

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Béjaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement
Spécialité : Toxicologie Industrielle et Environnementale



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**État des lieux des opportunités de recyclage et
de valorisation des déchets organiques :
Analyse bibliographique**

Présenté par :

HAMITOUCHE Fouad & AMIR Zineddine

Soutenu le : **26 juin 2023**

Devant le jury composé de :

Mme MANKOU N.
M. DAHMANA A.
M. MOUSSAOUI R.

MCB
MAA
MCB

Présidente
Encadreur
Examineur

Année universitaire : 2022 / 2023



Remerciements

Tout d'abord, nous exprimons nos remerciements au bon Dieu de nous avoir donné le courage et la force pour terminer notre travail et pour sa bienveillance.

Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements et notre sincère gratitude à notre promoteur Dr. Dahmana pour la qualité de son encadrement, sa constante disponibilité, son sérieux, ses encouragements et ses conseils très précieux nous sommes très reconnaissantes de la confiance qu'elle nous accordé.

Nous tenons d'autre part à remercier Mr. Moussaoui. Et Mme. Mankou. Pour bien vouloir nous accorder de leurs temps précieux, pour commenter, discuter et juger notre travail.

Nos vives gratitudes s'adressent à tous ceux qui ont participé de loin ou de près, à la réalisation de notre mémoire de fin de cycle.





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mon père que Dieu accueille ton âme dans son vaste paradis Inchallah ;

A ma mère, la lumière de ma vie ;

A toute ma famille ;

A Tout mes amis (Ferhat, Lotfi, Bachir, Mounira...)

*A mes copains de chambres durant mon cycle d'étude (Amazigh, Amer, Remy,
Izem, Nadjib ...)*

A toute la promotion toxicologie industriel (2022/2023).

Amir Zineddine





Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A Mes Très Chers Parents ;

A mes frères (Faouzi et Fahem) ;

A ma sœur (Wissam) ;

A toute ma famille ;

A Tous mes amis.

Hamitouche Fouad



Liste des figures

Figure 1 : Déchets inertes : gravats issus de démolition	4
Figure 2 : Les déchets toxiques.....	5
Figure 3 : Les déchets industriels.....	6
Figure 4 : Les déchets hospitaliers.	7
Figure 5 : Le recyclage.	12
Figure 6 : Les déchets verts.	17
Figure 7 : Les déchets ménagers.	18
Figure 8 : Représentation schématique du processus de compostage.....	24
Figure 9 : Schéma de la méthanisation.....	26
Figure 10 : Les étapes de la méthanisation.....	27
Figure 11 : Processus de gazéification.....	28

Liste des tableaux

Tableau 1 : Paramètres de compostage des déchets organiques domestiques	35
Tableau 2 : Paramètres de compostage de résidus de mangues.....	36

Table des matières

Introduction générale.....	1
I CHAPITRE I : Généralité sur les déchets	2
I.1 Introduction.....	2
I.2 Définition des déchets	2
I.3 Critère de classification	3
I.3.1 Les déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux	3
I.3.2 Les déchets ménagers et assimilés	3
I.3.3 Les déchets inertes	3
I.3.4 Nature du déchet	4
I.3.5 Mode de traitement.....	4
I.3.6 Le comportement et les effets sur l'environnement.....	5
I.3.7 Selon l'origine	5
I.3.8 Le mode d'enlèvement des déchets	6
I.4 Impacts des déchets	7
I.4.1 Impact des déchets sur l'environnement	7
I.4.2 Impacts des déchets sur la santé.....	9
I.4.3 Impact sur l'économie	9
I.5 Gestion des déchets	10
I.5.1 Prévention	10
I.5.2 La collecte des déchets	11
I.5.3 Traitement	11
I.5.4 Réutilisation	11
I.5.5 Valorisation	11
I.5.6 Elimination.....	11
I.5.7 Producteur de déchets.....	12
I.5.8 Recyclage.....	12

I.5.9	Compostage	13
I.6	Production des déchets en Algérie	13
II	CHAPITRE II : Valorisation des déchets organiques.....	15
II.1	Introduction.....	15
II.2	Définition	16
II.3	Les types des déchets organiques.....	16
II.3.1	Les boues de station d'épuration.....	16
II.3.2	Les déchets verts	16
II.3.3	Les déchets ménagers	17
II.3.4	Les déchets agro-alimentaires.....	18
II.4	Les propriétés et la composition des déchets organiques	19
II.4.1	Les propriétés des déchets organiques	19
II.4.2	La composition des déchets organiques	19
II.5	Les enjeux de la valorisation des déchets organiques	20
II.5.1	Réduction des émissions de gaz à effet de serre	20
II.5.2	Préservation des ressources naturelles	21
II.5.3	Création d'emplois locaux	21
II.5.4	L'économie d'énergie	22
II.6	Les techniques de valorisation des déchets organiques.....	22
II.6.1	Le compostage	22
II.6.2	La méthanisation	25
II.6.3	La pyrolyse	27
II.6.4	La gazéification.....	27
II.6.5	La fermentation.....	28
II.7	Les applications de la valorisation des déchets organiques.....	29
II.7.1	L'utilisation du compost comme fertilisant des sols :	29
II.7.2	La valorisation énergétique des déchets organiques	30

II.7.3	La valorisation des déchets organiques en industrie	30
II.8	Les limites et contraintes de la valorisation des déchets organiques	31
II.8.1	Les coûts économiques et financiers	31
II.8.2	Les contraintes techniques et logistiques.....	32
II.8.3	Les obstacles réglementaires	33
III	CHAPITRE III : Analyse de deux cas d'étude sur le compostage de déchets organiques.....	34
III.1	Introduction	34
III.2	Analyse comparative entre les deux études et présentation des deux études	35
III.3	Discussion	37
III.4	Comparaison entre les deux études.....	40
	Conclusion et recommandation	42
	Références bibliographiques.....	44
	Résumé	

Introduction générale

La gestion des déchets est l'une des questions environnementales les plus préoccupantes au monde vu le danger majeur de ces derniers sur la santé de l'homme, des êtres vivants et des écosystèmes (**Vaillancourt, *et al.*, 1994**)

La politique environnementale mise en place à l'échelle globale et locale vise principalement une gestion écologique des déchets en mettant l'accent sur deux aspects importants. D'une part, il s'agit de réduire à la source la quantité de déchets produits et leur nocivité et, d'autre part, de favoriser l'utilisation de techniques de recyclage et de valorisation, ceci dans l'objectif de minimiser au plus possible l'impact sur l'environnement (**Chaoui, *et al.*, 2018**).

Parmi tous les types de déchets générés par les activités humaines, les déchets organiques représentent une proportion importante, ce qui milite en faveur de leur valorisation en tant que ressources matérielles.

Afin de comprendre l'importance de la valorisation des déchets organiques et leur impact sur l'environnement, nous avons réalisé un travail de recherche basé sur l'analyse bibliographique sur la thématique. Le but de ce travail est de recueillir suffisamment de connaissances sur les opportunités de valorisation adoptées dans le monde et au niveau local nous permettant de situer les avancées et les lacunes persistants dans ce domaine.

Pour ce faire, une synthèse bibliographique a été réalisée et appuyée par l'analyse de deux cas concrets d'études expérimentales traitant du compostage de résidus organiques. Ainsi, ce mémoire est organisé en chapitres ; le premier fait une synthèse de généralités sur les déchets d'une manière générale, le deuxième concerne la valorisation des déchets organique et le troisième et dernier chapitre est consacré à une analyse et discussion comparative entre deux cas d'études traitant du suivi du procédé du compostage de résidus organiques.

CHAPITRE I : Généralité sur les déchets

I.1 Introduction

Les déchets sont des substances, matériaux ou produits qui ne sont plus utiles et qui sont généralement jetés ou éliminés. Ils peuvent être d'origine domestique, industrielle, agricole ou médicale, et peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine s'ils ne sont pas gérés correctement (**Alain, 2016**).

La gestion des déchets est un enjeu majeur dans le monde entier. Les déchets doivent être collectés, triés, recyclés, compostés ou éliminés de manière appropriée pour éviter la pollution de l'air, de l'eau et des sols. La gestion des déchets est également importante pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui contribuent au changement climatique (**Misra, et al., 2005**).

Il est donc crucial que les gouvernements, les entreprises et les individus prennent des mesures pour réduire la quantité de déchets produite et améliorer la gestion des déchets. Cela peut inclure la mise en place de programmes de recyclage, la réduction de l'emballage, l'utilisation de produits durables et la sensibilisation du public aux problèmes liés aux déchets (**Alain, 2016**).

I.2 Définition des déchets

Il y a des définitions très variées des déchets selon le point de vue de chaque acteur dans l'itinéraire des déchets (collecteur, entrepreneur, citoyen...etc.) et selon la discipline envisagée (environnement, écologie, économie...etc.).

Les déchets sont des matériaux, substances ou produits dont on se débarrasse ou dont on souhaite se débarrasser, car ils sont considérés comme inutiles, indésirables ou dangereux. Ils peuvent être solides, liquides ou gazeux et proviennent généralement des activités humaines, telles que la consommation, la production industrielle, l'agriculture, la construction, etc. La gestion appropriée des déchets implique leur collecte, leur traitement et leur élimination de manière sûre et respectueuse de l'environnement (**Alain, 2016**).

Selon la loi algérienne relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets (**Loi n° 01-19 du 12/12/2001, article 3**), les déchets sont définis comme étant « tous résidus d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a obligation de se défaire ou de l'éliminer ». Ainsi, les déchets

apparaissent comme des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses. La définition du dictionnaire de l'académie française indique qu'un déchet est « une diminution, une perte qu'une chose éprouve dans sa substance, dans sa valeur ou dans quelques-unes de ses qualités ».

I.3 Critère de classification

Au vu de la diversité importante des types de déchets et la nécessité de les gérer différemment suivant leurs spécificités, une classification en catégories semblables s'avère très utile, voire nécessaire. Pour les besoins de leur meilleure gestion, il semble plus convenable de se référer à la classification règlementaire et donc opérationnelle.

Ainsi, selon l'article 5 de la loi 01-19 citée précédemment, les déchets sont classés en trois grandes catégories ; les déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux, les déchets ménagers et assimilés et en fin, les déchets inertes.

I.3.1 Les déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux

- **Les déchets spéciaux** : Tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.

- **Les spéciaux dangereux** : Tous déchets spéciaux qui par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement.

I.3.2 Les déchets ménagers et assimilés

Tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres qui, par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers.

I.3.3 Les déchets inertes

Tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement (**Figure 1**).



Figure 1 : Déchets inertes : gravats issus de démolition (Kroun, 2021).

Suivant d'autres classifications non réglementaires, les déchets peuvent être classés selon plusieurs critères, comme cela a été rapporté dans la synthèse de (Ben Silette et Mahdid, 2017).

I.3.4 Nature du déchet

La classification des déchets d'après leur nature aboutit à trois catégories essentielles : déchets solides, déchets liquides et déchets gazeux. Dans ce qui suit, il ne sera considéré que les déchets solides et semi-solides étant donné le contexte et l'objet de l'étude

I.3.5 Mode de traitement

Les professionnels et les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets en quatre grandes familles,

- **Les déchets inertes** : composés déblais, gravats, matériaux de démolition produit par les entreprises de travaux publics.
- **Les déchets banals** : regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastiques, cartons, bois produit par des activités industrielles ou commerciales et ordures ménagères.
- **Les déchets spéciaux** : ils peuvent contenir des éléments polluants et sont spécifiquement issus de l'activité industrielles (boues de peintures ou d'hydroxyde métallique, cendre d'incinération...etc.).
- **Les déchets dangereux** : issus de la famille des déchets spéciaux, ils contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et présentent de ce fait beaucoup plus de risques pour les milieux naturels.

I.3.6 Le comportement et les effets sur l'environnement

- **Les déchets inertes** : ce sont les déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Enfin, ils ne détériorent pas d'autres matières en contact de manière préjudiciable à l'environnement ou à la santé humaine.
- **Les déchets fermentescibles** : constitués par la matière organique, animale ou végétale à différents stades de fermentation aérobies ou anaérobies.
- **Les déchets toxiques** : poisons chimiques ou radioactifs qui sont générés, soit par des industries, soit par des laboratoires, ou tout simplement par des particuliers qui se débarrassent avec leurs ordures de certains résidus qui devraient être récupérés séparément (ex : flacons de médicaments, seringues, piles et autres gadgets électroniques ...etc.).(Figure 2).



Figure 2 : Les déchets toxiques (Massa, 2020).

I.3.7 Selon l'origine

Selon (Ropero Portillo, 2022), on distingue les déchets industriels et les déchets urbains.

I.3.7.1 Les déchets industriels :

Hormis les résidus assimilables aux ordures ménagères, tant par leur nature que par leur volume modeste, on distingue dans cette classe :

- Les déchets inertes provenant de chantiers de construction, transformation des combustibles et de l'énergie (gravats, cendres, ...etc.), métallurgie (scories, laitiers, mâchefers, ...etc.).
- Les déchets des industries agricoles et alimentaires ;

– Les déchets pouvant contenir des substances toxiques par des industries variables (ex. : ateliers artisanaux, galvanoplastie, chromage, miroiterie...etc.).

- Les déchets radioactifs issus du transport et de la destruction des déchets industriels posent des problèmes particuliers dont la solution - consentie ou imposée - devra être à la charge des industries polluantes avec si besoin une aide appropriée des gouvernements. **(Figure 3).**



Figure 3 : Les déchets industriels(Ropero Portillo, 2022).

I.3.7.2 Les déchets urbains

Les déchets urbains désignent les déchets produits par les activités humaines dans les zones urbaines, tels que les déchets ménagers, commerciaux et industriels. Ces déchets comprennent généralement des déchets solides, liquides et organiques. Ils doivent être gérés de manière appropriée pour éviter les problèmes environnementaux et sanitaires. Cela peut inclure la collecte, le tri, le recyclage, la compostage et l'élimination sûre des déchets. De nombreuses villes mettent en place des programmes de gestion des déchets pour réduire, réutiliser et recycler les déchets afin de minimiser leur impact sur l'environnement. **(Adepoju, 2001).**

I.3.8 Le mode d'enlèvement des déchets

On distingue quatre catégories **(Biadillah, 2004) et (Hamzaoui, 2011) :**

- Les déchets constitués par des éléments de faible dimension (ordures ménagères, ordures de marché, déchets artisanaux et commerciaux assimilables aux ordures ménagères.

- Les déchets hospitaliers, également appelés déchets médicaux, sont des déchets générés par les établissements de santé tels que les hôpitaux, les cliniques et les laboratoires médicaux. Ils peuvent inclure des matériaux contaminés tels que des aiguilles, des seringues, des produits chimiques, des produits pharmaceutiques périmés, des équipements médicaux usagés, des tissus biologiques et des produits sanguins.
- Les déchets encombrant appelés aussi « monstre » constitués par des objets volumineux qui ont été réformés et mis au rebut.
- Les souillures qui proviennent du nettoyage et du balayage des voies publiques (feuilles, branchages, déchets des plages, ...etc.) (**Figure 4**).



Figure 4 : Les déchets hospitaliers (Takoulev, 2018).

I.4 Impacts des déchets

Parmi les conséquences de notre mode de vie, la production des déchets qui ne cessent de croître en quantité, en complexité, voire en nocivité. Ils représentent un risque majeur, car éliminés sans précaution, ils risquent non seulement de dégrader le paysage, mais aussi de toucher la santé humaine et l'environnement.

I.4.1 Impact des déchets sur l'environnement

L'Environnement préoccupe de plus en plus les habitants de cette planète. Après plus d'un siècle de forte industrialisation et de consommation excessive, tout le monde ressent les conséquences des dépotoirs encombrés, des lieux contaminés ainsi que de l'air et de l'eau pollués.

De nos jours, l'utilisation intensive et abusive des ressources et le rejet des déchets dans l'environnement contribuent à détériorer notre milieu. Ce changement a un impact sur la

société, la santé humaine, l'économie, les espèces vivantes, la production alimentaire, le tourisme et l'écologie. Les déchets générés par l'homme mènent à la pollution de notre planète. Avec le progrès de la technologie, la quantité de déchets a augmenté à grande vitesse. A cause de la surconsommation des ressources, on cherche divers moyens afin de recycler les déchets (**Dorbane, 2004**). Il y a des moyens auxquels on a recours comme les décharges, l'incinération ou le stockage afin de tenir front à cette situation qui est la pollution.

Ce problème est devenu mondial, car avec les progrès et le développement de la technologie, la quantité des déchets augmente chaque année à une vitesse exponentielle. L'impact négatif des déchets se voit en trois types de pollution de l'environnement :

a) Pollution de l'eau :

La pollution de l'eau peut être provoquée par la dispersion des déchets ou leurs éliminations d'une façon anarchique et elle peut être à l'origine de maladies à transmission hydrique (cholera, typhoïde, etc.). Les rejets contaminent aussi les eaux souterraines, source d'approvisionnement en eau potable, par l'infiltration des lixiviats lors du lessivage des dépôts de déchets par les eaux des pluies (**Dorbane, 2004**).

La pollution des nappes phréatique et aggravée par la lente percolation dans celle-ci de nombreuses contaminations provenant de décharges industrielles (**Ramade, 2005**).

b) Pollution de l'air :

On considère que l'air est pollué quand il contient des substances qui n'entrent pas dans sa composition naturelle de base et qui peuvent entraîner des nuisances plus ou moins graves (**Desachy, 2001**).

La décomposition naturelle des déchets entraîne des sous-produits et de nombreux types d'émissions tel que le méthane (CH₄), le dioxyde de carbone (CO₂), l'hydrogène (H₂), l'ammoniaque (NH₂), les chloro-fluro-carbone (CFC). La concentration de ces gaz dans l'atmosphère engendre des effets irréversibles et dangereux tel que l'effet de serre, les pluies acides, etc. (**Dorbane, 2004**).

c) Pollution du sol :

Selon (**Dib, 2021**), la pollution du sol causée par les déchets à des impacts significatifs sur l'environnement et la santé. Les déchets mal gérés peuvent contaminer les sols en introduisant des substances toxiques, telles que des produits chimiques dangereux ou des métaux lourds. Cette contamination peut compromettre la fertilité du sol, entraînant une

diminution de la productivité agricole et des problèmes de sécurité alimentaire. De plus, la pollution du sol peut contaminer les sources d'eau souterraine, ce qui affecte la qualité de l'eau potable et les écosystèmes aquatiques. Les substances toxiques présentes dans le sol peuvent également être absorbées par les plantes, entrant ainsi dans la chaîne alimentaire humaine. Cela peut entraîner des problèmes de santé tels que des maladies respiratoires, des cancers et des troubles neurologiques. Il est crucial de mettre en place une gestion adéquate des déchets pour minimiser la pollution du sol, protéger la santé publique et préserver l'environnement. Cela comprend des pratiques de recyclage, de traitement des déchets dangereux et de réglementations strictes en matière de gestion des déchets.

I.4.2 Impacts des déchets sur la santé

Les déchets peuvent avoir de nombreux impacts sur la santé humaine. La mauvaise gestion des déchets peut contribuer à la propagation de maladies infectieuses, car les déchets non traités peuvent être des sources d'agents pathogènes. Les déchets médicaux non correctement éliminés peuvent contenir des microbes dangereux et augmenter les risques d'infections. De plus, la pollution de l'air causée par l'incinération de déchets ou les émissions industrielles peut entraîner des problèmes respiratoires tels que l'asthme, les allergies et les maladies pulmonaires. Certains déchets contiennent des produits chimiques toxiques qui peuvent être nocifs pour la santé humaine. L'exposition à ces produits chimiques peut entraîner des problèmes de développement, des maladies chroniques et des cancers. Il est donc crucial de gérer les déchets de manière responsable en favorisant le recyclage, le traitement approprié des déchets dangereux et la sensibilisation à l'élimination sécuritaire des déchets afin de réduire les risques pour la santé associée aux déchets (Nkula Nsindu *et al.*, 2023).

I.4.3 Impact sur l'économie

Les déchets ont des impacts économiques significatifs. La gestion inadéquate des déchets implique des coûts élevés pour leur collecte, leur transport, leur traitement et leur élimination. Les budgets consacrés à la gestion des déchets peuvent représenter une charge financière importante pour les municipalités, les entreprises et les gouvernements.

Tel que rapporté par (Yefsah, 2017), les déchets représentent une perte de ressources potentielles. Les matériaux recyclables et réutilisables présents dans les déchets pourraient être valorisés économiquement. Leur élimination sans récupération entraîne donc une perte de valeur économique. En mettant en place des systèmes de gestion des déchets efficaces, tels

que le recyclage et la valorisation des déchets, il est possible de créer de nouvelles opportunités économiques et de réduire cette perte de ressources.

I.5 Gestion des déchets

Au sens de la loi algérienne (**Loi n° 01-19 du 12/12/2001**), la gestion des déchets est « 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 réduction à la source, la réutilisation, le recyclage, la valorisation et l'élimination, doivent être privilégiés dans cet ordre dans le domaine de la gestion des déchets.

I.5.1 Prévention

La prévention des déchets fait référence à l'ensemble des mesures prises pour réduire la quantité de déchets produits dès le départ, en minimisant la génération de déchets à la source. Cela implique d'adopter des pratiques et des comportements visant à éviter la création de déchets inutiles ou indésirables. La prévention des déchets peut prendre différentes formes, telles que :

- Réduction à la source : Il s'agit de limiter la quantité de déchets générés en adoptant des pratiques d'achat plus réfléchies, en favorisant les produits durables et en évitant les produits sur emballés ou jetables.
- Réutilisation : Plutôt que de jeter des objets ou matériaux, la réutilisation consiste à leur donner une seconde vie en les utilisant à nouveau, en les prêtant ou en les donnant à d'autres personnes.
- Pratiques de gestion durable : L'adoption de pratiques de gestion des ressources plus efficaces, telles que la mise en place de compostage pour les déchets organiques ou l'utilisation de méthodes d'impression recto verso, contribue à réduire la quantité de déchets générés.
- Sensibilisation et éducation : Informer et sensibiliser le public sur les enjeux liés aux déchets et encourager des comportements respectueux de l'environnement est également une composante importante de la prévention des déchets.

La prévention des déchets vise à créer une société plus durable, en réduisant les impacts environnementaux associés à la production et à l'élimination des déchets, en préservant les ressources naturelles et en favorisant une économie circulaire (**Dupre, 2009**).

I.5.2 La collecte des déchets

La collecte des déchets est l'opération de ramassage et/ou, le regroupement des déchets en vue de le transférer vers un lieu de traitement.

I.5.3 Traitement

Toute opération de valorisation ou d'élimination, y compris la préparation qui précède la valorisation ou l'élimination (**Belaib, 2012**).

I.5.4 Réutilisation

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau (**Bouزيد et Boucetta, 2018**).

I.5.5 Valorisation

La valorisation des déchets est une approche essentielle pour tirer parti des ressources contenues dans les déchets et réduire leur impact environnemental. Elle offre plusieurs avantages. Tout d'abord, la valorisation énergétique permet de convertir certains déchets en énergie sous forme de chaleur ou d'électricité, contribuant ainsi à la production d'énergie renouvelable. Ensuite, le recyclage permet de récupérer et de réutiliser des matériaux précieux, ce qui réduit la dépendance aux ressources vierges et diminue les émissions de gaz à effet de serre liées à leur extraction et leur production. De plus, le compostage des déchets organiques permet de produire un amendement organique naturel qui améliore la fertilité des sols et favorise une agriculture plus durable. La valorisation matière transforme certains déchets en matières premières secondaires, réduisant ainsi la nécessité d'extraire davantage de ressources naturelles. En somme, la valorisation des déchets représente une approche stratégique pour réduire les déchets, préserver les ressources et contribuer à une économie circulaire plus durable (**Nouri et Ait Habouche, 2019**).

I.5.6 Elimination

Toute opération qui n'est pas de la valorisation même lorsque ladite opération a comme conséquence secondaire la récupération de substances, matières ou produits ou d'énergie. Autrement dit, l'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous les autres produits dans des conditions propres (**Bouزيد et Boucetta, 2018**).

I.5.7 Producteur de déchets

Toute personne dont l'activité produit des déchets (producteur initial de déchet) ou toute personne qui effectue des opérations de traitement des déchets conduisant à un changement de la nature ou de la composition de ces déchets (producteur subséquent de déchets) (**Bouزيد et Boucetta, 2018**).

I.5.8 Recyclage

Le recyclage des déchets est un processus essentiel pour réduire la quantité de déchets envoyés en décharge et préserver les ressources naturelles. Il permet de donner une nouvelle vie aux matériaux usagés en les transformant en de nouveaux produits. La première étape consiste à collecter sélectivement les déchets recyclables, tels que le papier, le plastique, le verre et le métal. Ensuite, ces matériaux sont triés et traités afin de les préparer au recyclage. Une fois transformés, ils servent de matières premières pour fabriquer de nouveaux produits, contribuant ainsi à économiser de l'énergie et à réduire la demande de ressources vierges. Le recyclage des déchets est un geste concret que chacun peut poser pour préserver l'environnement et favoriser une économie circulaire (**Houot et al., 2016**).

Pour qu'un déchet garde son statut il doit porter les critères qui sont les suivants :

- Un déchet cesse d'en être un après avoir été traité dans une installation adaptée et avoir subi une opération de valorisation, de recyclage ou de préparation en vue de la réutilisation.
- Un marché ou une demande doit être identifié pour la matière qui en résulte.
- Cette matière doit respecter la législation et les normes applicables aux produits.
- Son utilisation ne doit pas avoir d'effets nocifs pour l'environnement ou la santé humaine. (**Figure 5**).



Figure 5 : Le recyclage (**Gamberini, 2016**).

I.5.9 Compostage

Le compostage des déchets est un processus naturel de décomposition des matières organiques pour produire du compost, un amendement organique riche en nutriments. Cela permet de réduire les déchets, de produire un engrais naturel de qualité, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, d'économiser de l'argent et d'encourager une gestion responsable des déchets. Le compostage peut être réalisé à petite ou grande échelle et offre une solution écologique pour valoriser les déchets organiques.

Le compostage peut être réalisé à petite échelle, dans les jardins domestiques, ou à plus grande échelle, dans des installations de compostage municipales ou commerciales. Il existe différentes techniques de compostage, telles que le compostage en tas, en bac ou en lombricompostage, adaptées à différents contextes et besoins.

En résumé, le compostage des déchets organiques offre une solution écologique et économique pour réduire les déchets, produire du compost de qualité et contribuer à la préservation de l'environnement (**Debril, 2005**).

I.6 Production des déchets en Algérie

Selon les données de l' (Agence Nationale des Déchets, 2021), la quantité de déchets produite en Algérie pour l'année 2020, est estimée à 13,5 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés et 13 millions de tonnes de déchets inertes. Pour le cas des déchets spéciaux, la quantité globale estimée pour la même année 2020 est de 1 175 585 tonnes répartis comme suit ; 15066 tonnes de déchets d'activité de soins (DASRI), 469 332 d'huiles alimentaires, 214629 tonnes d'huiles industrielles, 351035 tonnes de pneus usagés, 76326 tonnes de batteries usagées, 13057 de filtres à l'huile usagés, 36140 tonnes de déchets d'équipements électriques et électroniques.

Pour le cas des déchets ménagers et assimilés, de nature organique, seulement 6 millions de tonnes ont été admis pour l'enfouissement, ce qui démontre que la plus grande partie représente un gisement important à valoriser.

En conclusion à ce chapitre, la gestion des déchets est un défi majeur auquel nous sommes confrontés dans notre société moderne. La quantité croissante de déchets générés et les conséquences environnementales qui en découlent exigent une approche proactive et durable.

Il est essentiel d'adopter des stratégies de réduction, de recyclage, de valorisation et de réutilisation des déchets pour minimiser leur impact sur l'environnement. La réduction à la

source, la collecte sélective, le recyclage efficace et les technologies de traitement avancées sont des éléments clés de la gestion des déchets.

En plus de ces approches techniques, il est également crucial de sensibiliser et d'éduquer la population sur l'importance de réduire les déchets, de promouvoir des comportements écoresponsables et de favoriser l'adoption de modes de vie durables.

La gestion responsable des déchets permet de préserver les ressources naturelles, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de protéger les écosystèmes et de promouvoir une économie circulaire. Cela nécessite la collaboration de tous les acteurs, y compris les gouvernements, les entreprises, les communautés et les individus, pour créer un avenir plus propre et plus durable.

CHAPITRE II :

Valorisation des déchets organiques

II.1 Introduction

La valorisation des déchets organiques est une pratique qui consiste à transformer les déchets d'origine biologique en ressources utiles, comme l'énergie, le compost, les produits chimiques ou les matériaux. Elle permet de réduire la quantité de déchets envoyés dans les sites d'enfouissement et contribue à la transition vers une économie circulaire plus durable (**Jarousseau *et al.*, 2000**).

Les déchets organiques, tels que les résidus alimentaires, les déchets verts et les boues d'épuration, représentent une part importante des déchets produits par les ménages, les entreprises et les collectivités. Au lieu d'être simplement éliminés, ces déchets peuvent être valorisés pour produire de l'énergie renouvelable, enrichir les sols en nutriments ou servir de matières premières pour l'industrie (**Slimani, 2022**).

La valorisation des déchets organiques est une pratique largement adoptée dans de nombreux pays, avec des technologies telles que la méthanisation, le compostage, la pyrolyse et la gazéification. Cependant, elle comporte également des défis, tels que les coûts économiques et financiers, les contraintes techniques et logistiques, les obstacles réglementaires et les problèmes liés à la qualité et à la sécurité des produits finaux (**Moletta, 2011**).

Dans l'ensemble, la valorisation des déchets organiques est un domaine en constante évolution, avec un potentiel énorme pour contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à la sécurité alimentaire, à la création d'emplois verts et à la transition vers une économie circulaire plus durable.

II.2 Définition

Les déchets organiques sont des déchets d'origine biologique qui sont issus d'êtres vivants ou de matières organiques telles que les fruits, les légumes, les restes de repas, les feuilles, les branches, le papier, le carton, les tissus et autres matériaux naturels. Ces déchets se décomposent naturellement avec le temps grâce à l'action de micro-organismes tels que les bactéries, les champignons et les vers de terre, et sont souvent utilisés comme compost pour enrichir les sols ou comme source d'énergie pour produire du biogaz. La gestion efficace des déchets organiques est essentielle pour réduire la quantité de déchets envoyés dans les décharges, réduire les émissions de gaz à effet de serre et encourager la durabilité environnementale (**Lacour, 2012**).

II.3 Les types des déchets organiques

Il existe plusieurs types de déchets organiques, notamment :

II.3.1 Les boues de station d'épuration

Les boues de station d'épuration sont des résidus solides qui résultent du traitement des eaux usées dans les stations d'épuration. Elles contiennent des matières organiques, des micro-organismes, des sels minéraux et des graisses provenant des eaux usées. Les boues de station d'épuration sont considérées comme des déchets organiques car elles contiennent principalement des matières organiques (**Siboukeur, 2010**).

Les boues de station d'épuration peuvent être traitées de différentes manières pour les valoriser, par exemple par méthanisation pour produire du biogaz, ou par compostage pour obtenir un engrais organique riche en nutriments pour les sols. La gestion efficace des boues de station d'épuration est essentielle pour réduire la quantité de déchets envoyés en décharge, pour produire de l'énergie renouvelable, pour recycler les nutriments et pour contribuer à la durabilité environnementale. Toutefois, il est important de prendre en compte les aspects sanitaires, environnementaux et réglementaires pour leur gestion appropriée et sûre (**Siboukeur, 2010**).

II.3.2 Les déchets verts

Les déchets verts sont les déchets organiques des jardins, des espaces verts et des parcs de la ville. Ils se composent de matériel végétal tel que des feuilles, des brindilles, des herbes, des tontes de gazon, des boutures d'arbustes et des débris végétaux. Ces déchets verts peuvent être compostés pour créer un conditionneur de sol organique riche en nutriments, ou

pulvérisés et utilisés comme paillis pour protéger les plantes des mauvaises herbes et de la sécheresse.

La gestion efficace des déchets verts est importante pour réduire leur quantité envoyée en décharge, pour produire de l'énergie renouvelable, pour préserver l'environnement et pour recycler les nutriments. Cependant, il est important de prendre en compte les aspects réglementaires, environnementaux et sanitaires pour leur gestion appropriée et sûre. Par exemple, il est important de ne pas brûler les déchets verts, car cela peut générer des émissions polluantes et nuire à la qualité de l'air (Albrecht, 2007) (Figure 6).



Figure 6 : Les déchets verts (Isabelle, 2021).

II.3.3 Les déchets ménagers

Les déchets ménagers sont les déchets produits par les ménages et les habitants d'un territoire. Ils peuvent être constitués de matières organiques (restes alimentaires, épluchures, déchets de jardinage), de matières recyclables (papier, carton, verre, plastique, métal), de déchets dangereux (piles, batteries, médicaments, produits toxiques), de déchets volumineux (meubles, appareils électroniques) ou de déchets inertes (gravats, déchets de construction) (LeBoezc *et al.*, 2012) (Figure 7).



Figure 7 : Les déchets ménagers (Arnaud, 2023).

Ces déchets peuvent être séparés en deux sous catégories (Albrecht, 2007) :

- La fraction résiduelle des déchets ménagers obtenue après séparation des papiers, cartons, verres et emballages. Elle est également désignée par le terme « ordures ménagères grises » du fait de la couleur des utilisées des bacs par les collectivités qui pratiquent ce type de collecte sélective.

- La fraction fermentescible (putrescible) des ordures ménagères : déchets organiques biodégradables, ou bio déchets (déchets de cuisine, fleurs, etc.), récupérés lors de collecte sélectives visant à les isoler des autres composés non putrescibles. Les déchets verts des jardins des particuliers sont souvent collectés avec cette fraction ainsi que les déchets de marchés.

II.3.4 Les déchets agro-alimentaires

Les déchets agro-alimentaires, également appelés déchets alimentaires, sont les résidus générés tout au long de la chaîne d'approvisionnement alimentaire, depuis la production agricole jusqu'à la consommation finale. Ils comprennent les restes de nourriture non consommés, les produits périmés, les sous-produits de transformation alimentaire, les épiluchures, les coquilles d'œufs, les os, etc. (Moletta, 2009).

Suivant ce même auteur, les déchets agro-alimentaires posent un problème environnemental majeur. Lorsqu'ils sont jetés dans les décharges, ils se décomposent et produisent du méthane, un puissant gaz à effet de serre qui contribue au changement

climatique. De plus, les ressources utilisées pour produire ces aliments, comme l'eau, l'énergie et les terres agricoles, sont également gaspillées.

Pour réduire les déchets agro-alimentaires, plusieurs approches peuvent être adoptées. Tout d'abord, il est important de mettre en place des pratiques agricoles durables, telles que la gestion des résidus de culture et des engrais, pour minimiser les pertes et les déchets dès la phase de production. Ensuite, il est essentiel de favoriser une meilleure planification de la production et de la distribution alimentaire, en évitant les surstocks et les pertes pendant le transport et le stockage. De plus, la sensibilisation des consommateurs à la réduction du gaspillage alimentaire et à l'utilisation des aliments de manière responsable est essentielle.

II.4 Les propriétés et la composition des déchets organiques

II.4.1 Les propriétés des déchets organiques

D'après (Albrecht, 2007), on distingue les propriétés suivantes :

- **Décomposition rapide** : Les déchets organiques se décomposent rapidement et naturellement en présence de micro-organismes, d'humidité et d'oxygène.
- **Matière nutritive** : Les déchets organiques sont riches en nutriments tels que l'azote, le phosphore et le potassium, qui sont essentiels à la croissance des plantes.
- **Faible densité** : Les déchets organiques ont une densité relativement faible, ce qui signifie qu'ils occupent beaucoup d'espace mais ont un poids relativement faible.
- **Potentiel de production de gaz** : Lorsque les déchets organiques se décomposent sans oxygène, ils produisent du méthane, un gaz à effet de serre puissant qui contribue au changement climatique.
- **Source de pollution** : Les déchets organiques peuvent être une source de pollution s'ils sont mal gérés. Par exemple, s'ils sont jetés dans des décharges ou brûlés, ils peuvent produire des émissions nocives pour la santé et l'environnement.
- **Possibilité de compostage** : Les déchets organiques peuvent être compostés pour produire un engrais naturel qui peut être utilisé pour fertiliser les sols et les jardins.

II.4.2 La composition des déchets organiques

Les déchets organiques sont composés principalement de matières d'origine végétale ou animale, telles que des restes de fruits et légumes, des déchets alimentaires, des feuilles mortes, des tontes de gazon, des branchages, des résidus de jardinage, des fumiers et des lisiers, etc. (N'guessan *et al.*, 2011).

Suivant cette même source, la composition exacte des déchets organiques peut varier considérablement en fonction de leur origine, de leur âge et de leur état de décomposition. Cependant, voici quelques éléments qui peuvent être présents dans les déchets organiques :

- Eau (environ 60-80%)
- Carbone (environ 30-50%)
- Azote (environ 1-5%)
- Phosphore (environ 0,1-0,5%)
- Potassium (environ 0,5-2%)

D'autres éléments tels que le soufre, le calcium, le magnésium, le fer, le cuivre, le zinc, le manganèse et le bore peuvent également être présents en quantités variables. Il est important de noter que la composition des déchets organiques peut également être influencée par les pratiques agricoles, les types de cultures, les types d'aliments consommés par les animaux, les processus de transformation des aliments, etc.

II.5 Les enjeux de la valorisation des déchets organiques

La valorisation des déchets organiques est un enjeu majeur pour la protection de l'environnement et la lutte contre le changement climatique. En effet, les déchets organiques tels que les restes de nourriture, les feuilles mortes et les déchets de jardin sont responsables de l'émission de gaz à effet de serre lorsqu'ils sont stockés dans les décharges. De plus, leur décomposition produit du méthane, un gaz ayant un impact sur le réchauffement climatique plus important que le CO₂.

II.5.1 Réduction des émissions de gaz à effet de serre

La valorisation des déchets organiques est une solution importante pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. En effet, les déchets organiques qui sont jetés dans les décharges se décomposent lentement et émettent du méthane, un gaz à effet de serre très puissant. Le méthane est environ 25 fois plus nocif que le dioxyde de carbone (CO₂) en termes de réchauffement climatique (**Cansell et Moletta ., 2003**).

En valorisant les déchets organiques, nous pouvons réduire la quantité de déchets envoyés aux décharges et donc diminuer la quantité de méthane produit. Le compostage des déchets organiques permet également de produire un engrais naturel riche en nutriments, qui peut être utilisé pour fertiliser les sols plutôt que d'utiliser des engrais chimiques.

La production de biogaz à partir des déchets organiques est une autre méthode de valorisation des déchets qui permet de réduire les émissions de GES. Le biogaz est principalement composé de méthane, qui peut être utilisé pour produire de l'électricité ou comme carburant pour les véhicules. En utilisant le biogaz comme source d'énergie renouvelable, nous pouvons réduire notre dépendance aux combustibles fossiles et donc réduire les émissions de GES associées à leur utilisation (**Cansell et Moletta ., 2003**).

En somme, la valorisation des déchets organiques est un enjeu crucial pour la réduction des émissions de GES et la lutte contre le changement climatique. En utilisant les déchets organiques pour produire du compost ou du biogaz, nous pouvons réduire les émissions de méthane des décharges, produire des fertilisants naturels et des sources d'énergie renouvelable.

II.5.2 Préservation des ressources naturelles

La valorisation des déchets organiques est également importante pour la préservation des ressources naturelles. En effet, les déchets organiques contiennent des nutriments précieux qui peuvent être réutilisés pour fertiliser les sols plutôt que d'utiliser des engrais chimiques. L'utilisation d'engrais chimiques peut entraîner une sur utilisation des sols, une dégradation de la qualité du sol et de l'eau, et une perte de biodiversité.

En valorisant les déchets organiques, nous pouvons produire du compost naturel, qui est riche en nutriments et favorise la croissance des plantes. Le compostage permet également de réduire la quantité de déchets envoyés aux décharges et donc de préserver les ressources naturelles en évitant l'utilisation de nouveaux matériaux pour la production d'engrais (**Queste, 2016**). De plus, la production de biogaz à partir des déchets organiques peut réduire la demande de combustibles fossiles pour la production d'énergie. Cela permet de préserver les ressources naturelles et de limiter les impacts environnementaux liés à l'exploitation des combustibles fossiles (**Queste, 2016**).

II.5.3 Création d'emplois locaux

La valorisation des déchets organiques peut également contribuer à la création d'emplois locaux. En effet, les activités liées à la collecte, au tri, au traitement et à la transformation des déchets organiques peuvent créer des emplois dans les secteurs de l'environnement, de l'agriculture, de l'industrie et des services.

Par exemple, la collecte séparée des déchets organiques peut nécessiter l'installation de nouveaux équipements et infrastructures de collecte, et la formation de nouveaux travailleurs pour effectuer la collecte et le tri des déchets. La transformation des déchets organiques en compost ou en biogaz peut nécessiter des travailleurs qualifiés pour gérer les installations de traitement. De plus, la production de compost peut soutenir le développement agricole local en fournissant des engrais naturels aux agriculteurs locaux, contribuant ainsi à créer des emplois dans le secteur. Ajoutant que cela encourage le développement de nouveaux produits et services à partir des matières premières récupérées à partir des déchets organiques (Louhab, 2020).

II.5.4 L'économie d'énergie

Au sens de (Cansell et Moletta ., 2003), la valorisation des déchets organiques peut contribuer à l'économie d'énergie de plusieurs manières, notamment en réduisant la quantité de déchets envoyés dans les sites d'enfouissement, en évitant l'utilisation d'engrais chimiques et en utilisant le biogaz comme source d'énergie renouvelable. Cela peut réduire la dépendance aux combustibles fossiles, réduire les émissions de gaz à effet de serre et contribuer à la transition vers une économie plus durable.

II.6 Les techniques de valorisation des déchets organiques

Il existe plusieurs techniques de valorisation des déchets organiques, notamment : le compostage, la méthanisation, la pyrolyse, la gazéification et la fermentation.

II.6.1 Le compostage

II.6.1.1 Définition

Le compostage est le processus naturel de décomposition des matières organiques telles que les déchets alimentaires, les feuilles mortes, les déchets de fruits et légumes et les tontes de gazon. Le processus de compostage consiste à créer un environnement propice à la décomposition de la matière organique en fournissant une ventilation adéquate, une humidité adéquate et des sources de carbone et d'azote (Misra *et al.*, 2005).

Selon ce même auteur, au cours du processus de compostage, des micro-organismes tels que des bactéries, des champignons et des insectes décomposent la matière organique pour créer un additif riche en nutriments appelé compost. Le compost est un engrais naturel qui peut être utilisé pour améliorer la qualité du sol et nourrir les plantes sans utiliser de produits chimiques. Ainsi, le compostage représente donc une méthode écologique de gestion des

déchets qui permet de réduire la quantité de déchets envoyés aux décharges, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de préserver les ressources naturelles en recyclant les nutriments dans le sol.

II.6.1.2 Principe du compostage

Le principe de compostage repose sur la décomposition naturelle des matières organiques en un amendement riche en nutriments appelé compost. Le processus de compostage se déroule en plusieurs étapes (**Debril, 2005**) :

- **Collecte des matières organiques** ; à l'aide de bacs à compost, de composteurs ou de bacs dédiés et peut être gérée au niveau des ménages ou par le gouvernement local, des coopératives ou des organisations communautaires. Pour maintenir la qualité de la compo, il est important de garder le bac exempt de matières non compostables.
- **Préparation du site de compostage**, pour fournir un environnement optimal à la décomposition des matières organiques. Le site doit être plat, bien drainé et exempt de débris et d'autres matériaux.
- **Mélange des matières organiques**, pour assurer une répartition uniforme des nutriments et une aération adéquate.
- **Aération**, pour fournir de l'oxygène aux micro-organismes qui décomposent les matières organiques, en retournant régulièrement le compost ou en utilisant des bacs de compostage avec une ventilation adéquate.
- **Humidification régulière**, pour maintenir les conditions optimales de décomposition. Le compost doit être suffisamment humide pour que les micro-organismes puissent se développer mais pas trop humide pour éviter les problèmes de pourriture.

A noter qu'en général, le processus de compostage peut prendre de quelques semaines à plusieurs mois. Le temps est donc nécessaire pour la décomposition des matières organiques en compost, qui dépend de nombreux facteurs, tels que la température, l'humidité, le rapport carbone-azote et l'aération. Une fois que le compost est formé, il peut être utilisé comme amendement pour améliorer la qualité du sol et nourrir les plantes sans utiliser de produits chimiques (**Figure 8**).

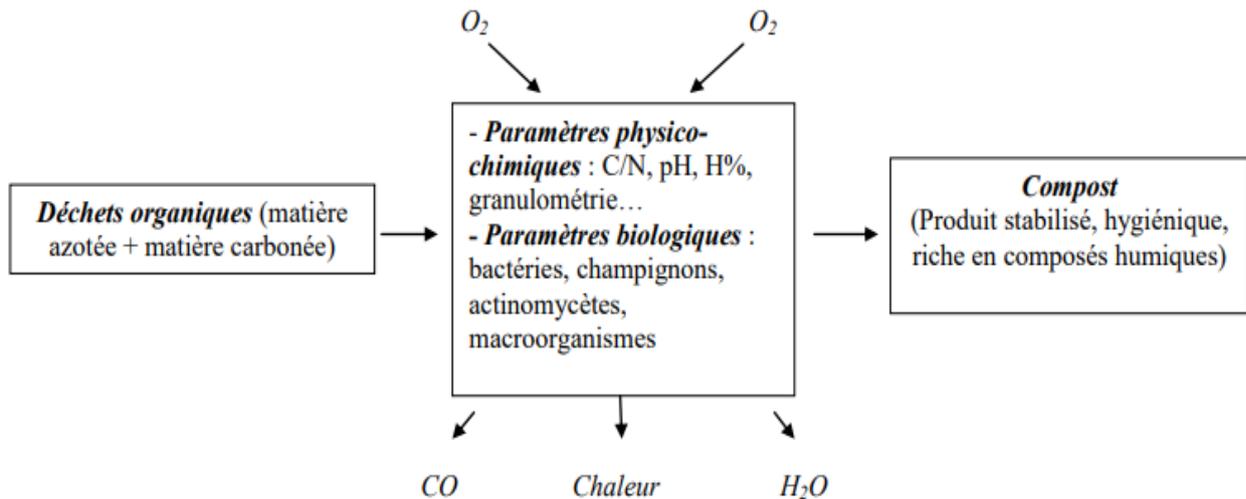


Figure 8 : Représentation schématique du processus de compostage (Slimani, 2022).

II.6.1.3 Avantages et inconvénients du compostage

II.6.1.3.1 Les avantages :

Le compostage présente de nombreux avantages pour l'environnement et la santé, notamment (Slimani, 2022) :

- Réduction de la quantité de déchets envoyés aux décharges, ce qui réduit l'impact environnemental de leur gestion.
- Production d'un amendement organique pour améliorer la qualité du sol et favoriser la croissance des plantes.
- Réduction de la pollution de l'eau et de l'air en évitant la libération de gaz à effet de serre et de substances toxiques qui se produisent lors de la décomposition des matières organiques dans les décharges.
- Économies financières en contribuant à réduire les coûts de collecte et de traitement des déchets pour les municipalités et les entreprises, tout en créant des emplois dans le domaine du compostage.
- Sensibilisation à la gestion des déchets et à l'importance de réduire, réutiliser et recycler les matières.
- Contribution à la sécurité alimentaire en utilisant du compost comme amendement organique garantissant l'amélioration de la qualité et la quantité de la production alimentaire.

II.6.1.3.2 Les inconvénients

Bien que le compostage présente de nombreux avantages, il existe également quelques inconvénients à prendre en considération, tels que (Lasnier, 2021):

- Odeurs désagréables produites quand les matières organiques ne sont pas correctement gérées, ce qui peut être un problème pour les zones résidentielles et urbaines.
- Risque de contamination des matières organiques par des produits chimiques ou des agents pathogènes, ce qui peut rendre le compost inutilisable ou dangereux pour la santé.
- Besoin de temps et d'efforts nécessaires pour la collecte et le traitement des matières organiques, ce qui peut être un défi pour certaines personnes.
- Besoin d'espace pour stocker les matières organiques et le compost, ce qui peut être un défi pour les propriétés urbaines ou les espaces restreints.
- Coûts initiaux, notamment l'achat d'un composteur ou d'autres équipements nécessaires pour le compostage par les ménages ou les organisations.

II.6.2 La méthanisation

II.6.2.1 Définition

La méthanisation est une technique de valorisation des déchets organiques qui consiste en la dégradation de matières organiques par des micro-organismes en l'absence d'oxygène, produisant du biogaz qui peut être utilisé comme source d'énergie renouvelable. Cette technique est également appelée digestion anaérobie (**Moletta, 2011**).

Les matières organiques telles que les restes alimentaires, les déchets verts, les déchets agricoles et les eaux usées peuvent être utilisées comme matières premières pour la méthanisation. La matière organique est introduite dans un réacteur à biogaz où des micro-organismes décomposent la matière organique pour produire du biogaz, principalement composé de méthane et de dioxyde de carbone. Le biogaz produit par la méthanisation peut être utilisé pour produire de l'électricité et de la chaleur, ou pour alimenter des véhicules au gaz naturel comprimé. Le résidu solide de la méthanisation, appelé digestat, peut être utilisé comme engrais pour les cultures (**Moletta, 2011**).

II.6.2.2 Principe de la méthanisation

Le principe de la méthanisation est de transformer les matières organiques en gaz combustible, le biogaz, par l'action de microorganismes en milieu anaérobie (en absence d'oxygène). Cette transformation, appelée fermentation anaérobie, est réalisée dans un digesteur qui permet de maintenir les matières organiques en suspension et d'optimiser leur contact avec les microorganismes. Les matières organiques utilisées sont de natures diverses telles que les résidus de l'industrie agro-alimentaire, les boues de stations d'épuration, les ordures ménagères, les déchets agricoles et les cultures énergétiques.

Au cours de la fermentation anaérobie, la matière organique est décomposée à différentes étapes pour produire du biogaz, principalement composé de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2). Ce biogaz peut être utilisé pour générer de l'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité, ou être injecté dans le réseau de gaz naturel. Le digestat, quant à lui, est le résidu solide qui reste après la fermentation et peut être utilisé comme engrais agricole (David *et al.*, 2013) (Figure 9).

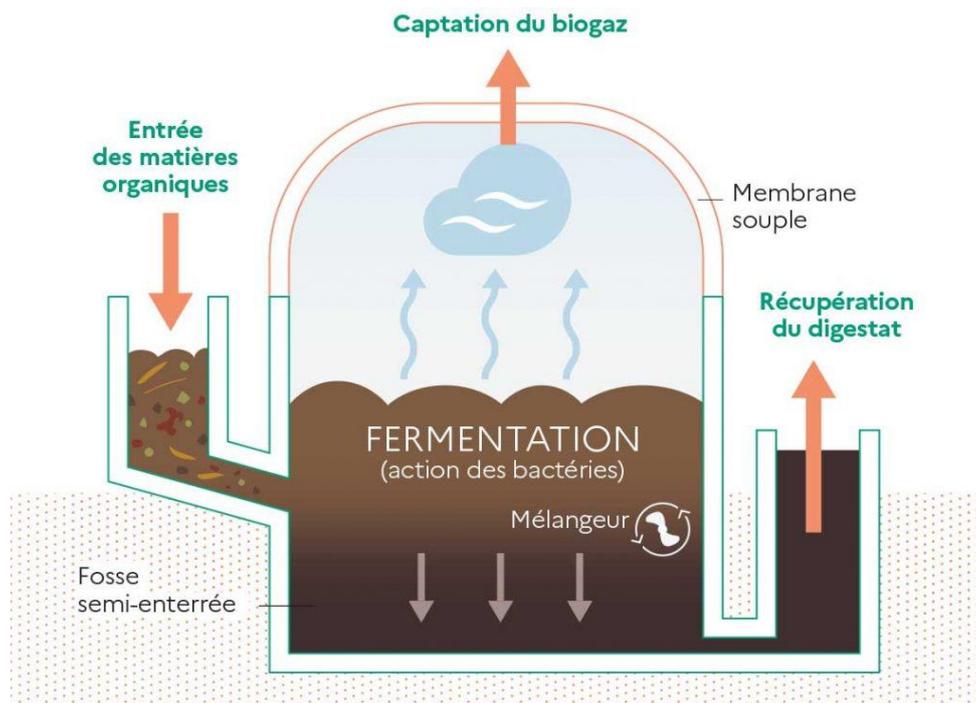


Figure 9 : Schéma de la méthanisation (Marc-Martin, 2022).

II.6.2.3 Les étapes de la méthanisation

On peut distinguer quatre phases dans la dégradation anaérobie : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse, comme l'illustre le schéma suivant.(Figure10).

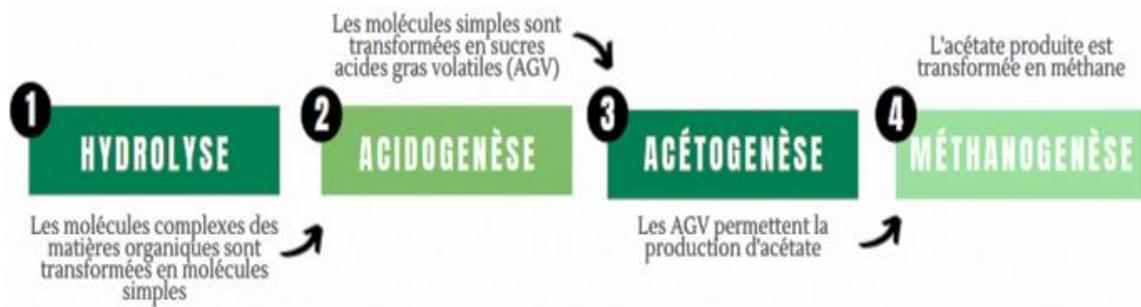


Figure 10 : Les étapes de la méthanisation (Marc-Martin, 2022).

II.6.3 La pyrolyse

Suivant (Antonini et Hazi, 2004), la pyrolyse est une technique de valorisation des déchets organiques qui consiste à chauffer ces déchets à des températures élevées en l'absence d'oxygène, afin de les décomposer en gaz, en liquides et en solides. Les déchets organiques peuvent inclure des matières végétales telles que des résidus agricoles ou forestiers, des déchets ménagers, des déchets industriels, des boues d'épuration et des déchets alimentaires.

Le processus de pyrolyse se déroule en plusieurs étapes, comprenant la préparation des déchets, la décomposition thermique à haute température et la récupération des produits de pyrolyse. Les produits obtenus peuvent inclure du biochar, un charbon de bois utilisé comme amendement du sol, de l'huile pyrolytique et du gaz de synthèse, qui peuvent être utilisés comme sources d'énergie renouvelable.

II.6.4 La gazéification

II.6.4.1 Principes de la gazéification

La gazéification est un procédé thermochimique qui convertit un combustible solide (charbon, bois, paille, etc.) en un combustible gazeux et ce via l'injection en quantité réduite et contrôlée d'un agent oxydant (O_2 , air, CO_2 , vapeur d'eau...). Elle se distingue donc de la pyrolyse seule, opération thermique s'effectuant en l'absence d'agent oxydant, et de la combustion, qui s'effectue en présence abondante d'agent oxydant (Sutton *et al.*, 2001).

II.6.4.2 Les phases de la gazéification

Selon (Eranian, 2011), on distingue quatre grandes phases :

- Une phase de séchage, intégrée ou non au réacteur de gazéification,
- Une phase de pyrolyse qui produit, sous l'effet de la chaleur et en absence d'agent oxydant, des matières volatiles (CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , H_2O_{vap} et hydrocarbures gazeux appelés « goudrons ») et du charbon.

- **Une phase d'oxydation partielle, aussi** appelée combustion, avec injection d'un agent oxydant (air, O_2 , H_2O_{vap}) oxyde les volatils produits lors de l'étape de pyrolyse et éventuellement oxyde une partie du carbone. Cette phase fournit la chaleur nécessaire à l'ensemble du processus et détruit la fraction de goudron.

- **Une phase de réduction**, étroitement liée à l'étape de combustion dans laquelle le charbon (carbone) est converti par des réactions thermochimiques complexes en gaz combustibles riches en CO et H_2 , appelés en anglais syngas.

Ces quatre étapes sont toujours présentes mais leur ordre et leur conception spatiale et temporelle peuvent varier selon le type d'apport de biomasse, l'agent de gazéification et la technologie du réacteur. Elles peuvent être réalisées dans le même réacteur, mais dans le cas d'une gazéification étagée elles peuvent être réalisées dans des enceintes séparées (**Eranian, 2011**) (**Figure 11**).

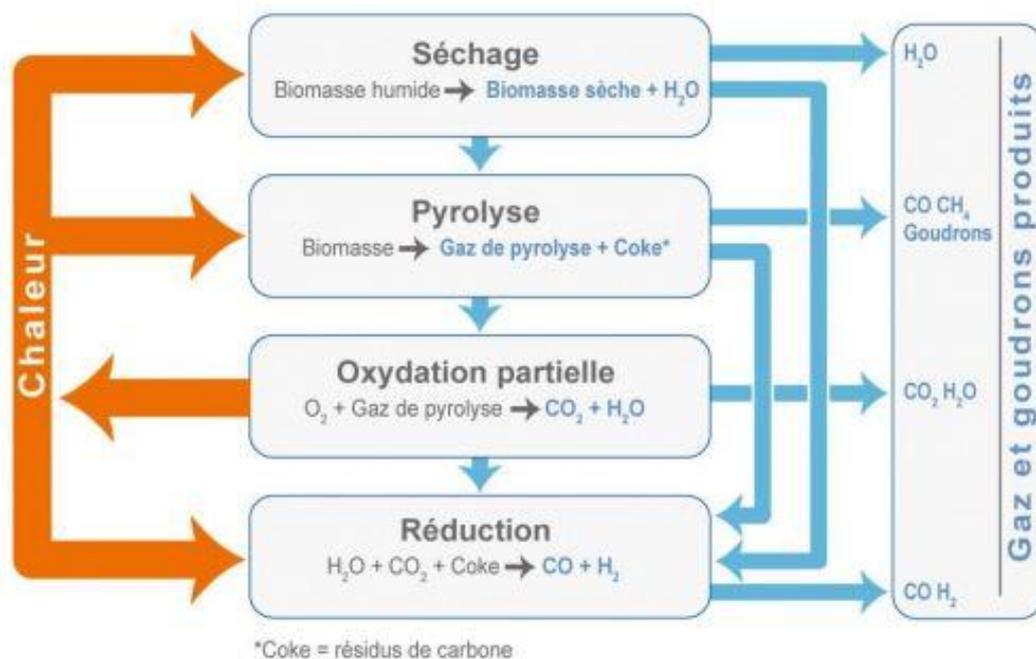


Figure 11 : Processus de gazéification (**Eranian, 2011**).

II.6.5 La fermentation

La fermentation est une technique de valorisation des déchets organiques qui consiste à transformer les matières organiques en biogaz par l'action de micro-organismes anaérobies (c'est-à-dire qui se développent en l'absence d'oxygène). Cette technique peut être utilisée pour valoriser une grande variété de déchets organiques, tels que les déchets alimentaires, les déjections animales, les déchets verts et les boues d'épuration (**Valence et al., 2020**).

Le processus de fermentation se déroule dans des digesteurs anaérobies, où les déchets organiques sont mélangés avec de l'eau et des bactéries spécifiques, appelées bactéries méthanogènes. Les bactéries décomposent les matières organiques en gaz méthane (CH₄) et en dioxyde de carbone (CO₂), qui constituent le biogaz (Waqas *et al.*, 2018).

II.7 Les applications de la valorisation des déchets organiques

II.7.1 L'utilisation du compost comme fertilisant des sols :

Le compost fertilisant est un produit de valorisation des déchets organiques qui peut être utilisé pour améliorer la qualité des sols et la croissance des plantes. Voici quelques exemples d'applications de l'utilisation du compost fertilisant (Inckel *et al.*, 2005) :

- **Agriculture** : Les agriculteurs peuvent utiliser du compost pour enrichir les sols, améliorer la qualité des cultures et réduire la dépendance aux engrais chimiques. Le compost peut également aider à réduire l'érosion des sols et à augmenter la rétention d'eau dans le sol.
- **Horticulture** : Le compost peut être utilisé pour améliorer la qualité des sols dans les jardins, les serres et les pépinières. Il peut également être utilisé pour fertiliser les plantes en pot et les plates-bandes.
- **Restauration de terres** : Le compost peut être utilisé pour restaurer les sols dégradés et contaminés, tels que les sites miniers abandonnés ou les terres endommagées par les incendies de forêt.
- **Aménagement paysager** : Les architectes paysagistes peuvent utiliser du compost pour améliorer la qualité des sols dans les parcs, les terrains de golf, les terrains de sport et autres espaces verts. Le compost peut également aider à réduire les coûts d'entretien en améliorant la santé des plantes et en réduisant les besoins en arrosage.
- **Compostage à domicile** : Les particuliers peuvent utiliser du compost pour produire leur propre fertilisant à partir de déchets organiques domestiques tels que les restes de nourriture, les feuilles et les brindilles. Le compost produit peut-être utilisé pour nourrir les plantes dans le jardin ou dans les pots.

En résumé, le compost fertilisant peut-être utilisé dans de nombreux domaines pour améliorer la qualité des sols et la croissance des plantes. Que ce soit en agriculture, en horticulture, en restauration de terres, en aménagement paysager ou à domicile, le compost est une alternative durable et écologique aux engrais chimiques.

II.7.2 La valorisation énergétique des déchets organiques

La production d'énergie renouvelable à partir de la valorisation des déchets organiques est une pratique qui gagne en popularité dans le monde entier. Cette pratique consiste à convertir les déchets organiques en énergie, telle que l'électricité, la chaleur, le biocarburant, etc. Cela permet de réduire la quantité de déchets envoyée en décharge, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de produire de l'énergie renouvelable. Voici quelques exemples de valorisation des déchets organiques pour la production d'énergie renouvelable (**Tahri, 2019**) :

- **Méthanisation** : Cette technique implique la décomposition des matières organiques en absence d'oxygène, pour produire du biogaz contenant du méthane, qui peut ensuite être brûlé pour produire de l'électricité et de la chaleur.
- **Combustion** : Certains déchets organiques, tels que les déchets de bois, de papier, ou encore de jardin, peuvent être brûlés pour produire de l'énergie thermique et électrique.
- **Pyrolyse** : Cette technique de traitement thermique consiste à chauffer les déchets organiques en l'absence d'oxygène, pour produire du gaz de synthèse et du charbon de bois.
- **Gazéification** : Cette technique est similaire à la pyrolyse, mais elle implique l'ajout d'un agent oxydant pour produire du gaz de synthèse à partir des déchets organiques.

En somme, la valorisation des déchets organiques pour la production d'énergie renouvelable offre de nombreux avantages, tels que la réduction de la quantité de déchets envoyée en décharge, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la production d'énergie renouvelable et la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles. Toutefois, il est important de considérer les coûts économiques, les impacts environnementaux et les besoins en matières premières pour chaque technique de valorisation des déchets organiques afin de déterminer quelle technique est la plus adaptée à chaque situation (**Tahri, 2019**).

II.7.3 La valorisation des déchets organiques en industrie

La valorisation des déchets organiques en industries est une pratique de plus en plus courante, car elle permet de réduire les coûts de gestion des déchets, de limiter les émissions de gaz à effet de serre et de produire des matières premières ou de l'énergie renouvelable (**Ruggieri et al., 2009**). La partie suivante expose quelques exemples de valorisation des déchets organiques en industries.

- **Production de biocarburants** : Les déchets organiques, tels que les huiles alimentaires usagées, peuvent être utilisés pour produire des biocarburants, tels que le biodiesel, en les transformant par exemple par transestérification.

- **Production de compost** : Les déchets organiques, tels que les résidus de cultures et les déchets alimentaires, peuvent être compostés pour produire un amendement organique riche en nutriments pour les sols.

- **Production de biométhane** : Les déchets organiques peuvent être méthanisés pour produire du biométhane, qui peut être utilisé comme source d'énergie renouvelable pour la production de chaleur ou d'électricité.

- **Production de produits chimiques** : Les déchets organiques peuvent être utilisés pour produire des produits chimiques, tels que des solvants ou des acides, par des voies biochimiques ou chimiques.

- **Production d'aliments pour animaux** : Les déchets organiques, tels que les drèches de brasserie, peuvent être utilisés pour produire des aliments pour animaux.

La valorisation des déchets organiques en industries offre de nombreux avantages, tels que la réduction des coûts de gestion des déchets, la production d'énergie renouvelable, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et la production de matières premières pour l'industrie. Toutefois, il est important de considérer les coûts économiques, les impacts environnementaux et les besoins en matières premières pour chaque technique de valorisation des déchets organiques afin de déterminer quelle technique est la plus adaptée à chaque situation (**Ruggieri *et al.*, 2009**).

II.8 Les limites et contraintes de la valorisation des déchets organiques

II.8.1 Les coûts économiques et financiers

Les coûts économiques et financiers sont l'une des principales limites et contraintes de la valorisation des déchets organiques. Les coûts associés à la collecte, au transport, au tri et au traitement des déchets organiques peuvent être significatifs, en particulier pour les petites et moyennes entreprises qui ont des capacités limitées et des budgets restreints. De plus, les coûts de la valorisation des déchets organiques peuvent varier en fonction de la technique de valorisation utilisée. Par exemple, la production de compost peut nécessiter des investissements importants en équipements et en main-d'œuvre, tandis que la gazéification peut être plus coûteuse en termes d'investissement initial, mais moins en termes de coûts opérationnels (**Djemaci, 2012**).

Il est important de noter que les coûts de la valorisation des déchets organiques peuvent être compensés par les revenus générés par la vente de produits finaux tels que l'énergie

renouvelable ou le compost. Cependant, cela dépendra de la demande sur le marché pour ces produits, ainsi que des politiques et des incitations gouvernementales qui encouragent la valorisation des déchets organiques (**Djemaci, 2012**).

En fin de compte, pour que la valorisation des déchets organiques soit économiquement viable, il est important de considérer les coûts et les revenus potentiels à chaque étape du processus de valorisation, ainsi que les avantages environnementaux et sociaux. Les décideurs devront prendre en compte ces facteurs lorsqu'ils évaluent la faisabilité de projets de valorisation des déchets organiques et déterminent les stratégies les plus adaptées à leur situation spécifique.

II.8.2 Les contraintes techniques et logistiques

Les contraintes techniques et logistiques sont également des limites et des contraintes de la valorisation des déchets organiques. Les déchets organiques sont souvent très diversifiés en termes de composition chimique, de densité et de taille des particules, ce qui peut rendre leur traitement et leur valorisation difficiles, les exigences techniques et logistiques peuvent varier en fonction de la technique de valorisation utilisée. Par exemple, la production de compost peut nécessiter une gestion stricte de la température, de l'humidité et de l'aération pour obtenir un produit final de qualité. La production de biogaz à partir de déchets organiques peut nécessiter une technologie spécifique pour contrôler les conditions anaérobies et la qualité des substrats (**Lacour, 2012**).

La collecte et le transport des déchets organiques peuvent également poser des défis logistiques. Les coûts et la complexité de la collecte des déchets organiques peuvent être plus élevés que pour les autres types de déchets en raison de leur nature périssable et de la nécessité de les collecter régulièrement. De plus, les sites de traitement doivent être situés à proximité des sources de déchets organiques pour minimiser les coûts de transport et maximiser l'efficacité du traitement (**Massari et al., 2014**). Au sens de ces mêmes auteurs, ces contraintes techniques et logistiques peuvent rendre la valorisation des déchets organiques difficile et nécessiter des investissements importants en équipements, en personnel et en infrastructures. Les décideurs doivent tenir compte de ces contraintes lorsqu'ils évaluent la faisabilité de projets de valorisation des déchets organiques et planifient les stratégies de gestion des déchets organiques les plus adaptées à leur situation spécifique.

II.8.3 Les obstacles réglementaires

Les obstacles réglementaires sont également des limites et des contraintes de la valorisation des déchets organiques. Les réglementations locales, nationales et internationales peuvent imposer des exigences strictes en matière de traitement et de valorisation des déchets organiques, ce qui peut rendre le processus plus complexe et coûteux. Par exemple, les réglementations en matière de santé et de sécurité peuvent exiger des normes de qualité et de sécurité élevées pour le compost produit à partir de déchets organiques, afin de minimiser les risques pour la santé publique. Les réglementations sur les émissions de gaz à effet de serre peuvent également imposer des exigences pour la capture et la réduction des émissions de méthane lors de la production de biogaz à partir de déchets organiques (**Djemaci, 2012**).

De plus, les réglementations peuvent varier en fonction de la technique de valorisation utilisée, de la nature des déchets organiques et de la destination finale des produits finaux. Les entreprises doivent donc se conformer aux réglementations en vigueur pour pouvoir opérer légalement et éviter les sanctions. Les obstacles réglementaires peuvent donc augmenter les coûts et la complexité de la valorisation des déchets organiques. Il est important de tenir compte de ces contraintes lors de la planification et de la mise en œuvre de projets de valorisation des déchets organiques, en travaillant en étroite collaboration avec les autorités réglementaires et en s'assurant de respecter les normes et les exigences en vigueur (**Djemaci, 2012**).

En somme, la valorisation des déchets organiques présente des avantages considérables en termes de réduction des coûts de gestion des déchets et de production d'énergie renouvelable, mais elle est soumise à certaines limites et contraintes. Il est donc important de bien évaluer les avantages et les inconvénients de chaque technique de valorisation des déchets organiques avant de décider quelle méthode est la plus adaptée à chaque situation.

CHAPITRE III :

Analyse de deux cas d'étude sur le compostage de déchets organiques

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, en complément des chapitres théoriques, nous examinerons deux études appliquées portant sur les paramètres physicochimiques durant la période de compostage. L'objectif de cette analyse est de comprendre ces paramètres dans le contexte spécifique de compostage. Les études sélectionnées pour cette analyse sont le mémoire de YEFSAH Fatima, intitulé « Contribution au traitement des déchets ménagers par le compostage » présenté en 2017 à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (**Yefsah, 2017**), et le mémoire de (**Bicaba, 2017**) intitulé « Évaluation des paramètres physico-chimiques des composts à base de résidus de mangue dans le village de Samagan, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso) ».

Notre analyse portera sur ces deux études afin en tentant une analyse comparative de leurs résultats expérimentaux, ceci dans le but de mieux comprendre les implications pour le compostage.

Afin d'entreprendre cette comparaison, nous allons présenter ci-après brièvement chacune de ces deux études en récapitulant le contexte méthodologique et les résultats obtenus

III.2 Analyse comparative entre les deux études et présentation des deux études

Etude 01 : Compostage des déchets domestiques

Le tableau I ci-après présente les données récapitulées sur cette première étude

Tableau 1 : Paramètres de compostage des déchets organiques domestiques (Yefsah, 2017).

Compositions		Déchets organique et feuilles mortes de figuier	Déchet organique et foin	Déchet organique et sciure du bois	Déchet organique et grignon d'olive
Paramètres					
PH		6,68 à 8,69	6,70 à 9,18	6,75 à 7,85	7,28 à 8,20
Humidité (%)	Initial	80%			
	Final	40%			
Température (°C)	Initial	31°C	34°C	40°C	45°C
	Final	16°C à 20°C			
Période de Compostage		03 Mois	04 Mois	06 Mois	Non achevée

Etude 02 : Compostage des résidus de mangues

Les données résumant cette étude sont consignées dans le tableau II ci-après

Tableau 2 : Paramètres de compostage de résidus de mangues (Bicaba, 2017).

Compositions		Sciure de bois + résidus de mangues + bouse de vache comme activateur	Paille + Burkina Phosphate (BP) + l'activateur compost plus+ résidus de mangues	Pellicule d'anacarde + résidus de mangues + bouse de vache comme activateur
Paramètres				
PH	Initial	6,16 à 6,56		
	Final	6,14	5,49	6,28
Humidité (%)	Initial	4,25%	1,65%	3,75%
	Final	2,54%	0,90%	2,50%
Température (°C)	Initial	35,45°C (Jour 1) à 38,8°C (Jour 30)	35,23°C (Jour 1) à 36,8°C (Jour 45)	35,55°C (Jour 1) à 39,71°C (Jour 45)
	Final	37°C (Jour 60)	33,73°C (Jour 60)	36,38°C (Jour 60)
Teneur de matière organique	Initial	48,51 %	24,25 %	41,19 %
	Final	41,2 %	15,82 %	34,6 %
Période de Compostage		60 Jours		

III.3 Discussion

Etude 01 : compostage des déchets domestiques (Yefsah, 2017).

Evolution des paramètres de compostage

A- Durée du compostage

La durée de compostage est déterminée par un ensemble de conditions et de paramètres physiques et chimiques tout au long du processus. Elle est influencée par la nature des matériaux à composter, les conditions environnementales, le niveau d'aération, l'humidité et la durée nécessaire pour que les réactions microbiennes de minéralisation et d'humification des substances organiques se produisent (**Tharaoui, 2013**).

Cette remarque semble vérifiée dans le cadre de cette première étude puisque les quatre types de déchets testés ont chacun pris une durée différente pour devenir un compost. En effet, les déchets domestiques mélangés avec les feuilles mortes de Figuier a pris le moins de temps (3 mois), tandis que celui à base de déchets domestique mélangé avec le grignon d'olive issu des huileries a duré le plus de temps (plus de 6 mois).

B- Variations de la température

La température initiale des composts étudiés est plus élevée que la température finale du compost obtenu. Cela est valable pour tous les mélanges étudiés.

L'étude a observé les variations de température pendant le processus de compostage de différents composants organiques. Les températures élevées initiales favorisent une activité microbienne importante, tandis que la diminution ultérieure est due à la maturation du compost. Selon (**Waksan et al., 1939**) une augmentation rapide de la température est généralement due à la présence de matière organique facilement dégradable.

C- Variations du pH

Le pH joue un rôle important dans le processus de compostage des déchets urbains solides. Selon les études de (**Mustin, 1987**), un pH basique favorise la croissance des actinomycètes (bactéries filamenteuses) et des bactéries alcalines, tandis qu'une baisse de pH peut être expliquée par la production d'acides organiques lors de la décomposition des glucides, des lipides et d'autres substances.

De plus, la dégradation aérobie produit du CO₂, qui se dissout dans l'eau et forme de l'acide carbonique, contribuant ainsi à l'acidification du milieu. Le pH est donc un indicateur important de l'avancement du processus de compostage et de l'activité des micro-organismes impliqués dans la décomposition des déchets.

D- Variations de l'humidité

L'étude de compostage indique que l'humidité initiale des composts était de 80%. Cela signifie que, lors de l'installation du compost, le niveau d'humidité était élevé, avec une quantité importante d'eau présente dans le mélange.

Au fil du temps, l'humidité a diminué progressivement, atteignant une valeur finale de 40%. Cette diminution peut être le résultat de l'évaporation de l'eau due à des facteurs tels que l'aération assurée par le retournement régulier du compost, les conditions environnementales. L'eau présente dans la matière organique joue un rôle crucial en facilitant le transport des particules, ce qui favorise un contact optimal entre les fractions organiques et la flore microbienne.

D'après (Brinton *et al.*, 2002) et (Mustin, 1987), l'humidité optimale pour la décomposition de la matière organique se situe généralement entre 50 et 60%. (Godden, 1986). Soutient que des niveaux d'humidité inférieurs à 40% entraînent une diminution de l'activité microbiologique

Etude 02 : Compostage des déchets à base de résidus de mangue

Variation des paramètres de compostage

Les déchets organiques étudiés dans le cadre de cette étude ont subi deux phases de dégradation en allant de l'état brut à un état dégradé : une première phase d'oxydation et de minéralisation et une deuxième phase de maturation.

A- Durée du compostage

Dans cette étude, la durée du compostage s'est étalée sur 60 jours. En fonction des différents mélanges testés, la durée du compostage varie de 30 jours pour le mélange à base de sciure de bois + résidus de mangues + bouse de vache. Par contre, le compostage des deux autres mélanges a duré 45 jours pour leur maturation.

B- Variation de la température

La température initiale mesurée dans les différents composts au jour 1 de la première phase (phase d'oxydation et de minéralisation) est inférieure à celle enregistrée au dernier jour de la première phase.

La hausse de la température des compost 1 (Sciure de bois + résidus de mangues + bouse de vache comme activateur) et compost 3 (Pellicule d'anacarde + résidus de mangues + bouse de vache comme activateur) pourrait être attribuée à leur volume et l'activité des microorganismes (**Godden, 1986**).

La température du compost 2 (Paille + Burkina Phosphate (BP) + l'activateur compost + résidus de mangues) est plus basse par rapport à celle des composts 1 et 3 pendant la première phase, ceci est dû à la faible quantité de paille, de la porosité et de l'aération nécessaires au développement des microorganismes.

Lors de la phase de refroidissement et de maturation des différents composts, on observe un retour des températures à la valeur initiale. Ce refroidissement est dû au ralentissement de l'activité des microorganismes, qui est causé par la réduction importante de la matière organique, comme le suggère (**Soudi, 2001**) et (**Compaore et al., 2010**).

C- Variations du pH

Les résultats montrent une variation du pH pendant le processus de compostage des trois composts étudiés. Initialement, les composts présentaient un pH compris entre 6,16 et 6,56 indiquant une légère acidité.

Après le compostage, on observe des variations du pH final pour chaque compost. Le compost 1 présente un pH final de 6,14 ce qui montre une légère diminution de l'acidité par rapport à son pH initial. Cela peut être dû à des processus de décomposition et de transformation des matières organiques. En revanche, le compost 2 a un pH final de 5,49 indiquant une baisse remarquable de l'acidité par rapport à l'état initial du déchet. Cela suggère que des réactions chimiques spécifiques se sont produites pendant le compostage, conduisant à une diminution plus marquée du pH.

Le dernier compost présente un pH final de 6,28 légèrement supérieur à son pH initial. Cela peut indiquer une légère augmentation de l'alcalinité du compost pendant le processus de compostage.

Au final, les données présentées révèlent que le pH final du compost1 et du compost3 est pratiquement similaire à leur pH initial, ce qui peut s'expliquer par le fait que les tas de compost1 et de compost3 présentaient une masse volumique et une teneur en eau plus élevée.

D- Variations d'humidité

Dans cette étude, le taux d'humidité est évalué en utilisant la méthode gravimétrique, qui consiste à soumettre les échantillons de compost à une étuve à 105°C pendant 24 heures.

Le niveau d'humidité a tendance à diminuer en raison de l'augmentation de la température et de l'aération résultant du retournement, ce qui entraîne une perte d'eau sous forme de vapeur (Compaore *et al.*, 2010). Cependant, la présence de sciure de bois et de pellicules d'anacarde dans les composts 1 et 3 peut contribuer à maintenir un taux d'humidité plus élevé.

E- Variations de la teneur en matière organique :

La teneur élevée en matière organique (MO) des composts1 et 3 par rapport au compost 2 est liée aux composants ajoutés au déchets initial (résidus de mangue), notamment Compost Plus et Burkina Phosphate. L'activité des microorganismes entraîne la dégradation de la MO, ce qui se traduit par la libération de minéraux, de CO₂ et d'eau, ainsi que par une perte de poids des composts.

Concernant le compost2, sa faible teneur en MO peut s'expliquer par l'utilisation de doses plus importantes des additifs Burkina Phosphate et Compost Plus, ce qui a entraîné une perte de poids. Le compost plus et le BP ont donc favorisé la décomposition des substrats présents, par rapport à l'utilisation de bouse de vache.

III.4 Comparaison entre les deux études

Afin de faire ressortir les points communs et les différences entre les deux études, une comparaison est effectuée en discutant les paramètres étudiés dans les deux cas traités.

-Durée du compostage : Les deux études ont réalisé l'expérimentation sur une période de compostage différente. La première étude sur les déchets domestiques (Tizi Ouzou, Algérie) s'est étalée sur une durée de 3 à 6 mois, la deuxième concernant les résidus de mangues (Burkina Fasso) s'est étalée sur une durée de 60 jours.

-Variation de la température : Les deux études montrent une évolution de la température pendant le processus de compostage. Dans les deux cas, la température initiale est plus élevée

que la température finale. Cela est dû à l'activité microbienne importante au début du compostage, suivie de la maturation du compost.

-Variation du pH : Les deux études observent des variations du pH pendant le processus de compostage. Dans l'étude 01, les valeurs de pH varient entre 6,68 et 9,18, tandis que dans l'étude 02 elles se situent entre 5,49 et 6,28. Les changements de pH sont influencés par les réactions chimiques et les micro-organismes qui participent à la décomposition des matières organiques. Les différences initiales et finales de pH entre les deux études peuvent être attribuées aux compositions spécifiques des matériaux utilisés ainsi qu'à l'apport d'eau pendant le processus de compostage.

-Variation de l'humidité : Les deux études rapportent une diminution de l'humidité au cours du processus de compostage. Dans la première étude, l'humidité a été mesurée à l'aide d'un hygromètre, tandis que dans la deuxième étude, les échantillons ont été séchés pour évaluer le taux d'humidité. La diminution de l'humidité est principalement due à des facteurs tels que l'aération du compost et l'évaporation de l'eau. Les propriétés des composants ajoutés au déchet initial pendant le compostage peuvent également influencer cette variation de l'humidité.

-Variation de la matière organique : Dans la première étude, la matière organique n'a pas été mesurée, tandis que dans la deuxième étude elle a été prise en compte. La quantification de la matière organique est une composante essentielle pour l'étude du processus de compostage. Elle permet de comprendre la dégradation des substances organiques et les transformations qui se produisent pendant le compostage. Ainsi, la deuxième étude a fourni des données sur la variation de la matière organique, ce qui permet d'obtenir des informations plus détaillées sur l'évolution du compost.

En conclusion, ces études mettent en évidence l'importance de prendre en compte différents paramètres de suivi du processus du compostage des déchets organiques. Les paramètres tels que la durée de compostage, la température, le pH, l'humidité et la teneur en matière organique sont tous des éléments clés pour comprendre ce processus et optimiser son efficacité. Ces connaissances contribuent à la gestion durable des déchets et à la production de compost de qualité pour une utilisation bénéfique en agriculture.

Conclusion et recommandation

En conclusion, la valorisation des déchets organiques est une pratique cruciale pour une gestion durable des déchets. Elle permet de convertir ces déchets en ressources précieuses telles que des engrais, du biogaz, des carburants et des produits chimiques, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en préservant les ressources naturelles.

Il est important de souligner que la valorisation des déchets organiques ne peut être considérée comme une solution autonome de gestion des déchets, mais plutôt comme faisant partie intégrante d'une approche intégrée comprenant la réduction à la source, le recyclage et la gestion responsable.

Cette analyse bibliographique, quoique modeste, a permis de dresser un aperçu des méthodes et des technologies existantes pour le traitement efficace et durable des déchets organiques. Les études scientifiques, les rapports techniques et les articles de recherche récents ont démontré que le recyclage et la valorisation des déchets organiques offrent de nombreuses opportunités pour éliminer leur impact environnemental et favoriser une économie circulaire.

Le compostage, la méthanisation, la pyrolyse et d'autres techniques ont été identifiés comme des moyens efficaces de transformer les déchets organiques en ressources valorisables. Ces ressources peuvent être utilisées dans l'agriculture, la production d'énergie renouvelable et d'autres secteurs, contribuant ainsi à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la préservation des ressources naturelles.

Le compostage des déchets organiques peut aboutir à des résultats satisfaisants en garantissant les conditions pratiques suivantes ; une durée de 3 à 6 mois selon la nature des composants organiques, une température relativement élevée (entre 35 et 40 °C), un pH acide (entre 5 et 6) et une humidité du substrat suffisante à entretenir éventuellement par apport d'eau régulier. Ces conditions pratiques représentent les conditions favorables à réunir pour permettre aux microorganismes décomposeurs tels que les bactéries et les champignons de dégrader la matière organique.

Néanmoins, il est crucial de surmonter les défis liés à la collecte sélective des déchets organiques, à la nécessité d'infrastructures adéquates, aux contraintes réglementaires et aux obstacles socio-économiques. Cela nécessite la mise en place de politiques publiques

favorables, d'incitations financières et de programmes de sensibilisation pour encourager le recyclage et la valorisation des déchets organiques à grande échelle.

Cependant, cette pratique n'est pas sans obstacles et limites. Des défis tels que les coûts économiques et financiers, les contraintes techniques et logistiques, ainsi que les obstacles réglementaires doivent être surmontés. Pour cela, il est essentiel de mettre en place des politiques publiques et des cadres juridiques favorables, ainsi que d'investir dans des technologies innovantes et efficaces.

L'analyse bibliographique a également révélé des opportunités émergentes dans le domaine du recyclage et de la valorisation des déchets organiques. Les avancées technologiques, telles que l'exploration de nouvelles filières de valorisation, ainsi que les initiatives gouvernementales et les collaborations public-privé, ouvrent de nouvelles perspectives et favorisent des améliorations continues.

Références bibliographiques

Adeju, Onibokun G. 2001.*La gestion des déchets urbains: des solutions pour l'Afrique.* Paris : Karthala, CRDI, 2001. p. 256.

Agence Nationale des Déchets. 2021.*Rapport sur l'état de la gestion des déchets en Algérie.* 2021. p. 150.

Alain, Damien. 2016.*Guide du traitement des déchets: Réglementation et choix des procédés.* Paris : Dunod, 2016. p. 30.

Albrecht, Remy. 2007.*Co-compostage de boue de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie de suivi des transformations de la matière organique.* Marseille : Thèse pour obtenir le grade de docteur. Université Paul Cezanne Aix-Marseille III, 2007. p. 189.

Arnaud, Bouvard. 2023. *Recyclage des déchets ménagers : conseils de tri sélectif.* Energies Nouvelles. [En ligne] 23 02 2023. <https://www.energies-nouvelles.net/eco-gestes/dechets-menagers-conseils-tri-recyclage/>.

Antonini et Hazi. 2004.*Pyrolyse - Gazéification de déchets solides.* s.l. : PROCEDIS, 2004. p. 131.

Belaib, Ahlem. 2012.*Etude de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques generes par le restaurant universitaire Aicha Oum Elmouminine.* Constantine : Mémoire de Magister en Ecologie. Université de Mentouri, 2012. p. 111.

Benilette et Mahdid. 2017.*La Gestion des déchets ménagers dans la ville de Bou Saada.* M'Sila : Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique. Université Mohamed BOUDIAF, 2017. p. 75.

Biadillah, M C. 2004.*Guide de gestion des déchets des établissements de soins.* Maroc : Centre Régional des Activités d'Hygiène du Milieu (CEHA) et l'Organisation Mondiale de la Santé, 2004. p. 56.

Bicaba, Lalaïssa Franceline Dofinihan. 2017.*Evaluation des paramètres physicochimiques des composts à base des résidus de mangue dans le village de samagan, BoboDioulasso o (Burkina Faso).* s.l. : Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural. Université NAZI BONI, 2017. p. 74.

- Bouزيد et Boucetta. 2018.***Analyse filières de la gestion des déchets.* Béjaia : Mémoire de fin de cycle En vue de l'obtention du diplôme de Master. Université Abderrahmane Mira, 2018. p. 81.
- Brinton, F et Evans, E. 2002.,** *Plant performance in relation to depletion, CO2-rate and volatile fatty acids in container media composts of varying maturity.* 2002.
- Cansell, F et Moletta, A. 2003.***Etat de l'art du traitement des déchets organiques : traitement thermiques et méthanisation.* Bordeaux : RECORD Edition, 2003. p. 96.
- Chaoui, S et Boukhemis, K. 2018.***PAR UNE GESTION ÉCOLOGIQUE DES DÉCHETS MÉNAGERS, POUR UNE QUALITÉ DE VIE ET DE VILLE: CAS D'ANNABA (NORD-EST ALGERIEN).* s.l. : Courrier du Savoir, 2018. pp. 27-38.
- Compaore, E et Nanema, L S. 2010.***Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.* s.l. : TROPICULTURA, 2010. p. 237.
- Compaore, E, Bonkouno, L S et Sedogo, N S. 2010.***Évaluation de la qualité decomposts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture.* s.l. : Journal of Applied Biosciences, 2010. pp. 2076 –2083. Vol. 33.
- David, C, Salle, B et Marc, F. 2013.***Méthanisation de déchets issus de l'élevage, de l'agriculture et de l'agroalimentaire: Risques et prescriptions de sécurité.* France : L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS), 2013. p. 44.
- Debril, Johann. 2005.***Gestion des déchets de Jessie par le compostage.* Nantes : INRA (l'Institut national de la recherche agronomique), 2005. p. 37.
- Desachy, C. 2001.***Les déchets : sensibilisation à une gestion écologique.* Paris : TEC & DOC, 2001. p. 463.
- Dib, Djaffer. 2021.***Impact de la pollution du sol aux hydrocarbures sur la flore et la pédofaune dans quelques stations-services de la Wilaya de Tizi-Ouzou.* Tizi-Ouzou : Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri, 2021. p. 148.
- Djemaci, Brahim. 2012.***La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité.* s.l. : Thèse de doctorat en sciences économiques. Université de Rouen, 2012. p. 392.

Dorbane, N. 2004.*Gestion des déchets solides urbains dans la ville de Tizi Ouzou, thèse de magister en science économiques.* Tizi Ouzou : U.M.M.T.O, 2004. p. 212.

Dupre, Mickaël. 2009.*De l'engagement comportemental à la participation : élaboration de stratégies de communication sur le tri et la prévention des déchets ménagers.* s.l. : Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en psychologie. U.F.R. Sciences Humaines, 2009. p. 408.

Eranian, Philippe. 2011. Gazéification. *Connaissance des énergies.* [En ligne] 03 07 2011. [Citation : 2023 05 01.] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/gazeification>.

Gamberini, Giulietta. 2016. LA TRIBUNE. *Recyclage : quand les petits déchets en aluminium retrouvent une deuxième vie.* [En ligne] 23 Décembre 2016. <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/recyclage-quand-les-petits-dechets-en-aluminium-retrouvent-une-deuxieme-vie-626167.html>.

Godden, B. 1986.*Etude du processus de compostage du fumier de bovin.* s.l. : Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université Libre de Bruxelles, 1986. p. 136.

Hamzaoui, Sabri. 2011.*Gestion et impact des déchets solides urbains sur l'environnement.* Annaba : Mémoire n vue de l'obtention du Diplôme de de magister. Université badji mokhtar, 2011. p. 138.

Houot, A, et al. 2016.*Recyclage de déchets organiques en agriculture: Effets agronomiques et environnementaux de leur épandage.* France : Éditions Quæ, 2016. p. 136.

Inckel, Madeleine, et al. 2005.*La fabrication et l'utilisation du compost.* Wageningen : Fondation Agromisa, 2005. p. 69.

Isabelle, C. 2021. Compostage des déchets verts. *Gerbeaud.* [En ligne] 19 04 2021. [Citation : 01 05 2023.] <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/composter-les-dechets-verts,2511.html>.

Jarousseau, H, et al. 2000.*Le recyclage des résidus organiques: Regards sur une pratique agro-écologique.* France : Éditions Quae, 2000. p. 200.

Kroun, Virginie. 2021. Déchets inertes : la filière minérale mobilisée. *Batiweb.* [En ligne] 18 Octobre 2021. <https://www.batiweb.com/actualites/developpement-durable/dechets-inertes-la-filiere-minerale-mobilisee-38842>.

Lacour, Joaneson. 2012.*Valorisation de résidus agricoles et autres déchets organiques par digestion anaérobie en Haïti.* Lyon : Thèse pour obtenir le grade de docteur. L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2012. p. 218.

Lasnier, Adrien. 2021. 4 avantages et 3 inconvénients des composts. *Réussir*. [En ligne] 30 Septembre 2021. [Citation : 30 Avril 2023.] <https://www.reussir.fr/fruits-legumes/quatre-actions-positives-des-composts>.

Le Bozec, André, et al. 2012.*Que faire des déchets ménagers ?* s.l. : Éditions Quae, 2012. p. 230.

Louhab, Karim. 2020.*Economie circulaire: Nécessités et Opportunités.* Boumerdès : Journal de l'Economie Circulaire et Développement Durable, 2020. p. 7.

Marc-Martin, Lucas. 2022. Le processus de méthanisation. *CHOISIR*. [En ligne] 09 09 2022. [Citation : 30 04 2023.] <https://www.choisir.com/energie/articles/172725/le-processus-de-methanisation>.

Massa, Lorena. 2020. Le trafic des déchets toxiques : quelle implication de la Camorra ? *IHEMI*. [En ligne] 06 Novembre 2020. <https://www.ihemi.fr/articles/le-traffic-des-dechets-toxiques-quelle-implication-de-la-camorra>.

Massari, F, et al. 2014.*La collecte et le transport des produits usagés et des déchets dans une optique de logistique inverse: État des connaissances et propositions méthodologiques.* s.l. : REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement, 2014. p. 122.

Misra, R V, Roy, R N et Hiraoka, H. 2005.*Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole.* Rome : L'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 2005. p. 48.

Moletta, René. 2011.*La méthanisation.* 2^o Éd. Paris : Lavoisier, 2011. p. 547.

Mustin, M. 1987.*Le Compost, gestion de la matière organique.* Paris : F. Dubuse, 1987. p. 954.

N'guessan, Noel, Bijleveld, Louise et Nijmeijer, Annemarijn. 2011.*Gestion des déchets organiques en Algérie Analyse sectorielle et opportunités d'affaires.* s.l. : Une étude réalisée en collaboration avec l'Ambassade des Pays-Bas et l'Agence Nationale des Déchets. LONO, 2011. p. 35.

- Nkula Nsindu, Guylain, Kongolo Tshisuaka, Benjamin et Kudiakubanz Katembo, Aimé. 2023.** Impact des déchets ménagers sur l'environnement et la santé dans la périphérie de Kinshasa, RDC. *African Scientific Journal*. 2023, Vol. 3, 6, pp. 148-172.
- Nouri et Ait Habouche. 2019.** Ecologie industrielle et valorisation des déchets : Cas de recyclage des déchets industriels à Oran. *Revue Algérienne d'Economie de gestion*. 2019, Vol. 12, 1, pp. 133-150.
- Queste, Jérôme. 2016.** *Concertation et changements Le cas du recyclage des déchets organiques à la Réunion*. Grenoble : Thèse pour obtenir le grade de doctorat. L'Université Grenoble Alpes, 2016. p. 318.
- Ramade, F. 2005.** *Éléments d'écologie, écologie appliquée 6ème édition*. Paris : Dunod, 2005. p. 864.
- Ropero Portillo, Sandra. 2022.** Déchets industriels : définition, types, classification et gestion. *Projet Ecolo*. [En ligne] 11 Novembre 2022. <https://www.projetecolo.com/dechets-industriels-definition-types-classification-et-gestion-914.html>.
- Ruggier, Luz, et al. 2009.** Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. *Journal of Cleaner Production*. 2009, Vol. 17, 9, pp. 830-838.
- Siboukeur, Hicham. 2010.** *Contribution à la production du biogaz à partir des boues de la station d'épuration de la ville de Hassi R'mel*. Alger : Mémoire de magister en Génie de l'Environnement. Ecole Nationale Polytechnique, 2010. p. 73.
- Slimani, Rachid. 2022.** *Valorisation par compostage des déchets organiques dans la wilaya de Tizi-Ouzou*. Tizi-Ouzou : Thèse de Doctorat en écologie et environnement. Université Mouloud Mammeri, 2022. p. 135.
- Soudi, B. 2001.** *Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost : cas de petites et moyennes communes du Maroc*. s.l. : Edition Actes, 2001. p. 104.
- Sutton, D, Kelleher, B et Ross, J R.H. 2001.** *Review of literature on catalysts for biomass gasification*. s.l. : Fuel Processing Technology, 2001. pp. 155-173.
- Tahri, Ahmed. 2019.** *Valorisation énergétique par la production d'électricité à partir de la digestion anaérobie des déchets organiques dans le milieu saharien*. s.l. : Thèse de Doctorat LMD en Génie des procédés. Université de Ghardaïa, 2019. p. 136.

Takouleu, Jean Marie. 2018 . AFRIQUE DU SUD : Averda utilise des puces RFID pour suivre les déchets hospitaliers. *Afrik 21*. [En ligne] 7 Juin 2018 . <https://www.afrik21.africa/afrique-du-sud-averda-va-utiliser-des-puces-rfid-pour-suivre-les-dechets-dangereux/>.

Thraoui, Naima. 2013.*Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef*. s.l. : Thèse Pour l'obtention du grade de DOCTEUR. UNIVERSITE DE LIMOGES, 2013. p. 244.

Vaillancourt, Jean-Guy, Seguin, Michel et Maheu, Louis. 1994.*LA GESTION ÉCOLOGIQUE DES DÉCHETS*. Montréal : Presses de l'Université de Montréal, 1994. pp. 123-142.

Valence, Florence et Thierry, Anne. 2020.*La fermentation de matières premières végétales*. s.l. : INRA, 2020. p. 31.

Waksman, S, Cordan, T et Hulpoin. 1939.*Influence of temperature Upon the microbiological population and decomposition processes in compost of stable manure Soil*. . 1939.

Waqas, Muhammad, et al. 2018.*Conversion of Food Waste to Fermentation Products*. s.l. : University of Science and Technology (KUST), 2018. pp. 1-9.

Yefsah, Fatima. 2017.*Contribution au traitement des déchets ménagers par le compostage*. Tizi-Ouzou : Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master En Biologie. Université Mouloud Mammeri, 2017. p. 63.

Résumé

Ce travail de mémoire vise à faire un état des lieux des opportunités de recyclage et de valorisation des déchets organiques. Il est réalisé sur la base d'une analyse bibliographique générale et la comparaison entre deux cas concrets d'étude menées expérimentalement sur le compostage des déchets organiques. Cette analyse présente une vue d'ensemble des déchets, mettant en évidence la nécessité de solutions efficaces pour leur gestion en privilégiant leur valorisation par les différentes techniques disponibles. L'analyse comparative entre les deux cas traités a montré que des paramètres tels que la durée du compostage, le pH, la température le taux d'humidité et la teneur en matière organique s'avèrent importants à prendre en compte pour obtenir de meilleurs résultats de compostage de déchets organiques. Il est donc intéressant de recommander une gestion plus durable des déchets organiques et la généraliser à l'échelle d'un territoire, notamment dans le cadre d'une économie circulaire

Mots-clés: déchets organiques, valorisation, compostage, recyclage.

Abstract

This dissertation aims to provide an overview of the opportunities for recycling and valorizing organic waste. It is based on a general literature analysis and a comparison of two specific case studies conducted experimentally on organic waste composting. This analysis presents a comprehensive view of waste, highlighting the need for effective solutions for its management by prioritizing its valorization through various available techniques. The comparative analysis between the two cases examined showed that parameters such as composting duration, pH, temperature, moisture content, and organic matter content are important factors to consider in order to achieve better results in organic waste composting. Therefore, it is interesting to recommend a more sustainable management of organic waste and to generalize it on a territory scale, particularly within the framework of a circular economy.

Keywords: organic waste, valorization, composting, recycling.

المخلص

هذا البحث يهدف إلى إعطاء لمحة عامة عن فرص إعادة تدوير واستغلال النفايات العضوية. يستند هذا البحث إلى تحليل مراجعات ومقارنة بين حالتين دراسيتين محددتين قامت بهما تجربة على تحويل النفايات العضوية إلى سماد عضوي. يقدم هذا التحليل نظرة شاملة عن النفايات، مشيرًا إلى ضرورة وجود حلول فعالة لإدارتها من خلال التركيز على استغلالها بواسطة التقنيات المختلفة المتاحة. أظهر التحليل المقارن بين الحالتين أهمية عوامل مثل مدة عملية تحويل النفايات إلى سماد، ودرجة الحموضة، ودرجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، ومحتوى المواد العضوية في الحصول على نتائج أفضل في عملية تحويل النفايات العضوية إلى سماد. لذا، من المثير للاهتمام أن نوصي بإدارة أكثر استدامة للنفايات العضوية وتعميمها على مستوى الأراضي، خاصة في إطار الاقتصاد الدائري.

كلمات مفتاحية: النفايات العضوية، الاستغلال، تحويل إلى سماد، إعادة التدوير.