

	الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية	
	People's Democratic Republic of Algeria	
	وزارة التعليم العالي والبحث العلمي	
	Ministry of Higher Education and Scientific Research	
	جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم	
	Abdel Hamid Ibn Badis University - Mostaganem	
	كلية العلوم والتكنولوجيا	
	Faculty of Sciences and Technology	
قسم هندسة الطرائق	Department of Process Engineering	

N° d'ordre : M2...../GP/2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DEMASTER ACADEMIQUE

Filière: Génie des Procédés

Spécialité :Génie des Procédés de l'Environnement

Thème

**Application du principe 3R-VE pour l'optimisation de la gestion
des déchets ménagers solides de la ville d'Oran.**

Présenté par

1-Ould moussa mohamed walid

2-Rabehi Hamid

Soutenu le 23/09/ 2024devant le jury composé de :

Président(e) :	S. ATTOUTI	Maitre de Conférences "A"	Université de Mostaganem
Examineurs:	M. Termoul	Maître Assistant "A"	Université de Mostaganem
Encadrant (e) :	I.S. ABDELLI	Maitre de Conférences "A"	Université de Mostaganem

Année universitaire 2023 / 2024

Abstrat

Dédicaces

C'est avec toute l'ardeur de nos sentiments que nous dédions ce mémoire à nos chers parents, pour leur patience, leur amour et leur encouragement. Que Dieu les garde et les protège.

À notre encadreuse, Madame Abdelli Safia,
et à notre ami Azzedine.

Abstrat

Remerciements

Remerciements Tout d'abord, nous remercierions le Bon Dieu Tout-Puissant de nous avoir permis D'accomplir cette humble œuvre.

Nos remerciements aussi et surtout à nos encadreurs : Madame abdelli safia pour son confiance et son assistantes au cours de son travaille .

Nous tenons à leur exprimer notre gratitude Et notre profond respect à Madame Attouti Salima d'avoir accepté de présider le jury et Monsieur Termoul Mourad d'accepter d'examiner notre travail.

Nous remercions tous les enseignants qui ont contribué à notre formation Au cours des cinq années. Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté l'examiner pour ce travail. Nous ne pouvions terminer cette reconnaissance sans nous référons à Ceux qui nous sont chers, nos parents, nos frères, nos sœurs, nos oncles Cousins dont l'aide et les encouragements nous ont aidés à poursuivre nos études jusqu'à La réussite.

Abstrat

• **Figure I-1** : Tableau de tri10

Figure III-2.Évolution quantitative des déchets solides municipaux de
1980-202213

Figure III-3.Évolution du tri des déchets solides municipaux par taille dans la ville
d'Oran.....17

Liste des tableaux

Tableau 1 Évolution de la composition de la DMA dans la ville d'Oran (%):
.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 2 Taux de récupération des matériaux précieux en 2019.....- 21 -

Tableau 3 Quantités estimées en tonnes et montants des ventes en dollars américains des déchets solides municipaux récupérés.....- 22 -

Abstrat

Liste des abréviations

DSM	des déchets solides municipaux
MSW	Municipal SolidWaste
LFG	Laboratoire Française Gemmologie
USD	Dollar Des Etats Unis
SNGID	Stratégie Nationale de la Gestion Intégrée et de la Valorisation des Déchets à l'Horizon 2035
PIB	Produit Intérieur Brut
MEER	Middle East Energy Research
3RVE	Réduction, Réutilisation, Recyclage, Valorisation et Élimination
NMOCs	les Composés Organiques Non Métaniques
DG-SRTD	Direction Générale des Systèmes de Récupération et de Traitement des Déchets

Abstrat

Municipal solidwaste (MSW) management is a priority due to its socio-economic potential, particularly in job creation and wealth generation. Despite regulatory and institutional efforts, waste management remains inefficient, especially in terms of treatment. This article focuses on waste management in Oran using the principles of the 3R-WE (Reduction, Reuse, Recycling - Waste Valorization and Elimination) for a circular economy. The analyzed data reveal that in 2022, of the 693.5 million tons of waste produced, less than 1% was composted, about 11% was recovered for recycling, while the vast majority (88%) was disposed of without any valorization. The study highlights numerous missed opportunities due to the lack of recycling. The energy recovery from organic matter could generate an estimated 123.5 MWh/day. Composting would have resulted in significant gains, exceeding 5 million USD in 2021 and 2022. However, effective selective sorting is essential for implementing sustainable waste management solutions. The article emphasizes the importance of adopting a 3R-WE approach to transform waste management into a thriving sector, contributing to improved quality of life in Oran and Algeria.

الملخص

تعد إدارة النفايات الصلبة المنزلية (MSW) أولوية نظرًا لإمكاناتها الاجتماعية والاقتصادية، خاصة في خلق فرص العمل وتوليد الثروة. على الرغم من الجهود التنظيمية والمؤسسية المبذولة، تظل إدارة النفايات غير فعالة، خاصة فيما يتعلق بالمعالجة. يركز هذا المقال على إدارة النفايات في وهران باستخدام مبادئ 3R-WE (التخفيض، إعادة الاستخدام، إعادة التدوير - التثمين والإقصاء) لتحقيق اقتصاد دائري. تكشف البيانات التي تم تحليلها أنه في عام 2022، من بين 693.5 مليون طن من النفايات المنتجة، تم تحويل أقل من 1% إلى سماد، وتم استرجاع حوالي 11% لإعادة التدوير، في حين تم التخلص من الغالبية العظمى (88%) دون أي تثمين. تسلط الدراسة الضوء على العديد من الفرص الضائعة بسبب نقص إعادة التدوير. يمكن أن تولد استعادة الطاقة من المواد العضوية ما يقدر بـ 123.5 ميجاوات/يوم. وكان من الممكن أن يؤدي التسميد إلى تحقيق مكاسب كبيرة تجاوزت 5 ملايين دولار أمريكي في عامي 2021 و 2022. ومع ذلك، يظل الفرز الانتقائي الفعال ضروريًا لتنفيذ حلول إدارة النفايات المستدامة. يؤكد المقال على أهمية اعتماد نهج 3R-WE لتحويل إدارة النفايات إلى قطاع مزدهر، مما يساهم في تحسين جودة الحياة في وهران والجزائر.

إعادة التدوير. الاسترداد. النفايات الصلبة البلدية. الاقتصاد الدائري: الكلمات المفتاحية

Résumé

La gestion des déchets solides municipaux (DSM) constitue une priorité en raison de son potentiel socio-économique, notamment pour la création d'emplois et la génération de richesse. Malgré les efforts réglementaires et institutionnels mis en place, la gestion des déchets reste inefficace, particulièrement en ce qui concerne leur traitement. Cet article examine la gestion des déchets à Oran en adoptant les principes des 3R-VE (Réduction, Réutilisation, Recyclage - Valorisation et Élimination) dans le cadre d'une économie circulaire. Les données analysées révèlent qu'en 2022, sur les 693,5 millions de tonnes de déchets produits, moins de 1 % ont été compostés, environ 11 % récupérés pour le recyclage, tandis que la majorité (88 %) a été éliminée sans valorisation. L'étude met en lumière de nombreuses opportunités manquées dues à l'insuffisance du recyclage. La valorisation énergétique des matières organiques permettrait de produire environ 123,5 MWh/jour. En outre, le compostage aurait généré des bénéfices significatifs, dépassant les 5 millions de dollars américains en 2021 et 2022. Cependant, un tri sélectif efficace reste indispensable pour la mise en œuvre de solutions de gestion des déchets durables. Cet article souligne l'importance d'adopter une approche 3R-VE afin de transformer la gestion des déchets en un secteur prospère, contribuant à l'amélioration de la qualité de vie à Oran et en Algérie.

Mots-clés : Économie circulaire. Déchets solides municipaux. Récupération. Recyclage. Valorisation.

Introduction Général

Table des matières

Sommaire

Dédicaces.....	i
Remerciements	ii
Liste des abréviations	v
Résumé	Erreur ! Signet non défini.
Abstract.....	vi
Chapitre I Introduction Générale	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre II : Etude bibliographique.....	- 5 -
II.1 Introduction.....	- 5 -
1.1 Généralités sur les déchets.....	- 5 -
1.2 Définition	- 5 -
1.3 Classifications des déchets.....	Erreur ! Signet non défini.
Les déchets se classifient selon plusieurs critères :	Erreur ! Signet non défini.
II.2 Principe 3RV-E.....	- 9 -
1.4 Réduction à la Source	- 9 -
I.3.2 Réutilisation	- 9 -
I.3.3 Récupération et Recyclage	- 9 -
I.3.4 Valorisation et Élimination	- 10 -
Chapitre III : Matériels et méthodes.....	- 11 -
III.1 Introduction	- 11 -
III.2 Description de la zone d'étude.....	- 11 -

III.3	État actuel de la gestion des déchets solides municipaux dans la ville d'Oran. .	- 12 -
I.4	Composition des déchets solides municipaux	- 12 -
II.5	Tri par taille.....	- 13 -
I.6	Tri par catégorisation	- 14 -
II.7	Modèle d'émission de gaz de décharge.....	- 14 -
Chapitre IV : Résultats et discussion		- 16 -
IV.1	Introduction	- 16 -
IV.2	Étude de l'évolution des quantités de déchets solides municipaux de 1980 à 2022..	- 16 -
III.3	Étude de la composition des déchets solides municipaux	- 18 -
IV.3	Application du principe 3R-VE.....	- 21 -
IV.3.1	Prévention.....	- 21 -
III.3.2	Récupération des déchets.....	- 22 -
IV.3.2	Recyclage.....	- 25 -
III.3.3	Compostage	- 26 -
IV.3.3	Récupération d'énergie	- 27 -
Conclusion générale		- 29 -
Bibliographie		- 30 -

Introduction Général

La gestion des déchets solides municipaux (DSM) est un défi majeur pour de nombreux pays en développement, dont l'Algérie, en raison de ses impacts environnementaux et socio-économiques. En Algérie, comme dans plusieurs autres nations, la gestion des déchets est marquée par des contraintes financières, technologiques et organisationnelles qui limitent la mise en œuvre de pratiques durables. En 2020, environ 34 millions de tonnes de déchets ont été générées, dont 13 millions de tonnes de DSM (NWA, 2020). Le ratio quotidien de production de déchets ménagers s'élève à 0,80 kg par habitant, en augmentation par rapport aux 0,7 kg/habitant/jour en 2005 (MATE, 2008). Cette tendance de hausse dépasse même la croissance du PIB, soulignant l'importance croissante de la production de déchets.

Comparée aux pays industrialisés, où des systèmes de gestion efficaces sont souvent en place, l'Algérie fait face à de nombreux défis. Dans les pays développés, des taux de recyclage significatifs sont atteints, comme en Allemagne, où le taux de recyclage était de 67 % en 2019 (Eurostat, 2023). En Algérie, ce taux reste en dessous de 10 % (Daki, 2019), alors que près de 60 % des déchets générés sont potentiellement recyclables. Ce faible taux de recyclage a des conséquences économiques notables, avec des pertes estimées à environ 296 millions de dollars par an, dues au manque de valorisation des déchets. En outre, environ 80 % des DSM finissent en décharge, contribuant à la saturation rapide des infrastructures actuelles, dont 70 % sont déjà saturées (Benyahlou et al., 2019).

Afin de moderniser le secteur, la stratégie nationale a introduit la création de décharges contrôlées, visant à remplacer les décharges à ciel ouvert illégales. Bien que cette approche ait permis une meilleure gestion des déchets, les défis persistent. La transition vers un modèle d'économie circulaire s'impose comme une solution viable, en intégrant la réduction à la source, le recyclage et la valorisation énergétique des déchets. Ce modèle innovant vise à minimiser le gaspillage des ressources naturelles, tout en maximisant leur réutilisation et leur valorisation, afin de réduire les impacts environnementaux et stimuler l'économie.

En adoptant cette approche, l'Algérie s'est engagée à atteindre un taux de recyclage de 25 % et de compostage de 50 % d'ici 2035, tout en espérant générer une valeur de valorisation de 651 millions de dollars et créer 30 000 emplois directs (SNGID 2035, MEER, 2023).

Cette étude se concentre sur la gestion des déchets solides municipaux dans la ville d'Oran, avec pour objectif principal d'évaluer la perte économique causée par l'enfouissement des déchets non valorisés. Pour cela, plusieurs étapes méthodologiques ont été mises en œuvre. Dans un premier temps, une analyse détaillée de la composition des DSM a permis d'identifier les catégories de déchets ayant un fort potentiel de recyclage et de valorisation. Ensuite, la quantification des déchets récupérables et recyclables a été réalisée, permettant de mesurer les pertes économiques liées à l'enfouissement de ces matériaux. Enfin, une étude approfondie de la valorisation de la matière organique présente dans les déchets a été menée, avec un focus particulier sur la production de compost et la conversion énergétique via des technologies telles que la biométhanisation.

Les résultats de cette étude visent à démontrer le potentiel économique considérable d'une gestion plus durable des déchets dans la ville d'Oran. En valorisant les déchets organiques et recyclables, il est possible de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge, tout en générant des bénéfices économiques importants. Cette étude met également en lumière l'importance de politiques publiques efficaces, de la participation active des acteurs locaux, et de la sensibilisation de la population à la nécessité de trier les déchets à la source. En s'appuyant sur des données scientifiques et des pratiques éprouvées, cette étude espère contribuer à l'adoption d'un modèle de gestion des déchets plus circulaire et plus respectueux de l'environnement.

Afin d'atteindre les objectifs de cette étude, ce mémoire est structuré en trois chapitres principaux. Le **chapitre I** se concentre sur le principe des 3RVE (Réduction, Réutilisation, Recyclage, Valorisation et Élimination) et son application à la gestion des déchets solides municipaux. Ce chapitre aborde également les enjeux liés à l'économie circulaire et fournit un cadre théorique pour comprendre l'importance de ces pratiques dans une gestion durable des déchets. Le **chapitre II** détaille les matériels et méthodes utilisés pour analyser la composition des déchets et évaluer leur potentiel de valorisation, tandis que le **chapitre III** présente les résultats obtenus et leur discussion, en insistant sur les opportunités économiques manquées en raison de l'enfouissement des déchets non valorisés. Enfin, une **conclusion** résume les principales découvertes de l'étude et propose des recommandations pour optimiser la gestion des déchets en accord avec les principes de l'économie circulaire.

Introduction Général

Chapitre I :

Etude bibliographique

I.1 Introduction

Le premier chapitre de ce mémoire explore en profondeur les principes fondamentaux de la gestion des déchets solides municipaux, en mettant un accent particulier sur le concept des 3RVE (Réduction, Réutilisation, Recyclage, Valorisation et Élimination). Dans un contexte de gestion durable des déchets, il est crucial de comprendre ces principes et leur application pratique pour améliorer l'efficacité des systèmes de gestion des déchets.

Ce chapitre commence par une définition et une classification des déchets ménagers, suivies d'une analyse des défis rencontrés dans leur gestion. Il examine ensuite le principe des 3RVE, en détaillant comment chaque élément contribue à une économie circulaire et à une réduction significative des impacts environnementaux et économiques liés aux déchets. La réduction vise à diminuer la production de déchets à la source, la réutilisation cherche à prolonger la durée de vie des produits, le recyclage permet de transformer les déchets en nouveaux matériaux, et la valorisation énergétique exploite les déchets comme source d'énergie.

1.1 Généralités sur les déchets

1.2 Définition

Les déchets se définissent comme tout objet, substance ou matériau dont un détenteur se défait ou a l'intention de se défaire. Cela inclut des déchets solides, liquides ou gazeux provenant de diverses sources, comme les ménages, les industries, les commerces, et les services.(Addou, 2009)

1.2.1 1.3 Classifications des déchets

La classification des déchets est une étape cruciale pour leur gestion, car elle permet de mieux comprendre leurs caractéristiques, leurs origines et les méthodes appropriées de traitement et de valorisation. Selon Molta (2004), les déchets peuvent être classés selon plusieurs critères : origine, nature, état physique et potentiel de valorisation. Chacune de ces classifications offre des perspectives différentes pour aborder les défis liés à la gestion des déchets.

1.2.1.1 1. Classification par origine

La classification par origine permet d'identifier la source des déchets, ce qui est essentiel pour mettre en place des stratégies de gestion adaptées.

- **Déchets ménagers** : Ils proviennent des foyers et constituent une part significative des déchets solides urbains. Parmi ces déchets, on trouve des emballages, des restes alimentaires, des textiles usés, des produits d'hygiène, et d'autres objets du quotidien. Leur gestion nécessite des systèmes de collecte efficaces, souvent basés sur le tri sélectif pour faciliter le recyclage. Les programmes de sensibilisation des citoyens jouent également un rôle crucial pour encourager le tri à la source et réduire le volume des déchets envoyés en décharge.
- **Déchets industriels** : Ces déchets sont générés par les processus de production dans les usines et les ateliers. Ils peuvent inclure des chutes de matériaux, des résidus chimiques, des huiles usées, et des emballages. La gestion de ces déchets doit respecter des normes strictes pour éviter la pollution et garantir la sécurité des travailleurs. Des stratégies de réduction à la source, telles que l'optimisation des processus de production et l'utilisation de matériaux moins polluants, sont également importantes.
- **Déchets commerciaux** : Provenant des activités commerciales, ces déchets comprennent les emballages, les invendus et les produits non conformes. Leur gestion est souvent assurée par des systèmes de collecte mis en place par les municipalités ou par des entreprises spécialisées. Les commerces peuvent également adopter des pratiques écoresponsables, telles que l'utilisation d'emballages réutilisables ou recyclables, pour minimiser leur impact environnemental.

- **Déchets agricoles** : Comprenant les restes de cultures, les résidus de récolte et les déchets d'élevage, ces déchets peuvent être valorisés de manière significative. Par exemple, le compostage des déchets organiques permet de produire un amendement riche pour les sols, tandis que les résidus d'élevage peuvent être utilisés comme matière première dans la production de biogaz. Une gestion adéquate des déchets agricoles est essentielle pour prévenir la pollution des sols et des eaux.

1.2.1.2 2. Classification par nature

La classification par nature se concentre sur les caractéristiques matérielles des déchets, facilitant leur tri et leur traitement.

- **Déchets organiques** : Ces déchets biodégradables incluent les restes alimentaires, les déchets de jardin, et d'autres matériaux d'origine biologique. Leur gestion est essentielle pour réduire la quantité de déchets envoyés en décharge. Les méthodes de valorisation, telles que le compostage et la méthanisation, permettent de transformer ces déchets en compost ou en biogaz, contribuant ainsi à l'économie circulaire.
- **Déchets inorganiques** : Ces déchets regroupent les matériaux non biodégradables, tels que le plastique, le métal et le verre. Leur gestion implique souvent le recyclage, qui permet de réduire la demande de nouvelles matières premières. Le recyclage des déchets inorganiques est une pratique essentielle pour diminuer l'empreinte écologique et favoriser la durabilité des ressources.
- **Déchets dangereux** : Ce groupe comprend des substances nocives pour la santé et l'environnement, comme les produits chimiques, les batteries, et les déchets médicaux. Leur traitement nécessite des procédures strictes et souvent des installations spécialisées, afin de prévenir toute contamination. La formation des travailleurs et la sensibilisation à la gestion des déchets dangereux sont essentielles pour garantir la sécurité dans leur manipulation.

1.2.1.3 3. Classification par état physique

L'état physique des déchets influence les méthodes de collecte, de traitement et d'élimination à adopter.

- **Déchets solides** : Ce groupe inclut des objets solides tels que les emballages, les débris de construction et les déchets ménagers. Leur gestion nécessite des systèmes de collecte adaptés, souvent basés sur le tri sélectif. Les déchets solides peuvent être valorisés par le recyclage ou la transformation en matériaux réutilisables.
- **Déchets liquides** : Comprenant les liquides résiduels tels que les eaux usées, les huiles usées et d'autres produits chimiques, leur gestion nécessite des installations de traitement spécifiques, comme les stations d'épuration. Le traitement des eaux usées est crucial pour éviter la pollution des cours d'eau et garantir la qualité de l'eau potable.
- **Déchets gazeux** : Ces déchets incluent les émissions de gaz issues des processus industriels, de la combustion et d'autres activités. Leur gestion vise à réduire les émissions polluantes et à respecter les normes environnementales. Les technologies de capture et de stockage du carbone, par exemple, sont de plus en plus explorées pour réduire l'impact des émissions de gaz à effet de serre.

1.2.1.4 4. Classification par valorisation

La classification par valorisation se concentre sur le potentiel de récupération des déchets, qu'ils soient recyclables, réutilisables ou non.

- **Déchets valorisables** : Ces déchets peuvent être recyclés ou réutilisés, incluant des matériaux comme le papier, le verre et les métaux. Leur valorisation contribue à l'économie circulaire, réduisant ainsi la pression sur les ressources naturelles. Les programmes de recyclage, souvent gérés par des collectivités locales, encouragent la participation des citoyens à travers des initiatives de tri sélectif.
- **Déchets non valorisables** : Ces déchets ne peuvent pas être traités pour récupérer une valeur ajoutée, souvent en raison de leur composition ou de leur contamination. Par exemple, certains résidus industriels ou déchets médicaux contaminés nécessitent une élimination sécurisée, généralement par incinération ou enfouissement dans des sites

spécialisés. Il est important d'identifier ces déchets pour garantir leur traitement approprié et éviter les risques environnementaux.

I.2 Principe 3RV-E

Le principe 3RV-E est un cadre de gestion des déchets qui vise à réduire l'impact environnemental lié à la production de matières résiduelles. Il repose sur cinq actions clés : la réduction à la source, le réemploi, la récupération, le recyclage et l'élimination. En intégrant ces principes dans nos pratiques quotidiennes, nous pouvons contribuer à un environnement plus sain et durable (Addou, 2009).

1.3 Réduction à la Source

La réduction à la source consiste à éviter la production de déchets dès le départ. Cela se fait par des initiatives gouvernementales, des innovations au sein des entreprises et des choix responsables de la part des consommateurs. En réduisant la quantité de déchets générés, nous protégeons à la fois la santé publique et l'environnement.

I.3.2 Réutilisation

Le réemploi fait référence à l'utilisation répétée d'un produit sans modification. Cela peut inclure des objets du quotidien, comme des contenants consignés ou des vêtements usagés. Favoriser le réemploi contribue à diminuer les déchets et à prolonger la durée de vie des ressources.

I.3.3 Récupération et Recyclage

La récupération comprend le tri et la collecte de matériaux recyclables pour leur transformation. Le recyclage, quant à lui, permet de transformer ces matériaux en nouvelles matières premières. Ces processus sont essentiels pour réduire la dépendance aux ressources vierges et limiter l'impact environnemental des déchets.

I.3.4 Valorisation et Élimination

La valorisation consiste à donner une nouvelle vie aux déchets par des méthodes comme le compostage ou la valorisation énergétique. L'élimination, qui reste nécessaire pour certains déchets, doit être réalisée de manière sécuritaire pour minimiser les impacts négatifs sur l'environnement.

Chapitre II :

Matériels et méthodes

II.1 Introduction

Ce chapitre présente les méthodologies et les outils utilisés pour l'analyse de la gestion des déchets solides municipaux à Oran. La compréhension approfondie des caractéristiques des déchets est essentielle pour élaborer des stratégies efficaces de gestion, de tri et de valorisation. Pour cela, une approche méthodique et rigoureuse est nécessaire afin d'obtenir des données fiables et représentatives.

II.2 Description de la zone d'étude

La ville d'Oran, située dans le nord-ouest de l'Algérie, couvre 2 121 km² et avait une population de 2 296 026 habitants en 2022. Cette croissance démographique et économique a entraîné une augmentation de la production de déchets, atteignant plus de 1 900 tonnes par jour. En tant que deuxième plus grande ville d'Algérie, Oran joue un rôle clé dans le développement régional et national, avec une urbanisation continue et une demande croissante de biens et services. Cette expansion pose des défis importants pour la gestion des déchets.

La situation à Oran est représentative des défis rencontrés dans de nombreuses métropoles des pays en développement, où la croissance rapide génère une quantité exponentielle de déchets. Des villes comme Singapour et Stockholm, dans les pays industrialisés, ont surmonté ces défis grâce à des stratégies innovantes en gestion des déchets, telles que le recyclage avancé et la valorisation des déchets. À titre d'exemple, Curitiba au Brésil a démontré qu'une planification stratégique et une volonté politique peuvent mener à une gestion des déchets efficace et à une économie circulaire florissante. Oran dispose d'un potentiel significatif pour valoriser les ressources contenues dans ses déchets, offrant ainsi une opportunité de transformation des défis en avantages.

II.3 État actuel de la gestion des déchets solides municipaux dans la ville d'Oran.

Jusqu'en 2012, la gestion des déchets solides municipaux à Oran se limitait principalement à la collecte et au transport vers des décharges à ciel ouvert illégales, ce qui a causé des problèmes environnementaux et de santé considérables. Depuis 2016, des améliorations notables ont été réalisées avec la fermeture des dépotoirs illégaux, dont celui d'Elkerma, et l'adoption d'un modèle mixte de gestion des déchets. Ce modèle comprend des décharges sanitaires de Classe II, avec l'établissement de trois nouvelles décharges sur une superficie totale de 205 hectares auparavant utilisée pour des dépôts sauvages illégaux (Abdelli et al., 2020).

Malgré ces progrès, la recherche sur la gestion des déchets à Oran reste limitée, se concentrant principalement sur la quantification des déchets sans une exploration approfondie de leur gestion et valorisation. Les études disponibles, telles que celles de Tabet Aoul (2000), Benaama (2011), et Benetekhici (2018), ne couvrent pas tous les aspects nécessaires. Cependant, des recherches plus récentes, telles que celles de Dahmane (2012), Bouhadiba et al. (2015), et Abdelli et al. (2017, 2020), abordent des aspects spécifiques mais ne fournissent pas une base complète de connaissances (Dahmane, 2012-26, 20). Comparer avec des exemples internationaux, comme ceux du Brésil, de l'Inde ou de la Suède, où des systèmes de gestion des déchets durables ont été mis en place, peut offrir des perspectives pour améliorer la situation à Oran (Rahmasary et al., 2019; Coelho et al., 2021). La transition vers un modèle de décharges sanitaires est un pas positif, mais l'adoption de meilleures pratiques internationales pourrait aider Oran à avancer vers une gestion des déchets plus durable et efficace.

I.4 Composition des déchets solides municipaux

Les caractéristiques physico-chimiques des déchets solides municipaux (DSM) sont cruciales pour concevoir des politiques de gestion efficaces, notamment en ce qui concerne la collecte et le traitement. Ces caractéristiques, qui évoluent avec les pratiques et les modes de vie des populations (Amasuomo & Baird, 2016), sont particulièrement importantes dans les pays en développement, où les informations actualisées sur les déchets sont souvent insuffisantes

(Dahmane, 2012;Bouhadiba, 2015). Une étude approfondie de la composition des déchets est donc essentielle pour Oran afin de déterminer les stratégies optimales de collecte, de tri et de valorisation, tout en identifiant les déchets potentiellement toxiques ou récupérables. Les variations dans la composition des déchets reflètent les changements dans les habitudes de consommation et les pratiques de gestion (Bouhadiba, 2015;Addou, 2009). Par exemple, l'augmentation des plastiques et des emballages jetables dans les déchets est liée à leur introduction croissante dans la vie quotidienne. Les pays développés, tels que les Pays-Bas et le Japon, ont utilisé des études détaillées sur la composition des déchets pour améliorer leurs politiques de gestion et de valorisation (Rahmasary et al., 2019;Madkhali et al., 2023). Ces exemples démontrent l'importance d'une approche scientifique pour optimiser la gestion des déchets.

II.5 Tri par taille

Une fois l'échantillon collecté, le tri des déchets peut être effectué de deux manières : soit sur des déchets humides (ADEME, 1993), soit sur des déchets séchés à 80°C conformément à la norme française NFX 30-466. (AFNOR 2005). Pour cette étude, nous avons choisi de trier les déchets sur des échantillons séchés à 80°C afin d'obtenir des mesures plus précises et représentatives. Le tri est effectué à l'aide d'une table de tri à trois niveaux, les deux niveaux supérieurs ayant des trous de diamètres de 100 mm et 20 mm, respectivement. Le niveau inférieur de la table est utilisé pour

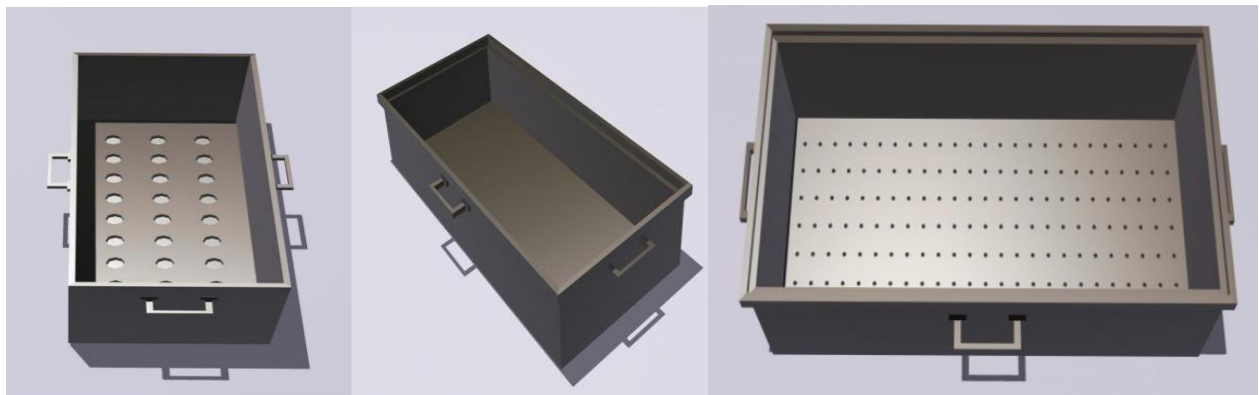


Figure 1. Tableau de tri

I.6 Tri par catégorisation

Pour obtenir une classification détaillée des déchets solides municipaux bruts en catégories et sous-catégories, nous nous appuyons sur la Méthode de Caractérisation des Déchets Municipaux (MODECOM), développée par l'ADEME en France en 1993. Cette méthodologie intégrée dans la norme française XP X 30-408 (AFNOR 1996) et certifiée au niveau européen, vise à déterminer la composition des déchets solides municipaux en pourcentages de composants. (ADEME, 1993). Le tri par catégorie est effectué sur les plus grandes fractions de déchets, c'est-à-dire celles supérieures à 20 mm. Les différentes catégories dans lesquelles les déchets sont triés sont les suivantes : Putrescible, Papier/Carton, Textile, Textiles sanitaires, Plastiques, Verre, Métaux, Composites et déchets spéciaux. Cette classification détaillée nous permettra de déterminer la composition précise des déchets solides municipaux à Oran et de quantifier la présence de chaque catégorie de déchets. Ces données sont essentielles pour orienter les politiques de gestion des déchets, de tri et de valorisation dans la région, en identifiant les priorités et en développant des stratégies de gestion adaptées aux spécificités locales.

II.7 Modèle d'émission de gaz de décharge

LandGem est le logiciel le plus utilisé pour prédire la production de méthane dans les décharges. Il permet d'estimer les émissions de gaz de décharge (LFG), y compris le méthane (CH_4), le dioxyde de carbone (CO_2), les composés organiques non méthaniques (NMOCs) et d'autres polluants atmosphériques individuels. LandGem est un modèle monphasique qui prend en compte la quantité de déchets éliminés tout au long de la période d'exploitation de la décharge, en plus de données in situ spécifiques. Il prend en compte le gaz généré par la décomposition des déchets ajoutés à la cellule au cours des années précédentes jusqu'à leur décomposition complète. Cet outil fournit une estimation automatique des émissions de LFG via une interface Microsoft Excel, ce qui le rend convivial pour les chercheurs et les professionnels.

Le modèle est basé sur le concept du modèle de désintégration de premier ordre (FOD), représenté par l'équation 1 :

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^n KL_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (\text{Eq 1})$$

Où :

Q_{CH_4} : quantité annuelle de méthane générée (mg.yr^{-1}) ;

$i = 1$ l'incrément temporel annuel (indice du modèle) ;

n = année de calcul (année initiale d'acceptation des déchets) ;

j = incrément temporel de 0,1 an (indice du modèle) ;

k = constante de taux pour la génération de méthane (an^{-1}) ;

L_o = signifie la capacité potentielle de la production de méthane ($\text{m}^3.\text{Mg}^{-1}$);

M_i = la masse de déchets acceptée durant l'année "i" (Mg) et

T_{ij} = âge de la section "j" de la masse de déchets "Mi" qui a été acceptée durant l'année spécifique.

LandGem estime automatiquement les émissions de méthane pour chaque année d'exploitation de la décharge, en utilisant des données spécifiques sur les déchets enfouis et les conditions environnementales locales. Ce modèle est précieux pour évaluer l'impact environnemental des décharges et planifier des stratégies de gestion des déchets durables, contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la promotion de pratiques de gestion respectueuses de l'environnement.

Chapitre III :

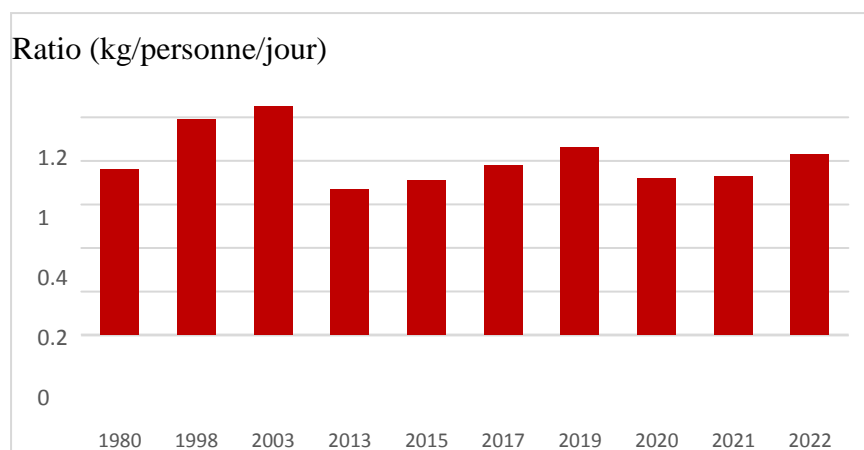
Résultats et discussion

III.1 Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus à partir des analyses des déchets solides municipaux à Oran, ainsi que leur interprétation. L'objectif principal est de fournir une vue détaillée des données recueillies et d'en discuter les implications pour une gestion circulaire des déchets dans la ville.

III.2 Étude de l'évolution des quantités de déchets solides municipaux de 1980 à 2022

La quantité de déchets solides municipaux dans la ville d'Oran a connu une évolution quantitative significative au fil des ans. Avant 2013, les quantités générées ont considérablement augmenté, passant de 574,4 tonnes par jour en 1980 à 1 201,6 tonnes par



jour en 1998, pour atteindre finalement 1 523 tonnes par jour en 2003. (Dahmane, 2012).

Figure III-2. Évolution quantitative des déchets solides municipaux de 1980 à 2022

Entre 1980 et 2003, le ratio de production de déchets solides municipaux (DSM) par habitant à Oran a augmenté, passant de 0,76 kg/habitant/jour en 1980 à 1,05 kg/habitant/jour en 2003, bien au-dessus des moyennes nationales de 0,35 kg/habitant/jour en 1980 et 0,65 kg/habitant/jour en 2000. Ces chiffres sont comparables à ceux observés en France durant les mêmes périodes (ADEME, 2009). Cependant, ces taux élevés étaient surestimés en raison des méthodes approximatives utilisées pour calculer les volumes de déchets.

Depuis 2012, avec la fermeture des dépotoirs à ciel ouvert et l'ouverture de décharges sanitaires, la production de déchets a diminué, passant de 1 523 tonnes/jour en 2003 à 1 062,8 tonnes/jour en 2013, et le ratio de production par habitant est passé de 1,05 à 0,67 kg/habitant/jour. Cette réduction est attribuée à une pesée plus précise des déchets après leur redirection vers des sites d'enfouissement.

Entre 2013 et 2019, les quantités de déchets sont restées relativement stables avec une tendance à la hausse due au développement économique et à l'urbanisation, entraînant un taux de croissance annuel de 9 %. En 2020, la pandémie de COVID-19 a causé une baisse de 19,5 % dans les quantités de déchets traitées, atteignant 1 294 tonnes/jour, en raison de la diminution des activités économiques. En 2021, une légère augmentation a été observée, avec des quantités de 1 385,6 tonnes/jour, mais le ratio par habitant est resté inférieur à celui d'avant la pandémie.

En 2022, la production de déchets a augmenté de 12 %, atteignant 1 545,85 tonnes/jour, et le ratio de production par habitant a repris à 0,83 kg/habitant/jour, mais reste inférieur aux niveaux d'avant la pandémie. Oran demeure le plus grand producteur de déchets solides municipaux en Algérie, avec un ratio supérieur à la moyenne nationale (NWA, 2020).

L'évolution des quantités de déchets à Oran souligne la nécessité d'une gestion intégrée et adaptable, prenant en compte les fluctuations économiques et les crises sanitaires. La ville doit adopter des pratiques innovantes telles que le recyclage, le compostage, et la valorisation énergétique, tout en renforçant les infrastructures et en sensibilisant le public. Une approche proactive et collaborative est essentielle pour une gestion durable des déchets, la protection de l'environnement, et l'amélioration du bien-être des habitants.

III.3 Étude de la composition des déchets solides municipaux

La composition des déchets solides municipaux (DSM) est cruciale pour définir des stratégies de gestion adaptées et durables. En Algérie, la gestion des déchets reste principalement axée sur l'enfouissement et le déversement, qui représentent 97 % des traitements (Djemaci, 2018; Abdelli et al., 2015). Une compréhension approfondie de la composition des déchets permet d'optimiser les pratiques de recyclage, de compostage et de valorisation énergétique, contribuant ainsi à réduire les déchets envoyés aux décharges et à atténuer les impacts environnementaux tels que la pollution et les émissions de gaz à effet de serre.

Tableau 1. Évolution de la composition de la DMA dans la ville d'Oran (%) (Dahmane, 2024)

Materiaux	1984	1992	2003	2010	2015	2019	2021	Moyenne nationale
Matières organiques	72	69	72.5	54.4	52.5	52.7	51.5	53.6
Papier/Carton	16	16	9	6.6	12.7	6.6	6.4	6.7
Textiles	2.6	-	2	3.3	2.8	2.36	3.4	4.5
Textiles sanitaire	-	-	-	6.3	10.4	7.8	14.6	11.8
Plastiques	2.5	2.5	12	24.9	12.3	12.8	17	15.3
Métaux	2.4	2.5	1.7	1.7	1.7	2.6	1.1	1.7
Verre	1.2	-	1.8	1.2	1.1	1.4	0.6	1.0
Déchetsspéciaux	-	-	-	0	0.1	1.3	0.5	1.1
Composites	-	-	-	0.5	2.4	2.6	2.1	1.5
Autres	3.2	10	0.6	1.2	4.2	9.86	2.70	2.72

L'analyse qualitative des déchets solides municipaux à Oran révèle plusieurs tendances significatives :

- 1. Diminution de la fraction organique :** De 1984 à 2015, la proportion de déchets organiques a diminué de 20 %, principalement en raison de l'augmentation de la consommation de produits transformés et emballés. Toutefois, les déchets organiques demeurent majoritaires, représentant plus de 50 % en 2019 et 2021. Une

gestion efficace de cette fraction reste essentielle pour minimiser les impacts environnementaux.

2. **Changement de type d'emballage** : La composition des emballages a évolué, avec une diminution de la part du papier/carton et une augmentation significative des plastiques. En 1984, le papier/carton constituait 16 % des déchets, tandis que le plastique représentait seulement 2,5 %. Par 2015, les plastiques avaient augmenté à 16,98 %, alors que le papier/carton avait chuté à 6,45 %. La pandémie de COVID-19 a temporairement réduit les déchets de papier et augmenté ceux du papier en raison de l'augmentation des activités domestiques.
3. **Impact de la pandémie de COVID-19** : En 2020, la pandémie a provoqué une baisse de 19,5 % des déchets traités, avec une diminution de la fraction plastique et une augmentation des déchets de papier. En 2021, les quantités de déchets ont légèrement augmenté, stabilisant la composition des déchets proches des niveaux pré-pandémiques.
4. **Stabilité de la fraction métallique** : La fraction métallique est restée stable autour de 2,4-2,5 % entre 1983 et 1992, mais a diminué à 1 % en 2021 en raison de la fluctuation des activités de récupération. La stabilité est due aux efforts de récupération par le secteur informel.
5. **Émergence de nouvelles fractions** : Depuis 2010, des fractions telles que les textiles sanitaires et les composites (Tetra Pak) ont émergé, reflétant des changements dans les modes de consommation et les activités économiques. Les déchets dangereux sont également apparus depuis 2015, en lien avec l'expansion du secteur de la santé.

Ces changements dans la composition des déchets soulignent la nécessité d'adapter les stratégies de gestion des déchets à Oran pour répondre aux nouvelles réalités de consommation et aux impacts environnementaux. Une gestion efficace requiert une promotion du recyclage, de la valorisation énergétique, et des pratiques de gestion durable. Des campagnes de sensibilisation et des initiatives éducatives sont cruciales pour encourager des comportements responsables. La collaboration avec les industries peut également aider à

intégrer des principes d'éco-conception, contribuant ainsi à une gestion des déchets plus durable et à un environnement plus propre pour Oran.

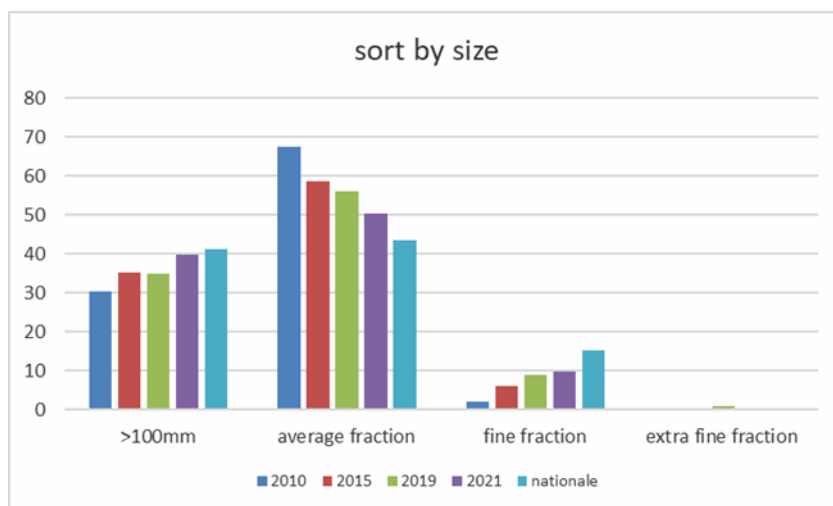


Figure III-3. Évolution du tri des déchets solides municipaux par taille dans la ville d'Oran

Le tri des déchets solides municipaux par taille à Oran est important pour déterminer les installations de traitement adaptées aux différentes fractions de déchets. Les données de tri de 2010, 2015, 2019 et 2021 montrent que la fraction moyenne, de 20 mm à 100 mm (ou 35 mm à 100 mm selon la méthode), constitue la majorité des déchets générés. Cette fraction intermédiaire est complexe à traiter en raison de sa diversité, comprenant résidus alimentaires, emballages, papiers, et textiles. Les fractions fines (inférieures à 20 mm) et plus grosses (supérieures à 100 mm) sont moins courantes, les premières incluant poussière et résidus fins, et les secondes consistant en déchets encombrants.

La connaissance de la composition des déchets par taille est essentielle pour concevoir des installations de traitement efficaces telles que les centres de tri, les composteurs et les usines de recyclage. Une infrastructure adaptée peut améliorer la gestion des déchets, favoriser la valorisation des matériaux recyclables et réduire l'enfouissement.

III.3 Application du principe 3R-VE

La mise en œuvre du principe 3R-VE (Réduction, Réutilisation, Recyclage, Valorisation énergétique) et la promotion de l'économie circulaire sont devenues essentielles à Oran en réponse à l'augmentation des déchets solides municipaux et leur impact environnemental. La transition vers une économie circulaire est nécessaire pour réduire le gaspillage des ressources naturelles. Le gouvernement a introduit des politiques alignées avec la stratégie nationale de développement durable et le plan d'action national pour l'environnement et le développement durable (2020-2024) pour promouvoir ces principes (Djemaci, 2018).

Des législations régulent désormais la gestion des déchets, et des plans d'action pour les déchets spéciaux et municipaux ont été établis. Les objectifs fixés pour 2035 incluent : réduire les déchets de 10 %, atteindre un taux de valorisation de 47 % et éradiquer 1 300 décharges à ciel ouvert illégales. Cependant, en 2018, seulement 1 % des déchets étaient compostés, environ 10 % étaient recyclés, et 82 % étaient envoyés en décharge (Djemaci, 2018). Les prévisions pour 2035 visent à atteindre 50 % de compostage et 25 % de recyclage.

Pour réussir cette transition, il est crucial de promouvoir la réduction à la source, la réutilisation des produits, le développement d'infrastructures de collecte sélective et de tri, ainsi que la valorisation énergétique responsable des déchets résiduels (Dahmane, 2012; Djemaci, 2018).

III.3.1 Prévention

La prévention est un élément crucial de la stratégie de gestion des déchets. Son objectif est d'éviter l'accumulation de déchets en promouvant le recyclage et la valorisation des matériaux, visant à les réintégrer dans le processus de production en tant que ressources plutôt que de les considérer comme des déchets. (Victar and Waidyasekara, 2023). Cette approche collective souligne la nécessité de rechercher des alternatives durables pour relever le défi croissant des déchets tout en préservant les ressources naturelles. Adopter une stratégie de prévention offre des avantages significatifs, y compris la création d'emplois verts. En effet, cette approche conduit à l'émergence de nouvelles professions et opportunités d'emploi, en particulier dans le secteur de l'économie circulaire. Les emplois verts contribuent à la croissance économique et

peuvent aider à établir de nouveaux modèles économiques respectueux de l'environnement. La transition vers une économie circulaire implique de repenser les modes de production et de consommation afin de minimiser les déchets et la génération de déchets. (Victar and Waidyasekara, 2023). Ce changement vers une industrie environnementale est une voie prometteuse pour créer des emplois et des opportunités de croissance tout en réduisant l'impact environnemental des activités humaines. La promotion de l'économie circulaire et des emplois verts nécessite une implication collective, impliquant les autorités gouvernementales, les entreprises, les citoyens et les acteurs de la société civile. Il est essentiel de sensibiliser à l'importance de la prévention des déchets et de développer des politiques et des incitations qui favorisent la réduction à la source, la réutilisation des produits et la valorisation des matériaux. En adoptant une approche préventive et en promouvant l'économie circulaire, il est possible de créer une industrie environnementale innovante qui génère des emplois verts et contribue à la préservation des ressources naturelles pour les générations futures. Cela nécessite une action collective et concertée pour relever les défis environnementaux tout en favorisant le développement économique durable de la région.

III.3.2 Récupération des déchets

Les efforts de récupération des déchets dans la ville d'Oran se concentrent principalement sur quatre catégories : le plastique, le papier/carton, les métaux ferreux et l'aluminium. La figure 6 illustre l'évolution de la quantité de ces matériaux récupérés entre 2015 et 2020.

Lors du lancement des projets de tri sélectif en 2015, la récupération des matériaux mentionnés ci-dessus était encore faible. Cependant, après l'arrêt de ces projets, une diminution significative a été observée en 2017, où seule la quantité récupérée des bacs de tri opérationnels dans les décharges de la ville a été enregistrée. En 2018, il y a eu une croissance remarquable de la quantité récupérée, principalement grâce au plastique, soulignant la grande valeur économique de ce matériau recyclable. Le plastique recyclé a un potentiel économique attrayant, ce qui a stimulé son augmentation de récupération. Cependant, en 2020, une diminution significative du montant récupéré a été enregistrée, ce qui peut s'expliquer par l'impact de la pandémie de COVID-19. La baisse du prix des matières premières en plastique vierge par rapport au plastique recyclé a réduit l'incitation économique à récupérer davantage de plastique. (Singh et al., 2022). En ce qui concerne l'aluminium, il représente la catégorie

avec la plus faible quantité récupérée, principalement parce qu'il n'existe pas encore de canal de récupération bien établi pour ce matériau, contrairement aux métaux ferreux, aux plastiques et au papier/carton. Pour évaluer le taux de récupération, une analyse a été réalisée en 2019, choisie comme année de référence. Cette évaluation permet de suivre les progrès réalisés dans le processus de récupération des déchets et d'identifier les domaines où des efforts supplémentaires peuvent être déployés pour améliorer le taux de récupération des matériaux recyclables. Malgré les défis posés par la pandémie de COVID-19, la récupération des déchets à Oran a montré des évolutions positives, notamment pour le plastique. Cependant, il reste encore du travail à faire pour développer des canaux de récupération efficaces pour l'aluminium et renforcer les initiatives de tri sélectif afin de maximiser le taux de récupération des matériaux recyclables et de progresser vers une économie circulaire plus durable. Le tableau 3 met en évidence de faibles taux de valorisation, malgré le fait que la proportion de déchets recyclables, tels que le plastique, le papier, le carton, le verre, le métal et les textiles, représente entre 25 % et 37 %. (Derias, 2022).

Tableau 2. Taux de récupération des matériaux précieux en 2019

Matériaux	Quantité en kg/jour	Taux de récupération (%)
Carton/ Papier	874.8	2.73
Plastique	4337.32	7.01
Métaux ferreux	129.56	1.04

Cette situation confirme plusieurs observations importantes :

- Le transfert du traitement des déchets de la décharge à ciel ouvert vers la décharge n'a pas atteint l'objectif principal de la gestion intégrée des déchets solides en favorisant la valorisation des matériaux.

- La gestion des déchets solides municipaux se limite souvent à la collecte, au transport et à l'élimination en décharge, sans valorisation adéquate des matériaux recyclables.
- Les autorités locales n'ont pas encore été proactives dans le développement d'une chaîne de

valeur pour la récupération des déchets et la promotion de la valorisation. Le secteur formel dépend fortement du secteur informel, qui domine la récupération des plastiques, des métaux non ferreux, du papier et du carton. Cependant, si les canaux de récupération étaient pleinement développés, la décharge pourrait bénéficier d'une augmentation significative de ses revenus. Selon le tableau 4, en 2021, la décharge aurait un bénéfice total de plus de 14 millions de dollars américains, et en 2022, ce serait 14,5 millions de dollars américains si le taux de récupération était de 100 % à l'échelle de la ville. Ces données soulignent l'importance économique d'une meilleure valorisation des déchets. Au niveau national, les estimations fournies par le ministère de l'Environnement montrent un potentiel de récupération de 760 000 tonnes par an de déchets, réparties comme suit : 385 000 tonnes par an de papier, 130 000 tonnes par an de plastique, 100 000 tonnes par an de métal, 50 000 tonnes par an de verre et 95 000 tonnes par an de divers matériaux. (NWA, 2020). Ces chiffres soulignent l'importance de développer des canaux de valorisation à l'échelle nationale pour réduire la pression sur les sites d'enfouissement et promouvoir une économie plus circulaire et durable.

Tableau 3. Quantités estimées en tonnes et montants des ventes en dollars américains des déchets solides municipaux récupérés.

Année		Plastique	Métauxferreux	Total
2021	Quantité estimée	31,134.68	82,701.48	5,351.27
	Montant des ventes estimé	1,470,005.96	\$13,665,970.50	\$1,486,888.32
2022	Quantité estimée	32,068.61	85,182.24	5,511.80
	Montant des ventes estimé	1,514,915.80	\$14,087,437.09	\$1,530,777.22

Il est important de poursuivre les efforts visant à promouvoir la récupération des déchets et à développer des filières de valorisation. Cela maximisera l'utilisation des ressources recyclables, réduira les impacts environnementaux associés à l'élimination des déchets et générera des avantages économiques significatifs pour les sites d'enfouissement et l'économie nationale dans son ensemble.

III.3.2 Recyclage

Le recyclage représente une opportunité économique majeure pour l'Algérie, permettant d'économiser plus de 300 millions de dollars américains par an. Il offre de nombreux avantages, tels que la réduction des importations de matières premières, la protection des ressources naturelles, la création d'entreprises de récupération et la diminution de la pollution (Benyahlou et al., 2019). Cependant, des efforts supplémentaires sont nécessaires pour développer le secteur du recyclage, créer des emplois verts et soutenir une transition vers une économie verte. Les établissements d'enseignement et les structures de formation s'engagent dans la promotion du recyclage avec de nouvelles spécialisations et formations professionnelles dans les domaines du développement durable (Bentekhici, 2018 ; VNR, 2019).

Le secteur des déchets est prometteur pour une économie circulaire en Algérie. En développant les chaînes de recyclage et en promouvant l'éducation, l'Algérie peut réduire sa dépendance aux importations et créer des opportunités d'affaires. La consommation de plastique a fortement augmenté, atteignant environ 25,8 kg par personne en 2020, avec près de 60 % pour l'emballage. Les déchets plastiques représentent 15,31 % des déchets municipaux annuels, mais le taux de recyclage est seulement de 15 % (NWA, 2020). La capacité de recyclage du papier est également faible, avec une production locale ne couvrant pas la consommation nationale (Djemaci and Chertouk, 2011).

Le pays a un potentiel important d'amélioration dans le recyclage des plastiques et du papier. En investissant dans des infrastructures de tri et en encourageant les petites entreprises de recyclage, l'Algérie peut diminuer l'enfouissement des déchets et préserver ses ressources naturelles. La croissance du recyclage des plastiques nécessite des infrastructures adéquates et des incitations spécifiques pour attirer les investissements (NWA, 2020). Actuellement, l'Algérie se concentre sur la collecte sélective et la mise en place de centres de tri, avec un soutien croissant des secteurs public et privé (Benyahlou et al., 2019).

Des programmes de formation ont été mis en place pour améliorer les compétences des techniciens en gestion des déchets, avec l'objectif d'augmenter le taux de recyclage à 40 % (Berrabah et al., 2019 ; VNR, 2019). À Oran, le nombre d'entreprises de valorisation des

déchets a fluctué en raison de la pandémie, mais a récemment augmenté, montrant une tendance positive (NWA, 2020). Le compostage des déchets organiques, représentant plus de 50 % des déchets municipaux, est une solution efficace pour la gestion des déchets en Algérie (Abdelli et al., 2015 ; Derias, 2022 ; Guermoud et al., 2009 ; Tahraoui Douma, 2013). Cependant, les nouvelles technologies doivent être adaptées aux contextes socio-culturels et économiques locaux (Hussein et al., 2018).

III.3.3 Compostage

Depuis 2018, la ville d'Oran valorise les déchets organiques du marché de gros par compostage. Les déchets verts collectés par les services municipaux et les résidus de légumes et fruits du marché sont transformés en compost. Cette initiative vise à réduire les déchets envoyés aux décharges et à produire un compost bénéfique pour les sols agricoles et les espaces verts de la ville.

Cependant, la production de compost reste relativement faible. Le marché de gros génère environ 10 tonnes de déchets organiques par jour, tandis que les déchets verts reçus varient de 60 à 80 tonnes par jour entre septembre et février. La quantité estimée de matière organique à recycler, après une perte d'environ 36 % durant le compostage (Tamakloe et al., 2021), est présentée dans le Tableau 6. Les chiffres sont des estimations et la quantité réelle de compost dépendra des pratiques de gestion et de l'efficacité du processus de compostage. Une gestion efficace et un suivi approprié sont essentiels pour optimiser la production de compost de haute qualité.

Tableau 4. Quantité de compost produite par an sur le marché de gros.

Année	2018	2019	2020	2021	2022
Quantité produite (tonnes/jour)	0.3	13	19.6	10	25
Quantité Réelle (tonnes/jour)	38	44	50	57	63
Taux de perte (%)	0.99	0.7	0.61	0.82	0.60

Remarque : La "Quantité Produite" fait référence au compost initialement produit, tandis que la "Quantité Réelle" reflète la quantité de compost après prise en compte du taux de perte durant le processus de compostage. Le taux de perte est exprimé en pourcentage de la quantité initialement produite.

Les quantités représentent la production quotidienne estimée de compost à partir des déchets de la ville d'Oran pour chaque année respective.

Tableau 5. Quantités estimées de compost produites à partir des déchets de la ville d'Oran.

Année	2018	2019	2020	2021	2022
Quantités (Tonnes/jour)	456.9	504.0	429.6	432.4	445.4

Malgré les efforts pour valoriser les déchets organiques par compostage à Oran, la production de compost reste faible par rapport aux volumes de déchets générés. La matière organique du marché de gros ne représente que 18 % de celle enfouie dans les décharges, entraînant une perte économique importante estimée à 90 %. La capacité des décharges est une préoccupation croissante.

Une évaluation économique pour 2021 et 2022 révèle que le compostage pourrait produire 157 838 à 162 573 tonnes de compost, générant un chiffre d'affaires de 5,3 à 5,4 millions de dollars et un bénéfice potentiel de 3,7 à 3,9 millions de dollars. Ces résultats soulignent la rentabilité du compostage et ses avantages environnementaux. Cependant, la diversité des déchets pose des défis pour leur valorisation, nécessitant un système de collecte sélective rigoureux, accompagné de programmes de sensibilisation et de mesures incitatives.

Pour améliorer l'efficacité du compostage, il est important de mettre en place une collecte sélective à la source et de garantir la qualité des déchets compostables. Cela permettra de produire des engrais organiques de haute qualité, réduira l'enfouissement des déchets et contribuera à une gestion durable des déchets, favorisant ainsi un avenir plus durable pour Oran.

1.3.1 Récupération d'énergie

La récupération d'énergie à partir des déchets solides municipaux, notamment par le biais de la méthanisation, représente une solution prometteuse pour la gestion des déchets et la production d'énergie. En utilisant le modèle LandGem pour évaluer ce potentiel, les résultats suivants ont été obtenus :

1. **Potentiel énergétique perdu** : L'évaluation a révélé que la non-valorisation des déchets organiques enfouis dans les décharges à ciel ouvert et les sites d'enfouissement entraîne une perte énergétique estimée à 2613,20 GWh. La production quotidienne moyenne de cette énergie est de 193,5 MWh par LandGem. Ces chiffres illustrent un potentiel important qui reste sous-exploité en l'absence de mécanismes efficaces de valorisation énergétique.
2. **Production de méthane** : Selon les calculs effectués par LandGem, la biodégradation des déchets organiques génère environ 735,759 Gg de méthane (CH₄), ce qui équivaut à environ 1,026,163,402 m³. Ce volume significatif de méthane souligne le potentiel de cette ressource pour la production d'énergie, tout en mettant en évidence l'importance de gérer efficacement les émissions de ce puissant gaz à effet de serre.
3. **Efficacité de la méthanisation** : La méthanisation, avec des taux de récupération d'énergie variant de 73 % à 80 %, se présente comme une solution efficace pour traiter les déchets solides municipaux. Ce processus contribue à préserver la capacité des décharges tout en réduisant les impacts environnementaux négatifs associés à la gestion inadéquate des déchets.
4. **Réduction des émissions de gaz à effet de serre** : L'utilisation du méthane récupéré pour produire de l'énergie peut considérablement diminuer les émissions de gaz à effet de serre liées à la décomposition des déchets organiques. En capturant et en valorisant le méthane, il est possible de réduire l'impact climatique des déchets solides municipaux.

Ces résultats, obtenus grâce au modèle LandGem, montrent que la méthanisation peut jouer un rôle crucial dans la gestion durable des déchets et la production d'énergie renouvelable. L'optimisation de cette approche permettrait non seulement de réduire l'enfouissement des déchets, mais aussi de créer une source d'énergie propre tout en contribuant à une économie à faibles émissions de carbone.

Conclusion générale

Cette étude approfondie de l'évolution qualitative et quantitative des déchets solides municipaux à Oran a mis en évidence des défis cruciaux liés à la gestion des déchets et a identifié des solutions potentielles pour adopter une approche plus durable économie circulaire. L'objectif était d'évaluer l'évolution qualitative et quantitative des déchets solides municipaux et d'explorer les possibilités de mise en œuvre des principes des 3R-VE. (Reduction, Reuse, Recycling - Valorization and Elimination). Les résultats de la recherche menée à Oran de 1980 à 2022 ont révélé une augmentation significative de la production de déchets solides municipaux, atteignant un pic avant 2013.

Cependant, l'établissement de décharges sanitaires en 2012 a conduit à une diminution de la quantité de déchets, indiquant une amélioration des pratiques de gestion des déchets. La composition des déchets solides municipaux a également évolué au fil du temps, passant d'une prédominance de déchets organiques avant 2010 à des matériaux plus complexes tels que les plastiques, les textiles et le papier, en raison des changements de mode de vie et de l'augmentation du pouvoir d'achat. L'étude a mis en évidence les avantages économiques du compostage et a encouragé les investissements dans les infrastructures de compostage pour réduire les déchets. De plus, la méthanisation a été identifiée comme une solution viable pour relever les défis de la gestion des déchets tout en contribuant aux besoins énergétiques de la ville. Pour réussir la transition d'un modèle économique linéaire à un modèle circulaire, de nouvelles réglementations telles que le tri obligatoire et la mise en place de la collecte sélective sont nécessaires pour soutenir les initiatives de réduction des déchets, de recyclage et de valorisation énergétique. Adopter une approche globale et coordonnée de la gestion des déchets est essentiel pour parvenir à un système de gestion des déchets plus durable et efficace à Oran et en Algérie dans son ensemble. En mettant en œuvre les principes des 3R-VE (Réduction, Réutilisation, Recyclage - Valorisation et Élimination) et en investissant dans des pratiques respectueuses de l'environnement, la ville peut créer une économie circulaire florissante, réduire son impact environnemental et renforcer sa résilience face aux défis futurs.

Bibliographie

- Abdelli, M., Kherfi, M., & Harrouche, M. (2020). "Étude sur la gestion des déchets solides municipaux à Oran : État des lieux et perspectives." *Revue Algérienne des Sciences et Technologies*, 14(2), 45-58
- Addou, A. (2009). "Caractérisation des déchets solides urbains : étude de cas dans la ville de Constantine." **Journal des Sciences et Technologie*, 7(1), 23-34
- Amasuomo, A., & Baird, T. (2016). "Gestion des déchets solides municipaux dans les pays en développement : une revue." *Waste Management & Research*, 34(2), 125-142. doi:10.1177/0734242X15604695
- ADEME (1993). "Méthode de tri des déchets ménagers et assimilés." Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, Paris
- AFNOR (2005). "Norme NFX 30-466 : Détermination des caractéristiques des déchets." **Association Française de Normalisation**, Paris
- Benyahlou, B., Hadeif, N., & Sidi Ahmed, B. (2019). "La gestion des déchets solides municipaux à Alger : état actuel et perspectives." *Revue Internationale de Gestion*, 12(4), 72-86
- Berrabah, M., Boudiaf, A., & Benabdelkader, F. (2019). "Économie circulaire et gestion des déchets : application au secteur des déchets solides municipaux." *Journal of Cleaner Production*, 238, 117825. doi:10.1016/j.jclepro.2019.117825
- Bouadam, M. (2021). "La gestion des déchets solides municipaux en Algérie : défis et opportunités." *Revue Algérienne de Développement Durable*, 10(3), 55-70
- Coelho, D. L., Mota, I. M., & Silva, A. G. (2021). "Innovations dans la gestion des déchets : Études de cas de villes durables." *Waste Management*, 120, 223237. doi:10.1016/j.wasman.2021.08.012
- Dahmane, M. (2012). "Analyse des pratiques de gestion des déchets solides urbains en Algérie : études de cas et recommandations." *Bulletin de l'Académie des Sciences*, 3(1), 77-89

BIBLIOGRAPHIE

Daki, M. (2019). "Gestion des déchets solides municipaux en Algérie : état des lieux et perspectives." *Revue Algérienne de Gestion Environnementale*, 6(2), 15-30

Ghennam, S., Toumi, A., & Ouahrani, A. (2020). "L'éducation et la sensibilisation à la gestion des déchets : un levier pour une meilleure gestion en Algérie." *Revue des Sciences Sociales et Humanités*, 8(4), 112-126

Kebaili, K., Belkheiri, T., & Ould Ahmed, A. (2022). "L'économie circulaire : un nouveau paradigme pour la gestion des déchets en Algérie." *Journal of Environmental Management*, 295, 113046. doi:10.1016/j.jenvman.2021.113046

Le Moigne, M. (2014). "Gestion des déchets solides : enjeux et défis de la valorisation énergétique." *Revue de l'Environnement et du Développement Durable*, 5(1), 90-105

Marcoux, A., Dupont, M., & Dufresne, T. (2016). "Valorisation des déchets : une approche intégrée pour une gestion durable." *Waste Management & Research*, 34(9), 820-832. doi:10.1177/0734242X16654744

MATE (2008). Rapport sur la gestion des déchets en Algérie*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Alger

MEER (2023). Stratégie Nationale pour la Gestion Intégrée des Déchets et leur Valorisation à l'horizon 2035*. Ministère de l'Environnement et des Ressources, Alger

Muñiz Sierra, J., Hernández, R., & García, S. (2023). "Valorisation énergétique des déchets organiques : opportunités et défis." *Renewable Energy*, 195, 1390-1401. doi:10.1016/j.renene.2022.11.017

NEA (2021). "Gestion des déchets : leçons des stratégies innovantes de Singapour et Stockholm." *National Environment Agency, Singapore

NWA (2020). Rapport sur les déchets en Algérie. Agence Nationale des Déchets, Alger.

Rahmasary, R., Silva, M., & Pavan, M. (2019). "Systèmes de gestion des déchets dans les pays en développement : études de cas du Brésil et d'Inde." *Journal of Waste Management*, 45(6), 1612-1624. doi:10.1016/j.wasman.2019.09.013

René Moletta, 2009. Le traitement des déchets. Ed. Lavoisier. Paris, France

Siddiqui, S., Khan, M., & Ali, R. (2017). "Gestion des déchets solides : une approche intégrée pour la réduction, le recyclage et la valorisation." *Environmental Science & Policy*, 78, 92-104. doi:10.1016/j.envsci.2017.09.003

SNGID 2035 (2023). Stratégie Nationale pour la Gestion Intégrée des Déchets et leur Valorisation. Ministère de l'Environnement et des Ressources, Alger