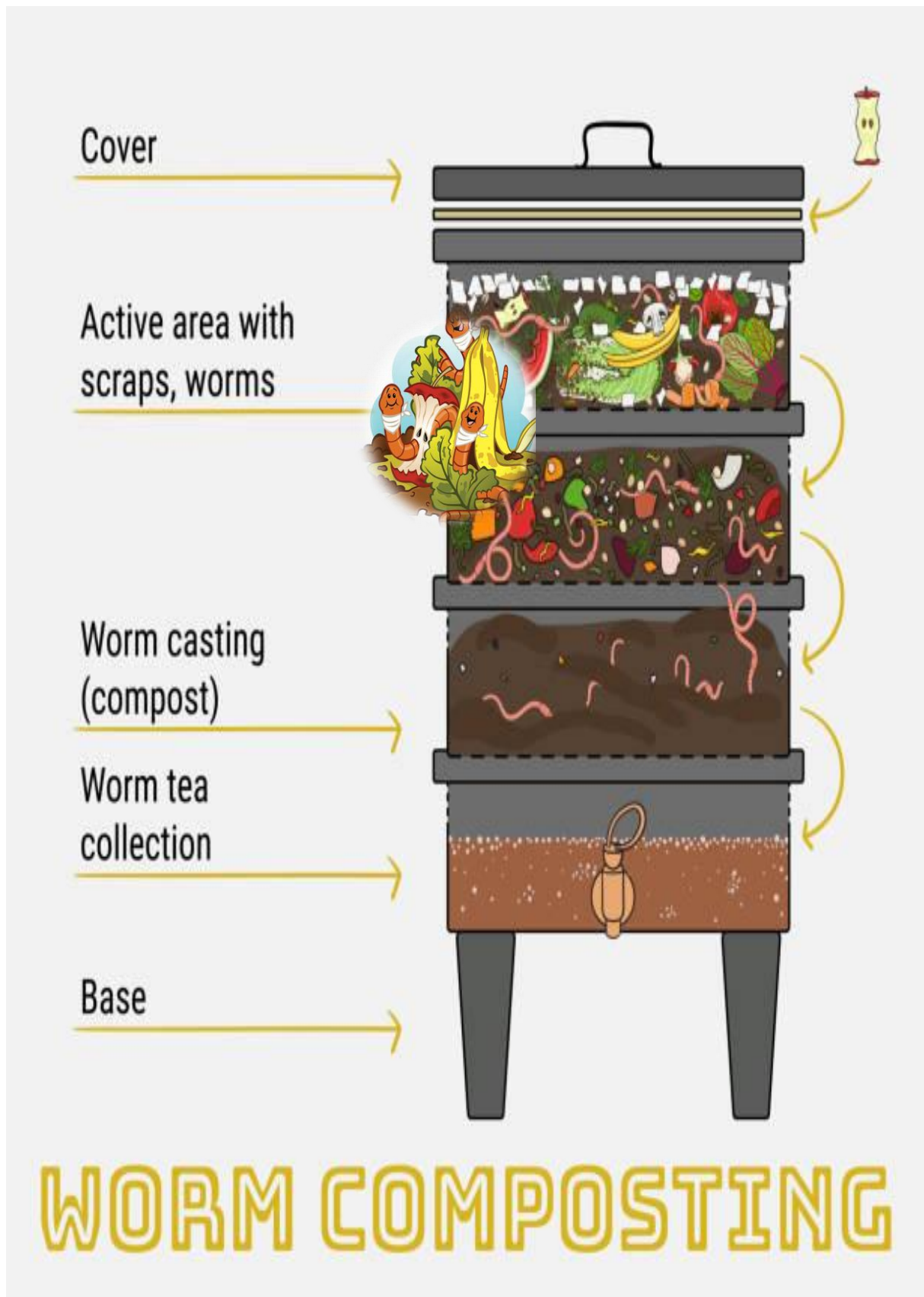


Figure 19. Vermicomposteur



Figure 20. Comment faire le compost

II. Méthanisation

1. Définitions

La **méthanisation** est la dégradation partielle de la matière organique en l'absence d'oxygène sous l'action combinée de plusieurs types de micro-organismes. Une suite de réactions biologiques conduit à la formation de **biogaz** (composé majoritairement de méthane et de CO₂) et d'un **digestat**. Cette réaction a lieu dans un digesteur fermé confiné, ce qui empêche tout contact du gaz produit avec l'air extérieur → **pas d'odeur due au procédé lui-même**.

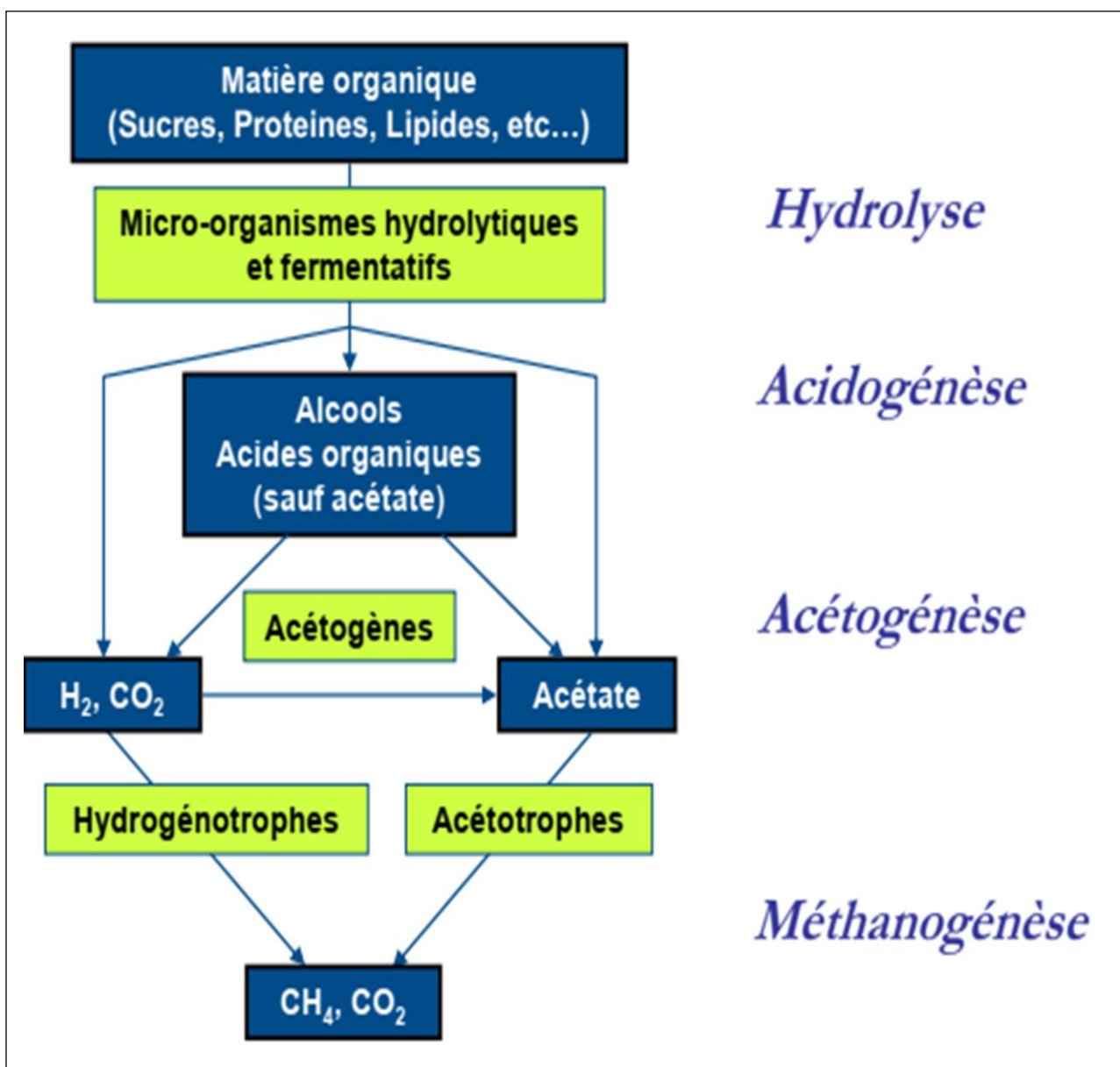


Figure 21. Processus de Méthanisation

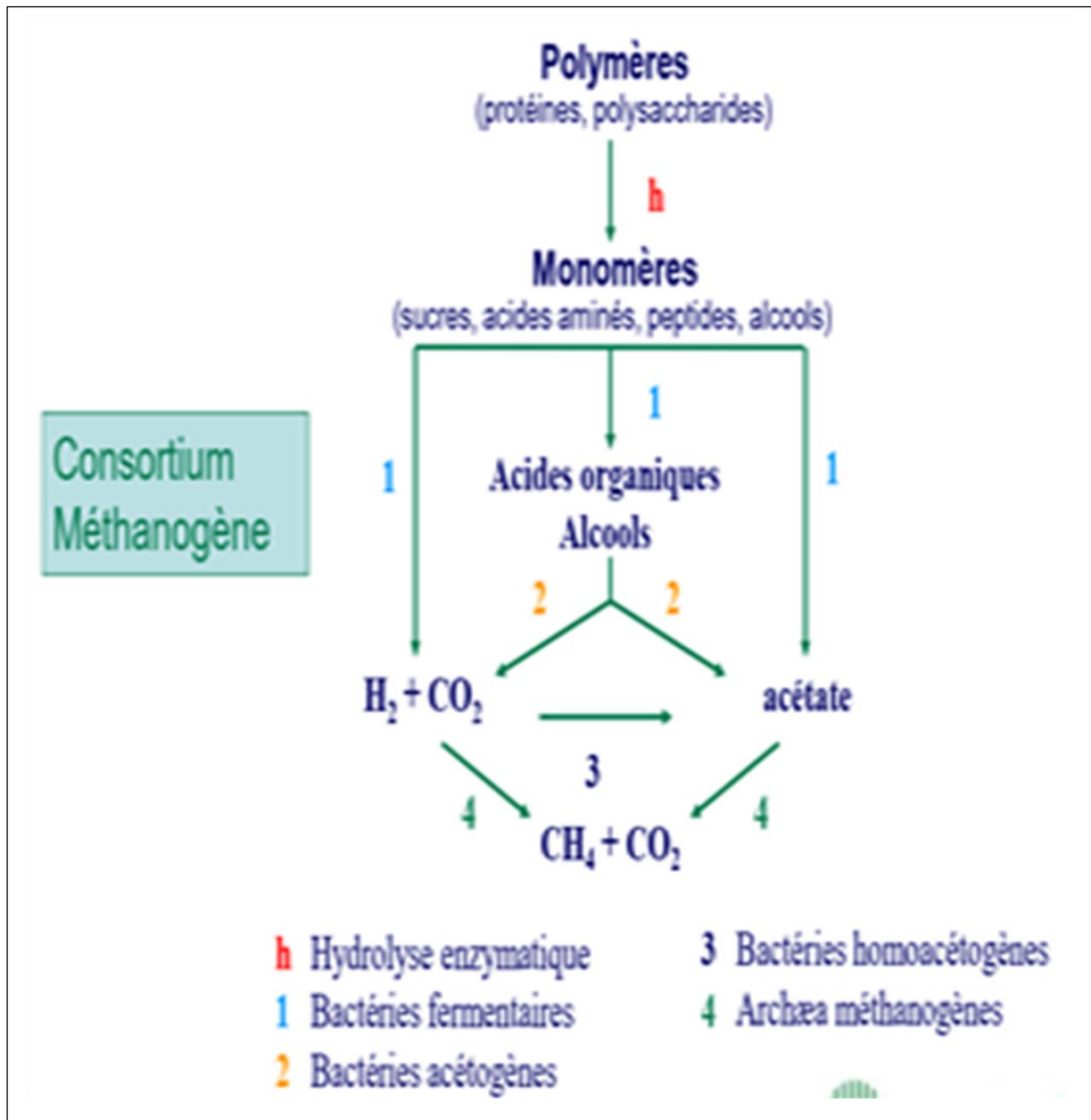


Figure 22. Digestion anaérobie : Schéma réactionnel

Les **micro-organismes** impliqués dans la digestion sont des bactéries naturellement présentes dans les déjections animales.

Le **digestat** quant à lui peut être épandu directement dans des champs ou transformé en **affinat**. Ce digestat présente l'avantage d'être jusqu'à 98% moins odorant que la matière

brute méthanisée ; cela élimine la gêne olfactive occasionnée par l'épandage direct de lisier par exemple. Les germes pathogènes sont réduits ainsi que les graines d'adventices.

2. Mécanismes de la méthanisation

La production de biogaz par méthanisation est le résultat de quatre étapes biochimiques dans lesquelles les grandes chaînes de carbone sont transformées en acides gras et alcools. Ceux-ci sont réduits en méthane et CO₂. Ces étapes sont :

2.1 L'hydrolyse

C'est la décomposition des grands polymères de la matière organique en molécules simples par des enzymes. Cette étape peut être inhibée en cas de présence de composés difficilement hydrolysables tel que la cellulose et les graisses.

2.2. L'acidogénèse

C'est un ensemble de réactions de fermentation dont les plus importantes sont les fermentations acidogènes : l'acétate est le produit final principal de cette étape. Il y a aussi durant cette étape une production d'acides gras volatils ainsi que de dioxyde de carbone et d'hydrogène par les espèces microbiennes acidogènes qui utilisent les substrats de l'étape précédente.

2.3. L'acétogénèse

C'est la décomposition des acides volatils en acétate, dioxyde de carbone et hydrogène, qui sont les précurseurs de production de méthane, à partir des métabolites réduits issus de l'acidogénèse tels que le propionate et le butyrate. L'accumulation d'hydrogène conduit à l'arrêt de l'acétogénèse. Ceci implique la nécessité d'une élimination constante de l'hydrogène produit.

2.4. La méthanogénèse

C'est la conversion de l'acétate, du formaldéhyde, de l'hydrogène et du dioxyde de carbone en méthane, dioxyde de carbone et eau par des microorganismes anaérobies stricts, selon les équations suivantes : $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$
 $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$

Tableau 4. Présentation générale de la méthanisation avec les différentes filières d'intrants et de valorisation du biogaz et des digestats

Gestion des substrats entrants		
Déchets d'agriculture et ensilage et de restauration	→	Halles de stockage fermée et ventilée
Fumier, lisiers, déchets d'abattoirs, effluents des industries agroalimentaires	→	Stockage dans une cuve fermée
Boues des STEP	→	Bassin de décantation fermé et ventilé
Méthanisation		
Digesteur	→	Biogaz et Digestat
Valorisation		
Biogaz	→	Epuration → biométhane (réseau du gaz, GNV) Cogénération (réseau électrique, réseau de la chaleur)
Digestat	→	Epandage direct sans stockage Maturation pendant quelque mois → affinât

3. Les intérêts et les avantages d'un projet de méthanisation

3. 1. Pour l'environnement

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Production d'énergie renouvelable à l'échelle locale (production d'électricité ou de chaleur)
- Respect du cycle de vie des matières méthanisées

3. 2. Pour l'économie

- Gestion durable des déchets organiques sur le territoire
- Création d'emplois
- Autonomie énergétique et maîtrise du coût de l'énergie

- Au niveau économique local, on peut référencer les bénéfices suivants :
- Réduction de l'achat des engrais par la valorisation du digestat ;
 - Revenus complémentaires par la production et la vente d'électricité ou de biométhane ;
 - Diversification de revenus pour les exploitations agricoles, et réduction des coûts d'intrants (engrais, énergie) ;
 - Création de revenus pour les territoires ruraux : taxes.

3. 3. Pour l'agriculture

Le digestat issu de la méthanisation a une excellente qualité agronomique, meilleure à celle des matières non méthanisées : les éléments fertilisants sont sous forme minérale plus facilement assimilables par les plantes, ce qui améliore le rendement dans la plupart des cas.

3. 4. Pour le bouquet énergétique

Par rapport aux autres énergies renouvelables, l'énergie produite grâce à la méthanisation présente les avantages suivants :

- Elle est potentiellement productible et valorisable sur tout territoire ;
- Elle est flexible, permet une production stable et prédictible sur court ou long terme ;
- Le biogaz produit constitue une énergie **facilement stockable** (gazomètre du digesteur, bouteilles de gaz, réseau de gaz). Cette énergie se prête donc à une production en période de pointe ;
- L'énergie produite par méthanisation est la seule énergie renouvelable valorisée sous forme multiple en remplacement du pétrole, du gaz naturel, du nucléaire.

4. Types de matières à méthaniser

La matière première utilisée pour la méthanisation est la matière organique. Elle se retrouve dans :

- Les résidus agricoles et les déchets verts **non ligneux** des collectivités (tontes de gazon) ;
- Les déchets d'industries agro-alimentaires : fruits et légumes, déchets d'abattoirs, déchets d'industries laitières, graisses ;
- Les déjections animales : fumier, lisier ;
- La fraction fermentescible des ordures ménagères FFOM : il s'agit des restes de repas, pelures de fruits et de légumes ;

- Les déchets de restauration et des grandes et moyennes surfaces ;
- Les boues d'épuration d'eaux urbaines.

La production de biogaz dépend du déchet utilisé en intrant de la méthanisation, on appelle potentiel méthanogène la quantité de méthane produit par un substrat organique lors de sa biodégradation pendant la méthanisation. Le tableau (5) cite quelques données du potentiel méthanogène de certains des substrats. Actuellement le pouvoir méthanogène peut être déterminé facilement en utilisant **la SPIR (NIRS)**.

Le biogaz récupéré à partir de l'installation de méthanisation peut être stocké ou directement valorisé.

Tableau 5. Potentiel méthanogène de différents substrats

	Substrat	Potentiel méthanogène (m ³ CH ₄ /tonne de matière brute)
Déchets agricoles	Fientes de volailles	60
	Résidus de céréales	300
	Tourteau de colza	350
Déchets de collectivités	Pelouse (déchets de tonte)	123
	Graisses usagées	250
Déchets d'IAA	Graisse d'abattoir	186

5. Paramètres de la méthanisation

5. 1. Le temps de rétention hydraulique et solide

Le temps de rétention (ou temps de séjour moyen) hydraulique est le temps que passent les déchets liquides dans le digesteur. Le temps de rétention solide est le temps que passent des déchets solides dans le digesteur. L'intensité de la réaction de digestion anaérobie est proportionnelle au temps de rétention. Cette durée dépend des déchets utilisés et elle est de 30 jours en moyenne. Des études ont montré qu'un temps de rétention inférieur à 5 jours est insuffisant pour assurer la digestion des déchets. Quand le temps de rétention est compris

entre 5 et 8 jours, la décomposition de certains composés est encore incomplète, principalement la décomposition des lipides.

Une digestion stable est obtenue après 8 à 10 jours de digestion et plus, c'est la durée minimale nécessaire pour que les concentrations en acides gras volatils diminuent.

5. 2. La température

Dans les procédés industriels classiques, deux plages de températures sont communément utilisées : la plage mésophile entre 30°C et 40°C et la plage thermophile entre 50°C et 60°C qui permet une meilleure dégradation des chaînes carbonées, élimine mieux les germes de pathogènes et est caractérisée par un temps de séjour plus court avec un fort taux de production de biogaz, avec un même temps de séjour ou de rétention, une température plus élevée permet de produire plus de biogaz qu'une température faible. Il est néanmoins possible que la méthanisation se fasse à une température psychrophile (< 25°C) mais cette technique n'est que très rarement utilisée.

Comparativement aux systèmes mésophiles, les systèmes thermophiles traitent des charges organiques plus importantes mais ils ont la contrainte de l'augmentation de la fraction d'ammoniac qui joue un rôle inhibiteur pour les micro-organismes. Ils sont aussi généralement instables et plus sensibles aux modifications extérieures et exigent plus d'isolation du digesteur pour limiter les pertes et optimiser le processus de digestion. Il est important de maintenir une température de fonctionnement stable dans le digesteur, car de fortes fluctuations et/ou changements de température affectent les bactéries, en particulier méthanogènes. Une défaillance du processus de méthanisation peut se produire lors de changements de température de plus de 1°C/jour et des variations de température de plus de 0,6°C/jour doivent être évitées.

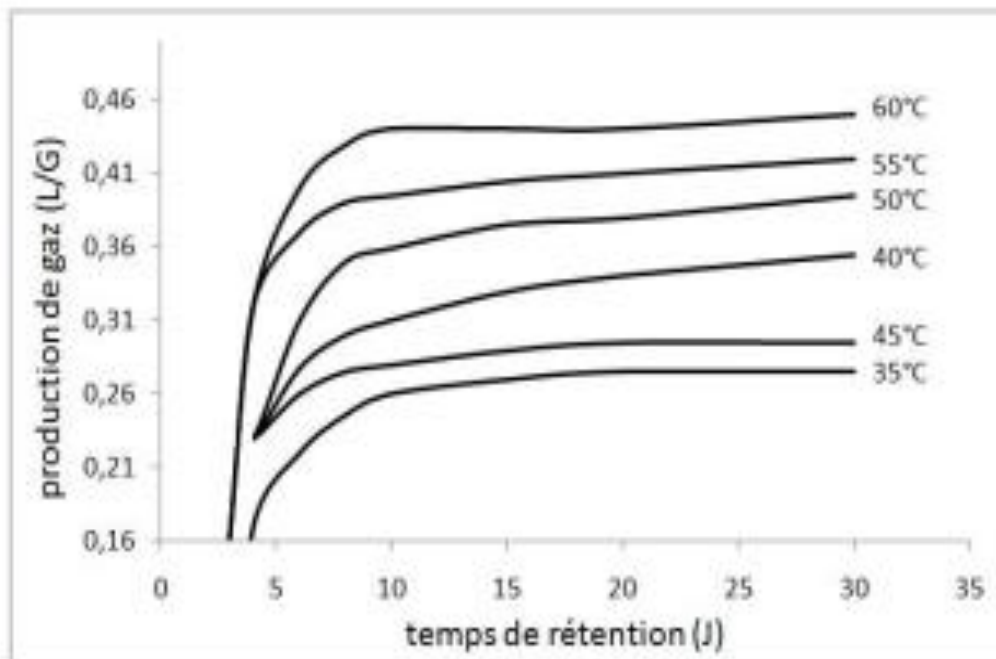


Figure 23. Production de biogaz à différentes températures

5. 3. Le pH

La méthanisation se produit avec un maintien de pH neutre à l'intérieur du digesteur, c'est en effet le pH optimal de fonctionnement des bactéries méthanogènes au-dessous et au-dessus duquel ces bactéries sont inhibées. Des valeurs de pH supérieures à 7,5 induites notamment par l'accumulation d'ammoniac entraînent une inhibition microbienne et des risques de précipitation de composés minéraux et donc de prise en masse de l'intérieur du réacteur biologique.

L'accumulation d'acides gras volatils lors d'une surcharge du méthaniseur entraîne une chute rapide du pH à des valeurs inférieures à 5 ce qui est à l'encontre de l'activité des bactéries méthanogènes qui produisent de l'alcalinité sous forme de dioxyde de carbone, d'ammoniac et de bicarbonates ; tout ce processus entraîne une inhibition de la méthanisation. Sur certaines unités de méthanisation une régulation du pH avec une solution à base de soude peut-être mise en place pour résoudre le problème.

5. 4. L'humidité

Selon la teneur en matière sèche, on distingue deux voies de la méthanisation : la voie sèche et la voie humide encore appelée voie liquide.

a) La méthanisation par voie sèche

La méthanisation par voie sèche concerne principalement les déchets solides avec une teneur en matière sèche comprise entre 15 et 40%.

Les avantages de cette technique sont sa moindre consommation d'énergie, de chaleur et d'entretien pour le fonctionnement, sa moindre sensibilité aux indésirables et la production d'un digestat stockable en tas et facilement épandable. Elle présente tout de même certains inconvénients dont ses coûts d'investissements relativement élevés, la limitation du système à l'incorporation de produits solides et le temps de séjour de la matière relativement plus long.

b) La méthanisation par voie humide

La méthanisation par voie humide concerne les produits plus ou moins liquides avec des teneurs en matières sèches ne dépassant pas les 15%. L'utilisation de ce procédé pour des effluents solides est possible mais à condition de les diluer au préalable. Cette technique présente les avantages de manutention réduite de substrats et son homogénéisation, la maîtrise des conditions optimales de méthanisation et de fonctionnement en continu et l'augmentation de la production de biogaz. Par contre elle a l'inconvénient de coûts élevés pour des installations de petites tailles, la nécessité d'humidification et d'ajout d'eau si le substrat n'est pas assez liquide d'où l'importance des flux de matières, la production de jus de lixiviat et le risque de formation de croûte si le mixage n'est pas suffisant, ce qui peut empêcher ou perturber l'évacuation du biogaz.

5. 5. Le rapport C/N

Il est recommandé que le ratio C/N d'exploitation soit compris entre 20 et 30 avec un rapport optimal de 25 pour la croissance des bactéries anaérobiques dans un système de digestion anaérobie. Des rapports C/N inappropriés peuvent entraîner un fort dégagement d'azote ammoniacal total et une forte accumulation d'acides gras volatils dans le digesteur. Tous les deux : l'azote ammoniacal total et les acides gras volatils sont des intermédiaires importants et des inhibiteurs potentiels du processus de digestion anaérobie.

5. 6. L'oxygène

L'oxygène est toxique pour les bactéries méthanogènes et acétogènes qui interviennent durant les différentes étapes de la méthanisation. Pour éviter les problèmes d'aérobie, il est donc souvent recommandé que les digesteurs soient de faibles volumes et que les déchets utilisés aient une haute teneur en eau.

5. 7. Les inhibiteurs

Certains composés présents en trop fortes quantités, autre que l'oxygène, peuvent inhiber le processus de digestion anaérobie comme l'ammoniac qui est le plus important inhibiteur vue sa toxicité quand il est présent avec des concentrations supérieures à 3000 mg/L qui empêchent le développement des bactéries méthanogènes. D'autres composés peuvent aussi inhiber le processus de méthanisation tels que le chlorure de sodium, le cuivre, le chrome et le nickel.

5. 8. La matière organique entrante et surcharge

Il est à éviter de surcharger le digesteur en cours de digestion, principalement quand le déchet introduit en début du processus de digestion est très fermentescible car un taux de charge trop élevé risque d'acidifier le milieu avec une importante production d'acides gras ce qui risque de déséquilibrer la digestion jusqu'à l'arrêter.

Il existe deux types de charges :

- La charge volumique appliquée (CVA) qui correspond à la quantité quotidienne de matières organiques introduites par unité de volume du réacteur biologique.
- La charge massique appliquée (CMA) qui correspond à la quantité quotidienne de matières organiques introduites par quantité de biomasse présente dans le digesteur.

5. 9. Les nutriments

Pour croître dans des conditions optimales, les bactéries anaérobies ont besoin de macronutriments comme l'azote et le phosphore. Le ratio optimal C/N/P est estimé à 100/5/1. Des éléments minéraux sont aussi nécessaires, tels que le potassium, le calcium, le fer, le cuivre, le nickel, le cobalt, ...etc.

5. 10. La composition de la matière

Les déchets traités en méthanisation contiennent une fraction organique, une fraction combustible et une fraction inerte. La fraction organique est celle qui se dégrade au cours de la digestion pour produire le biogaz. La fraction combustible contient par exemple de la lignine, très lentement biodégradable.

5. 11. Le mixage

L'objectif du mixage dans un digesteur est de mélanger la matière fraîche entrante avec du digestat contenant des bactéries. De plus le mixage empêche la formation d'une croûte et évite les gradients de température. Néanmoins un mixage excessif peut rompre les colonies bactériennes perturbant ainsi leur fonctionnement et inhibant par conséquent le processus de méthanisation ; c'est pourquoi un mixage lent est préférable.

Avenir de la gestion des déchets

Le développement durable et la protection de l'environnement sont devenus des enjeux importants dans la communauté internationale.

L'évolution de la production d'ordures ménagères suit à peu près celle du produit intérieur brut.

Les enjeux sont à la fois d'ordre environnemental et d'ordre éthique, et un contrôle plus strict de la gestion des déchets est attendu.

Une mauvaise gestion des déchets engendre, en plus à la dégradation de la nature, des coûts plus élevés pour freiner leurs actions. L'amélioration de la collecte, du transport et la réutilisation relèvent de la culture et de l'organisation des sociétés. Les pratiques ne sont pas les mêmes selon les milieux, urbains ou ruraux mais le principe est le même pour proposer une rationalisation de la consommation à la base et une meilleure gestion par la suite pour accroître et accélérer leur récupération. La valorisation constitue un meilleur compromis.

Le souci d'une gestion des déchets plus respectueuse de l'environnement conduit à promouvoir, outre une collecte exhaustive des déchets et des traitements moins polluants, la récupération et le recyclage, et plus encore, en amont, la prévention.

L'enjeu est de passer d'une gestion en aval, curative, des déchets à une gestion en amont (si possible préventive), en considérant l'ensemble du cycle de vie des produits et en élargissant la responsabilité du devenir des déchets – y compris ménagers – à ceux (fabricants ou distributeurs) qui mettent les produits sur le marché.

Donc, La prévention peut être mieux appliquée au niveau de la fabrication qu'au niveau municipal, car les entreprises peuvent facilement réaliser des économies de coûts directes. Les stratégies de P2 se sont avérées avantageuses car les pratiques sont plus rentables que les technologies basées sur le contrôle; par conséquent, les entreprises économisent de l'argent en respectant leurs obligations environnementales. Plus récemment, certaines entreprises ont commencé à appliquer des principes de conception respectueuse de l'environnement, selon

lesquels les nouveaux produits qui arrivent sur le marché sont plus respectueux de l'environnement et génèrent moins de déchets solides, sont biodégradables ou peuvent être facilement recyclés. Cette approche repose sur les principes du cycle de vie. Au niveau municipal, la prévention de la pollution nécessite des changements majeurs dans les modes de consommation et les modes de vie. Le grand public, bien que véritablement préoccupé de l'environnement, n'a pas reçu une éducation généralisée sur les techniques de prévention, et il n'y a pas beaucoup de choix pour sélectionner des formes de produits de consommation plus respectueuses de l'environnement. Cela laisse aux municipalités l'option du 3R.

Réduire - Recycler - Réutiliser, les 3R, ont été depuis la naissance de la journée de la terre en 1970 au cœur de la démarche guidant la gestion des déchets dans la vie urbaine. En 2010, l'équipe de recherche de la Darden School of Business de l'Université de Virginie aux USA, a proposé de rajouter un 4^{ème} R, comme « Re Think ». Leur proposition était de « re penser » autrement les déchets.

À l'aube d'une nouvelle décennie, pour la ville responsable de leur collecte, il y a un nouvel impératif concernant les déchets, une autre déclinaison du « R » mais de nature radicalement différente : **Refuser !** Il ne s'agit plus uniquement de favoriser une éventuelle réduction (dont toutes les statistiques tendent à montrer l'impasse culturelle de sa réalisation) étant donné l'absence d'une vraie prise de conscience par l'urbain de la portée de cette problématique, en raison de son mode de vie et de consommation, avec peu de discernement et de réel engagement. Cet autre « R » se veut être porteur d'une culture de l'urbanité

On peut regarder les centaines de millions de tonnes de déchets solides générés chaque année dans le monde entier comme un effort d'élimination des déchets énorme et coûteux qui continue d'épuiser nos ressources naturelles et nécessite d'énormes dépenses permanentes, ou nous pouvons considérer ces déchets comme une mine d'or virtuelle de ressources à partir de laquelle des sous-produits utiles et de l'énergie peuvent être récupérés. De même, les stratégies de valorisation des ressources, WTE (Waste-to-Energy) et de recyclage n'éliminent pas entièrement les problèmes d'élimination des déchets solides, et en outre, elles n'ont de sens que lorsque ces stratégies sont économiquement viables.

L'objectif de fond affiché est de passer d'un modèle linéaire « produire, consommer, jeter » à une économie circulaire « consommer moins et concevoir des produits aptes au réemploi et au recyclage.

La Suède, par exemple est proche du zéro enfouissement, avec pour l'essentiel du recyclage, de l'organique composté et un faible pourcentage en incinération, qui l'amène même à devoir importer du déchet afin de faire tourner ses incinérateurs qui alimentent pratiquement 20% des foyers urbains suédois en chauffage et produisent une part non négligeable des besoins du pays en électricité.

1. Scénarios prévu pour l'avenir de la gestion des déchets

Deux scénarios contrastés sont prévu, un scénario hédoniste et un scénario écologiste

Un scénario hédoniste, c'est-à-dire guidé par la recherche du plaisir individuel et visant à jouir du moment présent. « Dans l'incertitude de l'avenir, il faut savoir jouir du moment présent ». Le scénario hédoniste est aussi un scénario de la société de consommation, prolongée, entretenue, ou plutôt « débridée »

Le scénario écologiste ou vert est responsabilisant et participatif. Il est préventif et il appelle une politique volontariste des pouvoirs publics, des mesures touchant l'amont, en premier lieu les consommations, et s'inscrivant dans le cadre d'une hiérarchie des modes de traitement des déchets.

« Mieux vaut prévenir que guérir » Les politiques préventives doivent prendre le pas sur les politiques curatives, actuellement privilégiées. « L'avenir du déchet, c'est sa disparition », dira-ton sous forme de slogan.

Les écologistes réclament, outre une prévention qualitative plus poussée (touchant par exemple les produits chlorés), une prévention quantitative qui se traduise par une diminution, ou au moins une stabilisation, effective des quantités de déchets générées. Cette diminution peut emprunter diverses voies :

- Réduction des consommations en adoptant un style de vie zen ou ascétique, en privilégiant l'immatériel (culture, loisirs, relations sociales). « Moins, c'est mieux' » ou « moins, c'est plus » (en anglais : less is more), ou encore « faire plus avec moins » (en anglais : to do more for less) sont les slogans du minimalisme. On peut en donner quelques exemples plus concrets

: « moins de cadeaux, plus d'affection et d'amour ; moins de maquillage, plus de charme ; moins d'articles de sport, plus de pratique du sport ; moins de symboles de statut social, plus de culture »;

- Promotion forte des éco-produits ;

- Interdiction ou forte taxation des produits jetables, et d'autres déchets « évitables » (journaux gratuits, etc) ;

- Politique d'accroissement de la durée de vie, mesures en faveur de la maintenance et de la réparation ;

-Le compostage individuel devrait aussi être encouragé.

2. Le zero-waste

Pour parvenir à un haut niveau de protection de l'environnement, les principes mis en avant sont notamment le principe de précaution, avec une priorité à accorder à l'action préventive, le principe de proximité (les déchets à éliminer doivent être traités, de façon adéquate, aussi près que possible de leur lieu de production), et au-delà un objectif d'autosuffisance, le principe pollueur-payeur, ainsi qu'un principe de responsabilité élargie de ceux (fabricants et distributeurs) qui mettent les produits sur le marché, vis-à-vis de leur après-usage.

Aujourd'hui, l'élimination constitue le dernier maillon de la politique de gestion des déchets. Mais, avant d'envisager de mettre un terme à l'exploitation des installations d'élimination des déchets non dangereux, il faudra trouver des solutions de substitution. En attendant, les opérateurs travaillent à l'optimisation de l'ensemble de la chaîne.

Zéro déchet (de l'anglais *zero waste*) est une stratégie holistique de réduction de la quantité de déchets produits. Elle s'appuie, d'une part, sur la modification des processus de production en encourageant la re-conception des cycles de vie des produits, dans le but de favoriser la réutilisation de tous leurs composants ; d'autre part, sur la modification en profondeur des procédés de valorisation des déchets, avec pour objectif l'élimination totale de décharges ou des incinérateurs, et donc de la production de déchets ultimes et de substances toxiques, dangereuses pour la santé et l'environnement, sans oublier la sobriété (en écologie vise à diminuer la consommation d'énergie et de ressources naturelles (matériaux)).

La première définition du « zéro déchet » a été initiée lors du Planning Group of the Zero Waste International Alliance en novembre 2004. Une version revisitée a été adoptée en 2009.

Le concept zéro déchet évite non seulement la pollution due à l'incinération et à la génération de méthane / lixiviat à partir de l'enfouissement, mais évite également la dégradation de l'environnement dû au transport des déchets sur de longues distances.

Exemple de la bouteille de lait

L'exemple classique fourni par le mouvement *Rifiuti Zero* italien est celui du cycle de vie d'une bouteille de lait en verre. La ressource initiale est la silice, transformée en pâte de verre à haute température, puis en bouteille. La bouteille est remplie avec du lait et distribuée aux consommateurs.

À l'heure actuelle, la méthode conventionnelle de gestion des déchets consiste soit à jeter la bouteille en décharge, soit à l'incinérer avec d'autres déchets, pour la transformer en mâchefer, soit à la recycler (mais cela nécessite presque autant d'énergie que lors de sa production). L'approche « zéro déchet » est tout autre : la bouteille peut être consignée au moment de l'achat dans un magasin, puis rapportée après utilisation. La bouteille est ensuite lavée, remplie de nouveau de lait et revendue. La seule ressource utilisée est alors l'eau de rinçage, et la consommation d'énergie est réduite au minimum.

3. Stratégie en trois points

L'approche « zéro déchet » propose donc une gestion alternative des déchets, bien moins coûteuse en ressources que la gestion conventionnelle, dans laquelle de nouvelles ressources sont constamment utilisées afin de remplacer les ressources perdues par enfouissement ou incinération. Par ailleurs, l'approche « zéro déchet » a pour conséquence une réduction importante de la pollution générée par ce processus, la mise en décharge et l'incinération étant réduites au minimum.

Schématiquement, en commençant par la sobriété (simplicité, modération, tempérance), il est possible de résumer la stratégie « zéro déchet » en trois points :

1. Supprimer le recours à l'incinération des déchets et structurer le système de collecte des déchets de manière à :
 1. Augmenter la quantité de matière différenciée récupérable (pour les particuliers cela signifie séparer les différents types de déchets et notamment les déchets organiques pour la fabrication de compost),
 2. Optimiser la qualité de la matière recyclable, ce qui aura pour conséquence de réduire simultanément la quantité de déchets produite ;
 3. Encourager la réutilisation des matériaux recyclés par les industriels, la réparation des objets par les particuliers, et promouvoir les modes de vie qui réduisent la quantité de déchets produite (par exemple, utiliser l'eau du robinet, éventuellement filtrée à domicile, plutôt que l'eau en bouteille ou acheter en vrac et ainsi réduire les déchets d'emballage ou fabriquer ses propres produits d'entretien) ;
 4. Soutenir la conception et la fabrication par l'industrie de produits entièrement recyclables, réutilisables et réparables.

4. Zéro déchet : concept et pratique

Zéro déchet est une philosophie qui encourage la réutilisation d'un produit afin que son élimination devienne minimale. Convertir les déchets en ressource est l'essence et le concept du zéro déchet. En réalité, cela peut être réalisé de plusieurs manières. C'est tout simplement repenser sa consommation et agir sur les gaspillages quotidiens. Refuser, réduire, réutiliser, recycler et composter sont les cinq principes de la vie zéro déchet.

Refuser ce dont on n'a pas besoin : Refuser, c'est se demander si on a vraiment besoin de chaque objet qu'on utilise. En refusant le Publisac, les objets promotionnels, les échantillons, les produits pré-emballés, les gobelets de plastique ou les pailles, par exemple, on envoie le message aux entreprises, aux commerçants et aux restaurateurs de repenser leur approche et de proposer des choix plus écologiques.

Réduire ce dont on a besoin : Réduire son rythme de consommation est la deuxième action à poser. On peut aussi réduire rétroactivement (qui agit sur ce qui est antérieur) pour tendre vers un aménagement minimaliste: faire le ménage de sa garde-robe, des armoires de cuisine, du

garage, de la salle de jeux, en bref de toute la maison. En éliminant des choses, une vie moins encombrée sera plus facile.

Afin de réduire les emballages, éviter tout ce qui est en portion individuelle et privilégier les grands formats. Rechercher les produits en vrac et les recharges pour le savon et les autres nettoyants ou cosmétiques. Visiter le boulanger, le boucher, le fromager et le poissonnier pour des produits servis selon ses besoins et apporter ses contenants pour l'emballage. Aussi, se procurer des sacs écologiques qui respirent pour emballer fruits et légumes. Encore mieux, les coudre avec d'anciens voilages de rideaux. Et pour transporter le pain, prendre des taies d'oreiller usagées. Si les consommateurs créent la demande pour des produits sans emballage, des commerçants répondront à ce besoin et de plus en plus d'épiceries (Commerce de produits d'alimentation) zéro déchet verront le jour.

Réutiliser quand refuser ou réduire est impossible : Réutiliser, c'est donner une seconde chance à un objet dont on n'a plus besoin en lui trouvant une autre vocation ou en le donnant à des organismes communautaires. Réparer un objet brisé est aussi une excellente pratique de réemploi. Acheter des objets d'occasion, c'est leur offrir une deuxième vie.

Recycler les matières premières

Tout d'abord, l'idée est de réduire sa consommation à la source car on dit que le meilleur déchet est celui qu'on ne produit pas. Le recyclage arrive donc à la fin du processus, tout comme le compostage. Recycler permet de réintroduire des déchets dans le cycle de production pour fabriquer de nouveaux produits. C'est aussi une action positive pour la préservation de l'environnement.

Composter le reste : Avant de jeter un aliment au compost, se demander si lui aussi n'aurait pas une deuxième vie. Les pieds de brocoli vont dans le potage, les os et les retailles de légumes font d'excellents bouillons, les pelures d'orange parfument le sucre, le pain rassis (Qui commence à durcir, à se dessécher) se transforme en chapelure ...

La limite définie peut être maison, institution, industrie, communauté, ville ou pays. Dans l'industrie, on ne peut atteindre le concept zéro déchet qu'en convertissant les déchets en produit à valeur ajoutée ou par produit, de sorte que tout ce qui sort de la frontière industrielle ait une valeur économique.

L'un des objectifs du *zéro déchet* est de remplacer les emballages obsolètes par des emballages réutilisables.

L'objectif de fond est de passer d'un modèle linéaire « produire, consommer, jeter » à une économie circulaire « consommer moins et concevoir des produits aptes au réemploi et au recyclage.

TD1. Cycle de vie des déchets

1. Définition

Tout matériau est dit non utilisable après son utilisation complète à des fins individuelles est appelé déchet. Les déchets sont générés soit par des êtres humains, des animaux ou des plantes, soit par tout processus naturel ou artificiel. Les déchets prennent de nombreuses formes, telles que les déchets solides municipaux (MSW), les déchets biodégradables, les déchets non biodégradables, les déchets chimiques, les déchets de construction et de démolition, les déchets électroniques, les déchets biomédicaux, les eaux usées, les boues, les déchets toxiques, les déchets industriels, les déchets alimentaires, etc. Tout déchet trouvé à l'état physique solide ou semi-solide est appelé déchet solide. Les sources de déchets solides comprennent les ménages, les lieux publics, les institutions commerciales, les hôpitaux, les industries, les déchets semi-solides des usines de traitement des eaux usées, les industries électroniques, etc.

2. Cycle de vie des déchets

Le terme cycle de vie fait référence au berceau à la tombe (cradle to grave). Si nous considérons un produit comme une entité vivante, ce produit a une naissance, une période de vie en société, puis la mort.

Avant d'être déchet et au commencement ce que l'on considère comme déchet était un produit ou plus précisément une matière première, qui subit à des procédés de transformation. Après son acquisition, ce produit est utilisé jusqu'à son abandon du fait de la perte de son utilité technique (défaillance) ou de l'évolution du contexte social (mode, évolution réglementaire, etc.). Le produit en fin de vie devient alors un déchet.

Ce déchet est, selon les cas, trié, vendu, donné ou collecté, rétrié, réparé ou rechargé ou encore transformé.

Historiquement, la science et la technologie se sont concentrées sur de nouvelles idées, concepts, produits et leurs applications, dans le but de donner une vie utile à des produits qui répondent à nos besoins. Mais dans le passé, nous avons peu réfléchi à la disparition de ces entités.

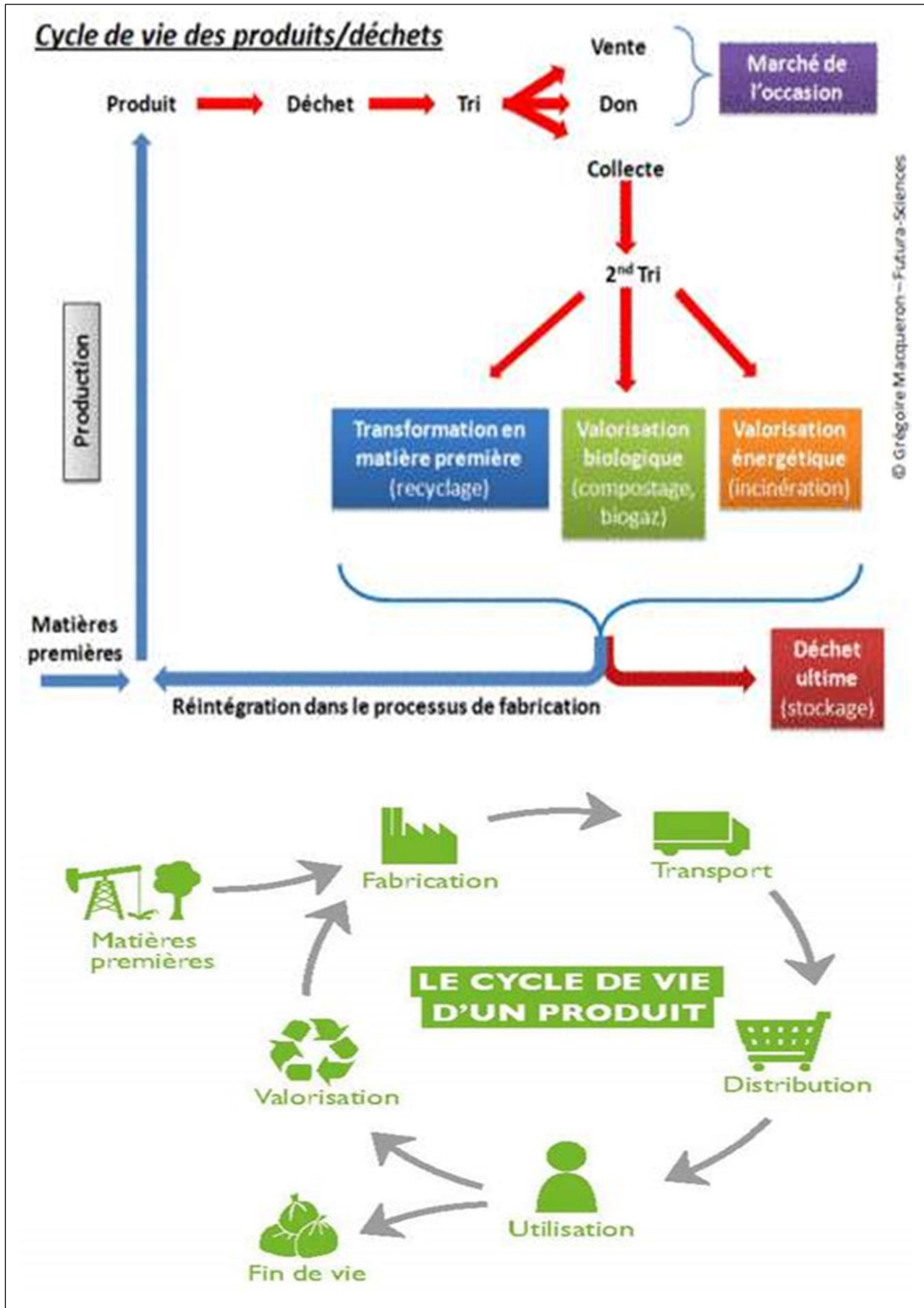


Figure 24. Cycle de vie des déchets

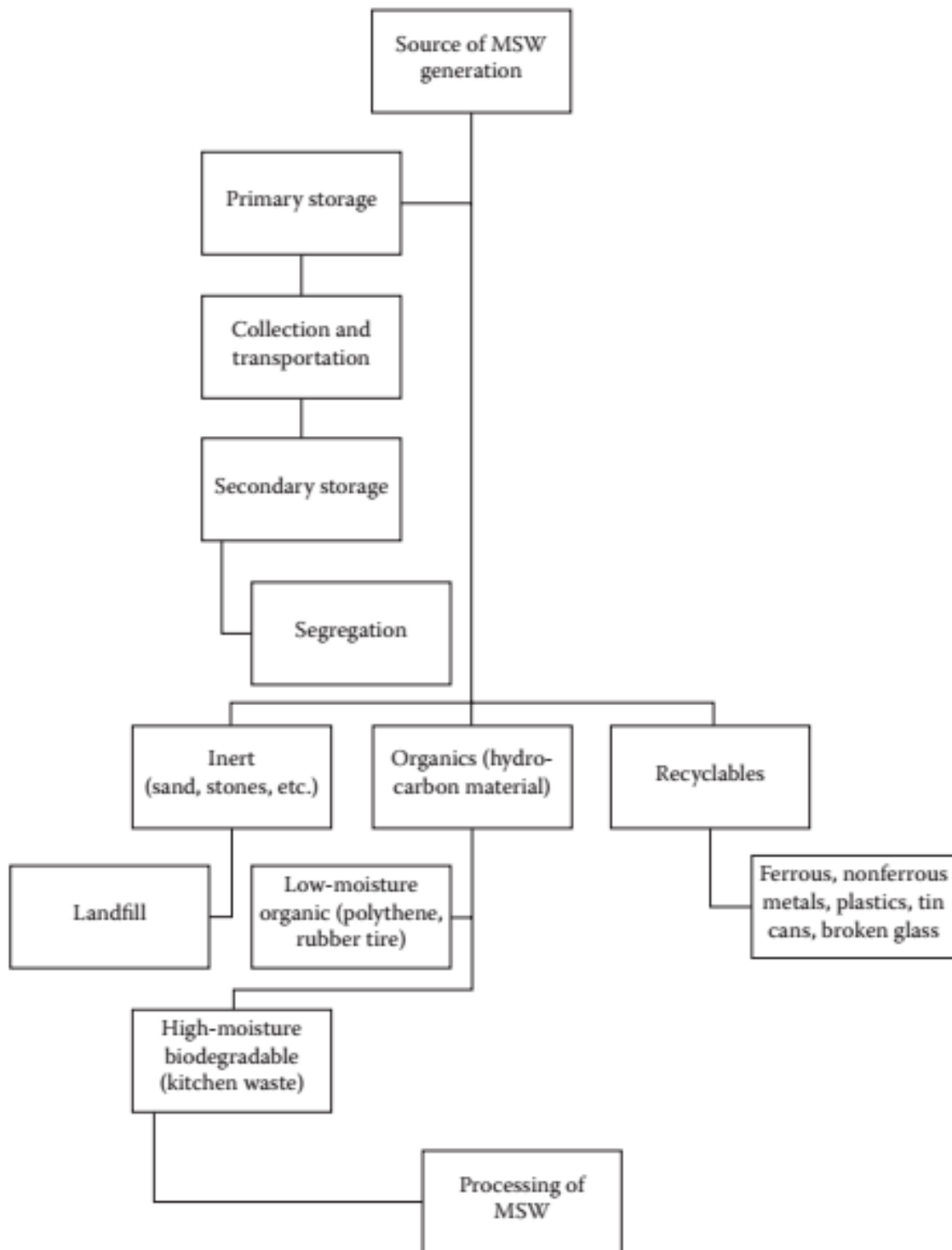


Figure 25. Mécanismes de la génération des déchets solides

En ignorant le cycle de fin, nous perdons de vue le fait que les ressources naturelles qui ont servi à fabriquer des produits ne sont pas infinies, et qu'à l'échelle mondiale, la vitesse à laquelle nous consommons des produits avec une mentalité de rebut n'est pas durable.

De plus, nous causons des dommages durables et même irréparables à notre environnement en introduisant de plus en plus de déchets et de pollution dans l'environnement. De même, lorsque nous nous appuyons sur des technologies inefficaces pour fabriquer des produits en masse, nous gaspillons continuellement plus de ressources et générons plus de pollution. Les principes du cycle de vie tiennent également compte des trois phases d'existence d'un produit, y compris la manière dont le produit est fabriqué. Ces principes ne sont pas nouveaux et existent depuis des décennies, mais nous commençons seulement à apprendre à les appliquer efficacement dans la conception de nouveaux produits et de technologies plus efficaces. C'est ce qu'on appelle la conception pour l'environnement. Nous devons reconnaître que, puisque nous ne vivons pas dans une société utopique, l'économie éclipse de nombreuses décisions. Pour l'industrie, la durabilité et la croissance sont liées à la rentabilité. Pour soutenir les entreprises et maintenir ou accroître leurs marges bénéficiaires, les entreprises doivent notamment respecter leurs obligations environnementales dans une Manière rentable.

Une fraction des déchets ne peut être, en l'état des technologies actuelles et de la faisabilité économique, valorisée. Cette fraction forme les déchets ultimes qui, après réduction éventuelle de leur toxicité, sont stockés dans des centres spécialisés. Ces centres de stockage des déchets ultimes (CSDU) ont pour but d'empêcher toutes fuites dans l'environnement qui pourraient engendrer des pollutions ou affecter la santé humaine.

Comme ces centres techniques, autrefois appelés plus vulgairement décharge seront légués aux générations futures, la mise en décharge ne cadre pas avec les principes du développement durable.

3. Source de génération des déchets solides municipaux

La connaissance de la source de production de déchets solides municipaux (DSM) est essentielle à la conception et à l'exploitation des éléments fonctionnels associés à la gestion des déchets solides. Pour évaluer les besoins actuels et futurs en matière de budgétisation, d'exploitation et de traitement des déchets ménagers, il est important de collecter des informations sur la source et le taux de production de déchets dans une zone. Le taux de production de déchets solides varie **d'une communauté à l'autre, d'une ville à l'autre et d'un pays à l'autre** en fonction de divers facteurs tels que le **contexte économique**, la **densité de la population**, **l'industrialisation**, **le statut de gestion existant et le mode de vie**. Les sources de production de DSM ont été identifiées comme provenant de différentes classes

telles que le résidentiel, le commercial, l'institutionnel, la construction et la démolition, l'agriculture et l'élevage, comme le montre la figure (3). Différentes sources de déchets sont examinées séparément comme suit:

- *Déchets ménagers*: dans la plupart des pays en développement, la plus grande source de production de DSM provient des ménages. Ils sont également connus sous le nom de déchets ménagers ou résidentiels et sont générés par la consommation quotidienne des ménages, y compris les déchets alimentaires, le papier, les récipients en plastique, en métal et en verre, les chiffons, les papiers souillés, etc. Les déchets de cuisine dans les pays en développement représentent près des deux tiers du total des déchets.
- *Déchets commerciaux*: les marchés sont la source la plus importante de déchets commerciaux, constitués de déchets biodégradables. D'énormes quantités de plastiques, de papiers et de cartons sont générées par les magasins généraux.
- *Déchets institutionnels*: les institutions telles que les écoles, les administrations publiques et les hôpitaux augmentent considérablement dans les pays en développement, parallèlement à la croissance démographique. Le papier prédomine dans la catégorie des déchets dans la plupart des établissements.
- *Balayage des rues (Street sweeping)*: cela a été l'une des plus grandes sources de production de DSM et est une facette clé de la gestion des déchets solides (GDS) dans les pays en développement. Il se compose de papier, plastique, litière, sable, pierres, des charges déversées et des débris d'accidents de la circulation. Les déchets qui atteignent les rues sont dus au manque de sensibilisation de la population, aux déchets des piétons, des véhicules et des riverains. L'éducation du public par rapport à la participation est le facteur clé de la production de DSM dans les rues. Les déchets dans les rues ont un impact visuel négatif, en particulier sur les visiteurs, et affectent ainsi indirectement l'économie d'une ville.
- *Déchets de construction et de démolition (DCD)*: les tendances à l'urbanisation et à l'industrialisation ont conduit à la production de déchets de *DCD* dans de nombreux pays en développement. Ce type de déchets comprend généralement le béton brisé, la ferraille et les produits en bois, les panneaux, le verre, le vieux matériel électrique, et de la maçonnerie, le métal et les peintures.
- *Déchets agricoles*: les déchets agricoles sont l'une des plus importantes sources organiques de production de déchets dans la plupart des pays en développement. Les déchets générés à

partir de sources agricoles comprennent les déchets des cultures (paille de blé, bagasse, paddy, balle, déchets végétaux, noix de coco et coquilles) et d'autres récoltes. Le taux de production de déchets du secteur agricole dépend des conditions climatiques du pays car ce sont des facteurs essentiels dans la production agricole.

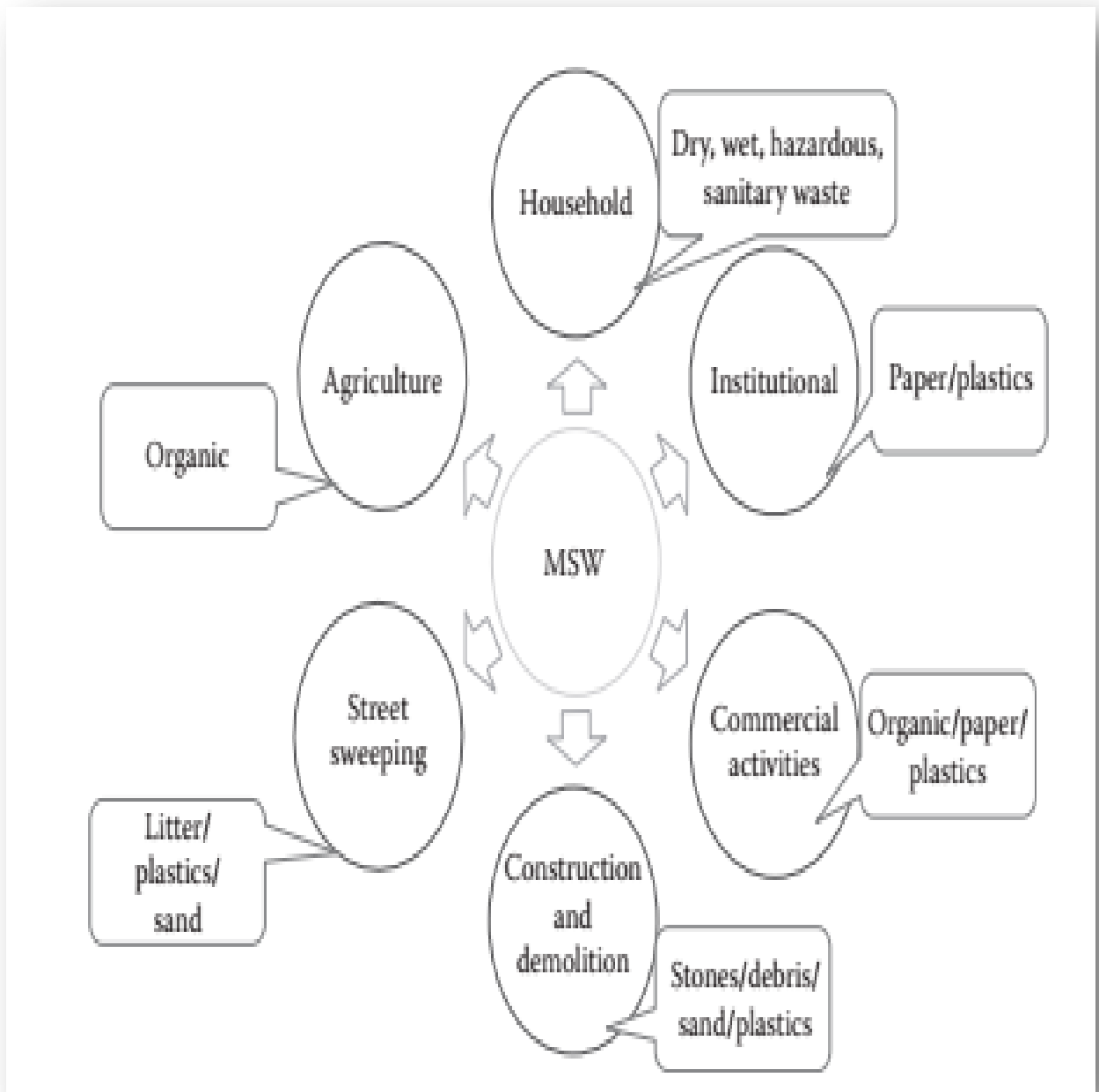


Figure 26. Schéma des flux de la production de DSM à partir de différentes sources

4. Problèmes environnementaux et sanitaires des déchets

L'accumulation des déchets engendrent quatre types de nuisances.

-
- Une dégradation du cadre de vie causée par les nuisances visuelles (sacs plastique accrochés dans les arbres, macro-déchets sur les plages) ou olfactives (matière organique en décomposition, combustion de matières chimiques).

 - Un impact économique dû à la perte de l'attractivité d'un site suite à cette dégradation du cadre de vie et/ou à la diminution de sa productivité, dans le cas d'une zone de pêche ou d'un terrain agricole. A cela peuvent s'ajouter les surcoûts causés par la dépollution, dans le cas de la potabilisation de l'eau par exemple, et par les conséquences sociétales des intoxications : traitements médicaux, arrêts de travail, etc.

 - Car il y a aussi un risque sanitaire suite aux blessures (tessons de verre, seringues...), aux intoxications (pollution des eaux, de l'air...) et aux maladies (prolifération bactériennes, infestation de parasites, de rats...).

 - Enfin, la pollution de l'environnement et les dégradations écologiques lors de l'eutrophisation des milieux, les intoxications, étouffements ou blessures causés à la faune lorsqu'elle absorbe ou s'accroche aux déchets.

5. Temps de dégradation des déchets

La durée de dégradation des déchets dans la nature est de quelques semaines à des milliers d'années selon les conditions climatiques, les milieux et le type des déchets et durant cette période plusieurs nuisances peuvent être générées. La figure (27) résume le temps de dégradation de quelques types de déchets dans le sol. Pour une bonne gestion des déchets, on doit faire une distinction des déchets suivant leur temps de dégradation dans le sol. Les éléments biodégradables, c'est-à-dire à base de matières organiques (déchets verts, papiers...) disparaissent en moins d'un an, mais il faut 10 à 100 ans pour le métal et de 100 à 1.000 ans pour les plastiques, polystyrènes et autres matières synthétiques assimilées

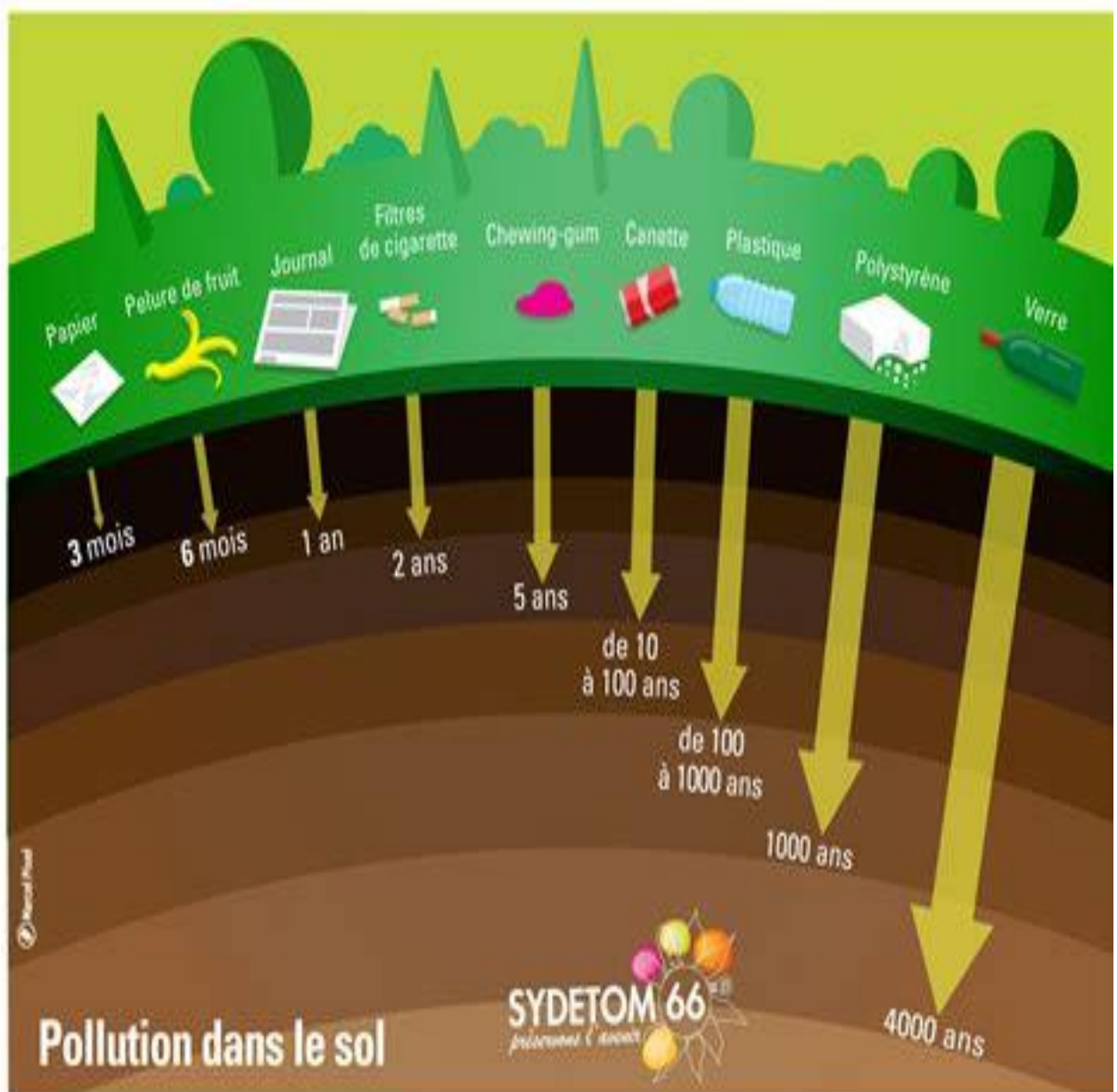


Figure 27. Temps de dégradation de quelques types de déchets

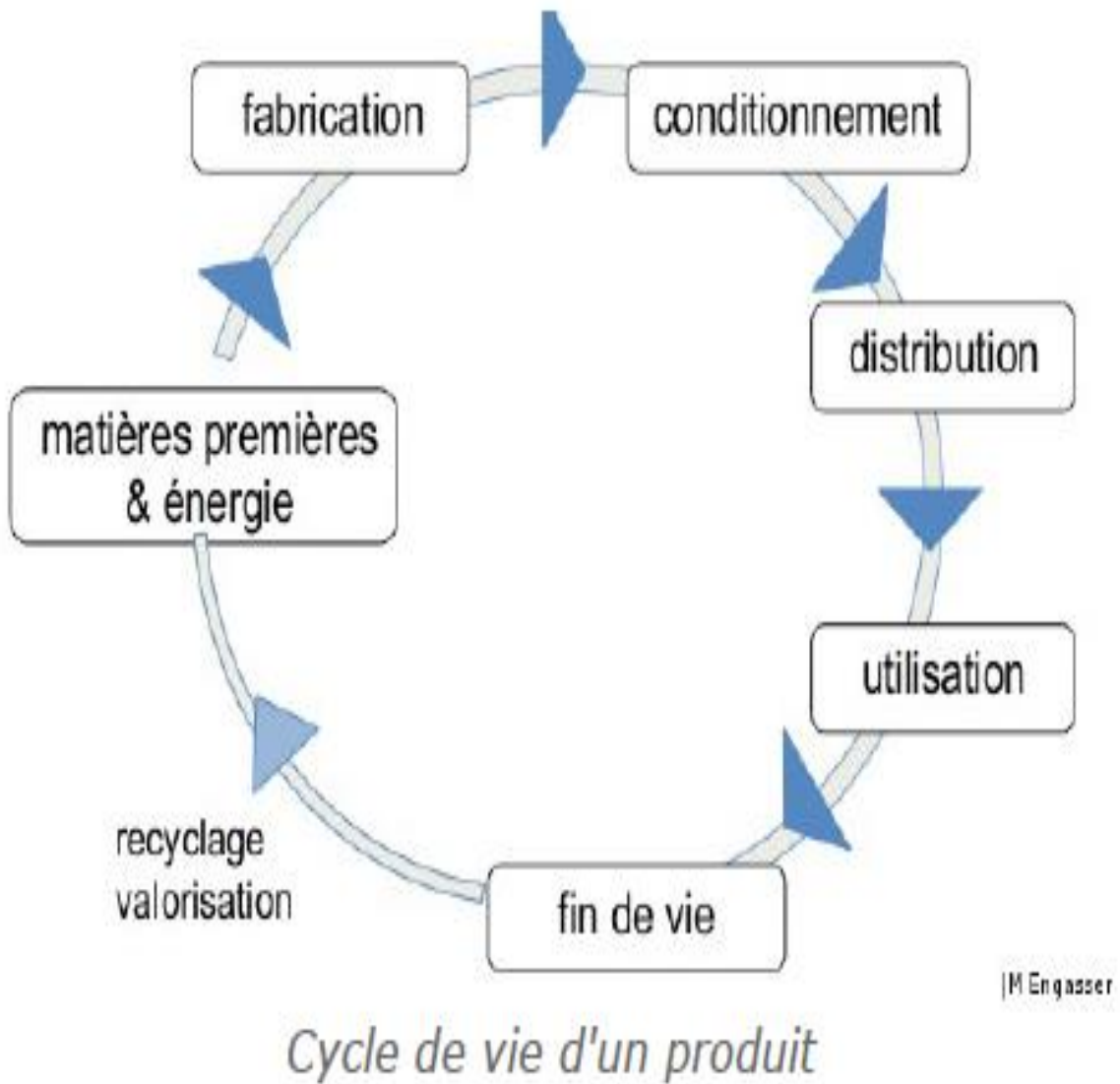


Figure 28. Cycle de vie d'un produit

TD2. Caractéristiques et composition des déchets solides

1. Caractéristiques des déchets solides

La caractérisation des déchets joue un rôle essentiel dans l'identification d'une technologie de traitement appropriée. Il est important de noter que les paramètres qui caractérisent les déchets varient d'un pays à un autre. Généralement on caractérise les déchets solides par quatre paramètres essentiels : la densité, le degré d'humidité, le pouvoir calorifique, le rapport des teneurs en carbone et azote :

1. 1. La densité

La connaissance de la densité est d'une grande importance pour le choix des moyens de collecte et de stockage. Toutefois comme les déchets sont compressibles, la densité n'a un sens que si on définit les conditions dans lesquelles on la détermine. C'est pourquoi on peut avoir une densité en poubelle, une densité en benne, une densité en décharge, une densité en fosse, etc. La densité en poubelle est mesurée en remplissant les ordures fraîches dans un récipient de capacité connue sans tassement. En général, la densité des déchets change pendant le transfert de la source à l'installation d'élimination.

1. 2. Le degré d'humidité

Les ordures renferment une suffisante quantité d'eau variant en fonction des saisons et le milieu environnemental. Cette eau a une grande influence sur la rapidité de la décomposition des matières qu'elles renferment et sur le pouvoir calorifique utile des déchets.

1. 3. Le pouvoir calorifique

Il s'agit de la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en ordures brutes. Il s'exprime en kilojoule par kilogramme (noté kJ/kg ou kJ·kg⁻¹).

1. 4. Le rapport des teneurs en Carbone et Azote

Le rapport C/N a été choisi comme critère de qualité des produits obtenus pour le compostage des déchets. Il est d'une grande importance pour le traitement biologique des déchets, car l'évolution des déchets en fermentation peut être suivie par la détermination

régulière de ce rapport. Le rapport C/N dans les ordures fraîches se situe généralement entre 25 et 40 et dans le compost mûr entre 12 et 20.

2. Composition des déchets

La quantité et la qualité de déchets solides dépendent du niveau de vie des habitants. Comme la population augmente de jour en jour et que la production des déchets solides est directement proportionnelle à la population, ce domaine nécessite une bonne gestion.

La connaissance ou l'estimation de la quantité et de la qualité des déchets sont des outils fondamentaux pour la mise en œuvre réussie des options de gestion des déchets. Pour préparer un plan de système de gestion des déchets solides, il est nécessaire de procéder à une évaluation du flux de déchets. L'évaluation des flux de déchets donne les informations nécessaires sur la quantité de déchets générés par les personnes, la composition des déchets et leurs sources. Les informations recueillies périodiquement à partir de cette évaluation aideront à identifier les équipements, les installations, et à formuler des plans et des programmes pour le système de gestion.

La production de déchets dépend de divers facteurs tels que la croissance démographique, les conditions climatiques et les variations saisonnières, la situation économique, la culture et les traditions culinaires, la configuration géographique et le niveau d'activité commerciale.

Les principaux constituants des déchets sont les matières organiques décomposables et le papier, suivis des matières inorganiques constituées de métaux, de plastiques, de textiles, de verre, etc. En raison du statut socio-économique des populations, la production de déchets peut varier, mais la proportion finale atteignant les sites d'élimination dans les zones urbaines reste la même. La composition des déchets varie en fonction du statut socio-économique de la communauté, par conséquent, dans les pays en développement, une composante majeure des déchets est biodégradable et organique, tandis que dans les pays développés, il y a une plus grande composante de déchets inorganiques.

- La composition du papier dans les déchets solides varie de 1% à 5% dans les pays à faible revenu alors que, dans les pays à revenu élevé, elle varie de 20% à 50%.
- La composition du plastique dans les déchets solides varie de 1% à 5% et de 5% à 10% dans les pays à revenu faible et élevé, respectivement.

- Les fractions de cendres et de matières fines dans les déchets solides vont de 15% à 60% et 3% à 10% dans les pays à revenu faible et élevé, respectivement.
- Dans les pays à faible revenu, la teneur en humidité des déchets solides est d'environ 30 à 40% et, dans les pays à revenu élevé, de 15 à 30%.

TD 3. Gestion des déchets

1. Définition

La gestion des déchets représente toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations.

La gestion des déchets n'a jamais été une question de moyens uniquement (matériels et financiers) mais aussi de management. Les solutions de gestion des déchets solides ménagers doivent non seulement être écologiquement durables, mais aussi rentables et socialement acceptables.

2. Stratégies de gestion des déchets

Les stratégies de gestion des déchets présentent deux inconvénients:

1. nécessitent des coûts permanents associés à l'exploitation et à l'entretien et à l'utilisation de l'énergie, et ils comportent de nombreux coûts et responsabilités cachés et indirects.
2. Les rejets de composants infectieux, toxiques et dangereux dans l'environnement se poursuivent pendant de nombreuses années, posant des risques à long terme pour la santé du public et un danger pour l'environnement simplement parce que les formes de déchets ne sont que transformées et ne sont pas entièrement éliminées ou complètement immobilisées.

Le souci d'une gestion des déchets plus respectueuse de l'environnement conduit à promouvoir, outre une collecte exhaustive des déchets et des traitements moins polluants, la récupération et le recyclage, et plus encore, en amont, la prévention

Une hiérarchie généralisée basée sur les responsabilités à long terme ou les risques associés à la gestion des déchets / pollution et les coûts associés à chacune devient évidente. Cette hiérarchie est comme suit:

Les stratégies de gestion des déchets / pollution basées sur **la prévention** s'efforcent d'éradiquer les deux inconvénients ci-dessus car elles éliminent la pollution ou les déchets à la source. Cette stratégie empêche les déchets de se former en premier lieu. Donc toutes mesures

prises avant qu'une substance, une matière ou un produit ne devienne un déchet, lorsque ces mesures concourent à la réduction d'au moins un des items suivants :

- la quantité de déchets générés, y compris par l'intermédiaire du réemploi ou de la prolongation de la durée d'usage des substances, matières ou produits ;
- les effets nocifs des déchets produits sur l'environnement et la santé humaine ;
- la teneur en substances nocives pour l'environnement et la santé humaine dans les substances, matières ou produits.

Les stratégies **de minimisation** ont tendance à réduire les risques associés au deuxième inconvénient.

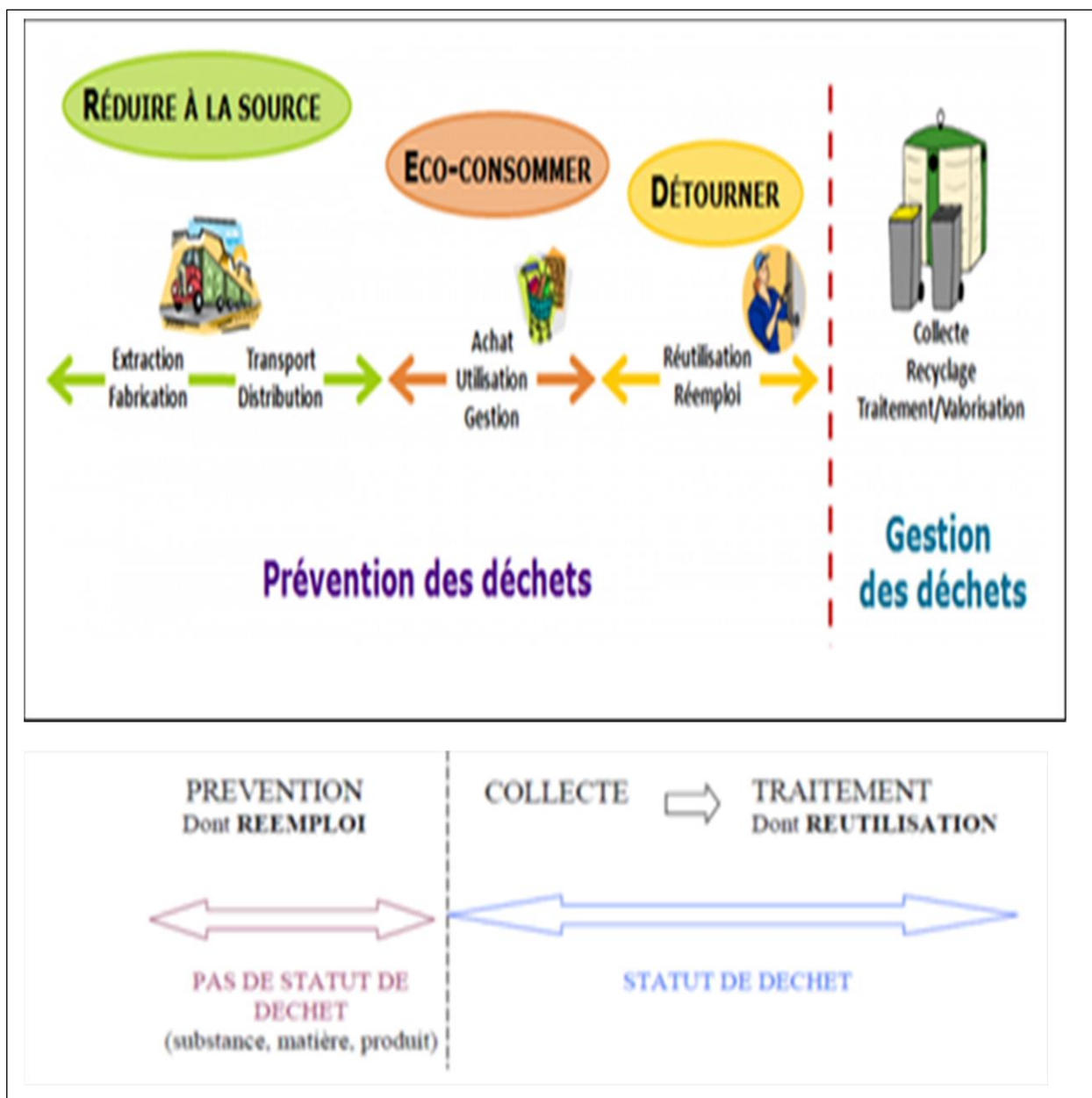


Figure 29. Prévention et gestion des déchets

La valorisation des déchets n'est pas seulement une source d'économie directe de matière première, mais souvent une source indirecte d'économie d'énergie, par exemple la fabrication d'une tonne d'aluminium première fusion nécessite 30 000 thermies alors que la fabrication d'une d'aluminium recyclé deuxième fusion ne nécessite que 1 500 thermies, entraînant une économie d'énergie de 95%.

Recyclage, Récupération des ressources, Déchets en énergie (R3WE)

Recyclage et réutilisation de matériaux, récupération de certains déchets pour réutilisation (appelée récupération de ressources) et conversion de certains types de déchets en énergie utile comme la chaleur, l'électricité et l'eau chaude sont des stratégies qui récupèrent et compensent les coûts de gestion globale des déchets.

Traitement

Lorsque les déchets ne peuvent être évités ou minimisés par la réutilisation ou le recyclage, nous devons alors poursuivre des stratégies visant à réduire les volumes et / ou la toxicité. Les technologies de traitement sont des processus axés sur la stabilisation des déchets, la réduction de la toxicité, la réduction du volume avant l'élimination finale ou, dans certains cas, la création de sous-produits à usage limité.

Élimination

La seule autre stratégie disponible est l'élimination. Les pratiques d'élimination des déchets sont intégrées dans les stratégies de gestion environnementale de toutes les municipalités, font partie intégrante de la plupart des opérations de fabrication et font souvent partie des éléments de coût direct les plus élevés. D'un point de vue commercial, c'est la stratégie la moins souhaitable et celle qui peut être directement traitée par la minimisation des déchets et les pratiques de P2. La figure (7) illustre la hiérarchie sous forme graphique en comparant les risques et coûts relatifs associés à chaque stratégie. Les stratégies qui réduisent ou éliminent les déchets avant même leur création sont préférables à celles qui encourrent les frais de traitement et d'élimination des déchets générés en permanence car les risques et les coûts à long terme sont moindres.

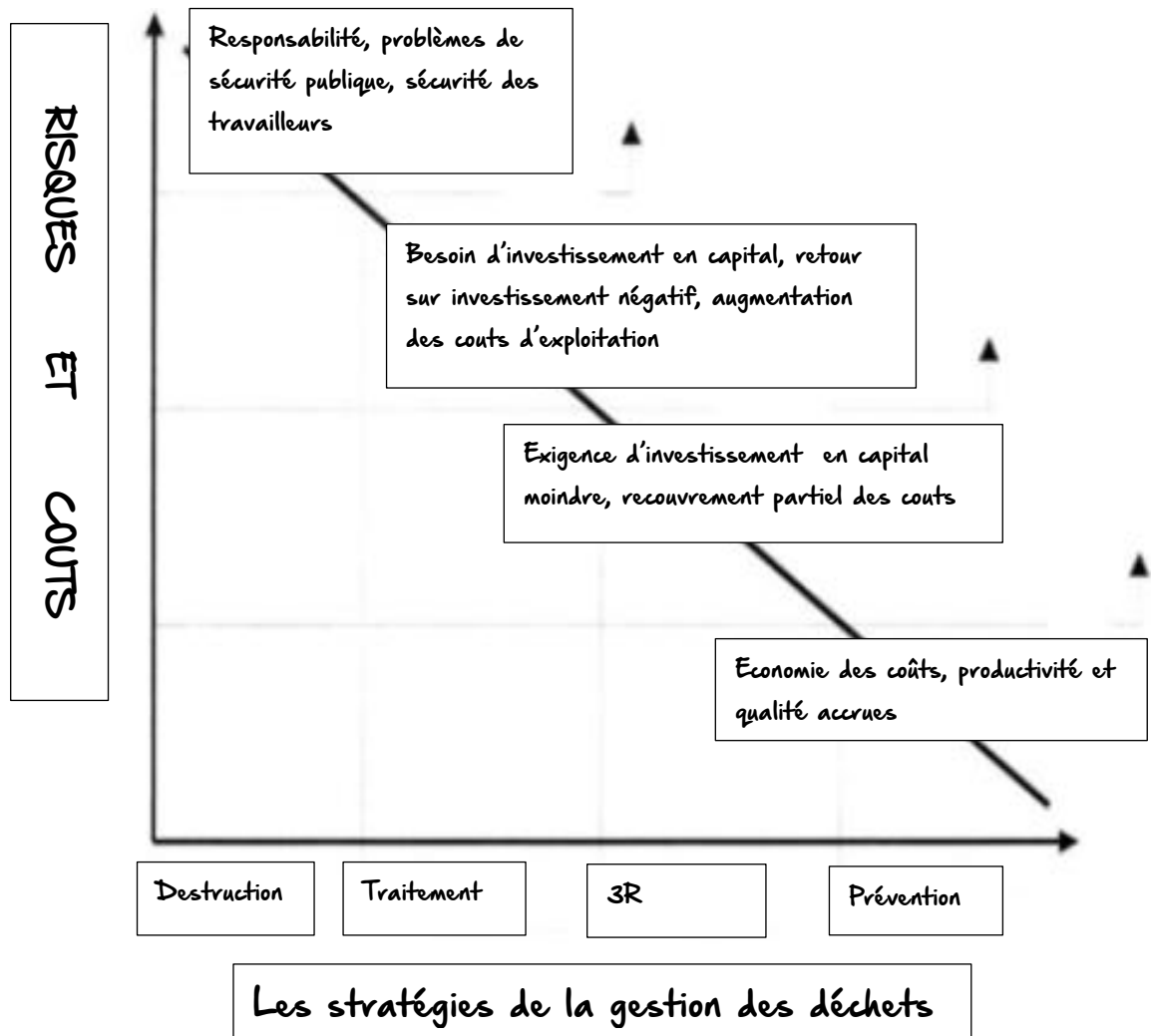


Figure 30. Relation entre la gestion des déchets et les risques et les coûts

3. Quelques Définitions

3. 1. Réemploi

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus.

→ Le réemploi est une opération de prévention.

→ Les substances, matières ou produits qui sont réemployés ne prennent pas le statut de déchet.

→ Le nouvel usage est identique à celui pour lequel le produit a été conçu.

Ne pas confondre réemploi et réutilisation

3. 2. Réutilisation

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont préparés de manière à être réutilisés de nouveau.

→ Substances, matières ou produits déposés dans une zone de réemploi, y compris celle connexe aux déchèteries) prennent le statut de déchets.

→ L'opération de réutilisation est une opération de traitement de déchets.

→ L'opération de réutilisation est toujours précédée d'une opération de préparation, à minima, par une opération de contrôle.

Exemple d'opération de préparation : contrôle visuel, nettoyage, réparation...

Un vêtement déposé dans une borne d'apport volontaire qui est revendu est une opération de réutilisation. L'opération éventuelle de nettoyage du vêtement, avant sa vente, est une opération de préparation à la réutilisation.

Un vêtement déposé dans une boutique de vente d'occasion n'est pas une opération de réutilisation, c'est une opération de réemploi.

3. 3. Réemploi Et Réutilisation

La réparation n'est pas un critère distinctif de la réutilisation ou du réemploi. L'opération de réparation peut être associée, selon les cas, au réemploi ou à la réutilisation. C'est le statut de déchet ou de produit qui spécifie si l'opération a la nature de réutilisation ou de réemploi.

Exemple 1 : Le dépôt d'une bicyclette chez un réparateur en vue d'une revente ultérieure sous la forme d'un bien d'occasion est une opération de réemploi. La bicyclette ne prend pas le statut de déchet.

Exemple 2 : Le dépôt d'une bicyclette chez un réparateur suite à son dépôt dans un point d'apport volontaire est une opération de préparation à la réutilisation. La bicyclette, déposée dans un point d'apport volontaire prend, en effet, le statut de déchet.

Ne pas confondre recyclage et réutilisation (la réutilisation est une opération de recyclage).

Ne pas confondre recyclage et valorisation matière. Une opération de valorisation matière n'est pas systématiquement une opération de recyclage.

3. 4. La collecte en apport volontaire

Pour la collecte en apport volontaire, les déchets sont déposés dans des conteneurs spécifiques qui sont installés en différents points fixes sur la zone de collecte. Ces contenants sont accessibles à l'ensemble de la population.

Les déchèteries sont des installations de collecte de déchets par apport volontaire (ces équipements peuvent être publics ou privés et peuvent concerner aussi bien les déchets des ménages que les déchets des professionnels).

- Que ce soit en porte à porte ou en apport volontaire, le contenu du bac peut être constitué :
- Soit de déchets en mélange (exemple bac contenant des papiers, cartons, plastiques en mélange),
 - Soit des déchets de même nature (exemple : bac ne contenant que du verre).

Ne pas confondre collecte et pré collecte

La collecte est le ramassage des déchets contenus dans des contenants spécifiques qui sont disposés sur le domaine public ou privé, par le service de collecte. Ces contenants sont propres à un ou plusieurs producteurs.

Alors que la pré-collecte réunit toutes les opérations précédant le ramassage des déchets par le service d'enlèvement.

Exemple 1 : La sortie du bac sur le domaine public est une opération de pré collecte.

Exemple 2 : Le remplissage du bac est une opération de pré collecte.

Exemple 3 : Le transport des déchets par leur producteur initial vers un site de dépôt est une opération de pré collecte.

Exemple 4 : La levée du bac lors du passage du camion poubelle est une opération de collecte.

Exemple 5 : La réception des déchets apportés par un particulier en déchèterie est une opération de collecte.

Exemple 6 : La levée des déchets d'équipements électriques et électroniques (D3E) déposés par les particuliers auprès de distributeurs par un prestataire de service est une opération de collecte.

Le transport des déchets d'un particulier en déchèterie n'est pas une opération de collecte.

3. 5. Régénération

La régénération est une opération de recyclage. Cette opération est basée sur des procédés de raffinage d'un fluide ou d'un solide, impliquant l'extraction de la fraction polluante ou indésirable contenue dans le déchet.

Les différents types de régénération :

- Régénération des huiles,
- Régénération de solvants,
- Régénération de gaz fluorés,
- Régénération des catalyseurs,...

3. 6. Valorisation

Toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui auraient été utilisés à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, y compris par le producteur de déchets. » Plus indirectement, les déchets sont le reflet de la société de consommation et de son exploitation des ressources naturelles et énergétiques. Leur traitement dans un but de valorisation est un moyen de compenser l'épuisement de ces ressources et les dégradations liées à leur exploitation.

→ La valorisation est une opération de traitement de déchets.

Valorisation matière

→ La valorisation matière exclut toute forme de valorisation énergétique.

→ L'opération de production de combustibles de substitution issus de déchets est une opération de valorisation matière.

Valorisation énergétique

→ Un incinérateur de déchets non dangereux réalise une opération de valorisation énergétique si cette opération respecte les normes.

→ Le réemploi n'est pas une opération de valorisation car il ne concerne pas des déchets.

3. 7. Elimination

Toute opération qui n'est pas de la valorisation. L'élimination est une opération de traitement de déchets, c'est une activité de destruction des déchets.

Exemple d'élimination :

- Opération de d'enfouissement dans les décharges ou CET,
- Incinération de déchets sans récupération de l'énergie.

Références

Aloueimine, S. (2006). Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie): Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision (Doctoral dissertation, Limoges).

Askri, A. (2015). Valorization of anaerobic digestates in agriculture: Effects on Carbon and Nitrogen biogeochemical cycles (Doctoral dissertation, AgroParisTech).

Bachar, A. et Touili K. (2017). Le Maroc de l'économie verte : Un pays tourné vers l'avenir, Revue Organisation et Territoires N°3.

Balet, J. M. (2008). Aide-mémoire Gestion des déchets - 2^e éd. Dunod.

Balet, J. M. (2016). Gestion des déchets-5e éd. Dunod.

Bayard, R., & Gourdon, R. (2007). Traitement biologique des déchets. Ed. Techniques Ingénieur.

Bédard, S., Beauchemin M., Boivin S., Castonguay Y., Courtois G., Dion D., Dubreuil B., Leroux C. (2017). Guide de gestion des déchets du réseau de la santé et des services sociaux.

Bennama, T. (2016). Les bases de traitement des déchets solides. Polycopié de Cours. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed Boudiaf » Faculté de Chimie.

Bertolin, G. (2007). Service public local de gestion des déchets : quel avenir ? TSM numéro 4, pp 89-97 <http://dx.doi.org/10.1051/tsm/200704089>

Bertolini, G. (2020). Déchets: quel avenir? Examen de deux scénarios contrastés, Aménagement et Nature- N °5 pp 114-143.

Bouatta, D. (2007). Le pari est lancé, **MUTATIONS**, Numéro 59 - 01/07, pp 10-11.

CGSLB (SD). La gestion des déchets : Objectif Prévention, 36 pages. www.cgslb.be

Cheremisinoff, N. P. (2003). Handbook of solid waste management and waste minimization technologies. Butterworth-Heinemann.

CNR (2000). Le traitement biologique des déchets organiques.

CUSSTR (2005). Gestion des déchets.

http://www.ecodas.com/imgiboo/dechets-animaux/dechets_cusstr.pdf

Demdoum, A. (2019). Comportement hydrique et mécanique d'un mélange de Bentonite-Sable Calcaire-Tuf: Application à la conception des Installations de Stockage des Déchets (ISD) (Doctoral dissertation, Université de Laghouat).

Desachy, C. (2001). Les déchets « sensibilisation à une gestion écologique » 2^{ème} éd. Tec & Doc.

Djemaci, B. (2012). La gestion des déchets municipaux en Algérie: Analyse prospective et éléments d'efficacité (Doctoral dissertation, Université de Rouen).

Faurie ,C., Ferra, C., Médori, P., Dévaux, J. et Hemptinne, J.L., (2006). Ecologie. Approche scientifique et pratique. 5^{ème} éd. Tec&Doc.

FNADE. (2015). Le stockage de déchets (<https://www.fnade.org/fr/produire-matieres-energie/stockage>)

Francou, C. (2003). Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage-Recherche d'indicateurs pertinents (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).

Geldron, A. (2013). Economie circulaire: notions. *Angers, ADEME*.

INDDIGO (2019). Plan de prévention et de gestion des déchets. Annexes

Insam, H., & De Bertoldi, M. (2007). Microbiology of the composting process. In Waste management series (Vol. 8, pp. 25-48). Elsevier.

Kasuku, W., Bouland, C., De Brouwer, C. H., Mareschal, B., Mulaji, C., Malumba, M., ... & Kitambala, A. (2016). Etude de l'impact sanitaire et environnemental des déchets hospitaliers dans 4 établissements hospitaliers de Kinshasa en RDC. *Déchets Sciences et Techniques*, 71, 25-33.

Koller, E. (2004). Traitement des pollutions industrielles: Eau, Air, Déchets, Sols. *Boues. DUNOD. PARIS*.

Kumar, S. (2016). *Municipal solid waste management in developing countries*. CRC Press.

Le Bozec, A. (1994). Le service d'élimination des ordures ménagères. Organisation, coûts, gestion (p. 460). Cemagref Editions; Harmattan.

Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., ... Thorne R.J., Colón J., Ponsá S., Al-Mansour, F., Anguilano L., Krzyżyńska, R., López I.C. , Vlasopoulos, A., & Spencer, N. (2017). Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy*, 141, 2013-2044. doi: 10.1016/j. energy.2017.11.128

Melquiot, P. (2004). Mémento de la réglementation environnementale française et européenne. Librairie Environnement.

Ouallet, C. (1997). Les déchets: définitions juridiques et conséquences. Afnor.

Pichat, P. (1995). La gestion des déchets: un exposé pour comprendre, un essai pour réfléchir. Feni XX.

Rogaume, T. (2006). Environnement. Gestion des déchets. Réglementation, organisation, mise en oeuvre. Paris: Ellipses Edition Marketing SA.

Soares, M. A.D. R. (2016). Eggshell valorisation by co-composting process for environmental applications (Doctoral dissertation).

Sotamenou, J. (2010). Le compostage: une alternative soutenable de gestion publique des déchets solides au Cameroun (Doctoral dissertation, Université de Yaoundé).

Zubair M., Wang S., Zhang P., Ye J., Liang J., Nabi M., Zhou Z., Tao X., Chen N., Sun K., Xiao J., Cai Y. (2020) Biological nutrient removal and recovery from solid and liquid livestock manure: Recent advance and perspective, *Bioresource Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122823>

Webographie

Plusieurs sites ont été consultés surtout pour télécharger les images et les figures entre autre :

<https://www.actu-environnement.com>

<https://www.ademe.fr/expertises/dechets/quoi-parle-t/prevention-gestion-dechets/dossier/collecte/introduction-a-collecte>

<https://www.ademe.fr/expertises/dechets/quoi-parle-t/prevention-gestion-dechets/dossier/collecte/collecte-apport-volontaire>

https://www.dictionnaire-environnement.com/dechet_ID18.html

<https://www.gardenersedge.com>

<https://and.dz/base-des-connaissances/definitions/>

<https://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-laction/dossier/stockage/installation-stockage-dechets-non-dangereux>

<https://pixlr.com>