



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ LARBI TEBESSI – TEBESSA
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES MINES



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Option : Minéralurgie

Thème

Elaboration d'une Méthode de Traitement des Résidus solide Urbains

Par:

Ahlem ALLAL

Aicha LAGRA

Devant le jury composé de:

Mourad Salim AOUATI	MAA	Univ de Tébessa	Président
Hamza BENZIAT	MAA	Univ de Tébessa	Encadreur
Mansour Krim	MAA	Univ de Tébessa	Examineur

Promotion 2016/2017



Année universitaire : 2016-2017

Tébessa le : 22-05-2017

Lettre de soutenabilité

Nom et prénom des étudiants :

1- ALLAL Ahlem

2- LAGRA Aicha

Niveau : Master 2

Option : Minéralurgie

Thème Elaboration d'une Méthode de Traitement des Résidus solide Urbains

Nom et prénom du promoteur : BENZIAT hamza

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
<i>Chapitre1 : Recherche bibliographique</i>	
<i>Chapitre2 : Généralité</i>	
<i>Chapitre3 : Caractérisation</i>	
<i>Chapitre4 : Partie spéciale</i>	

Remerciement

Au nom du dieu le clément le miséricordieux

Avant tout nous remercions dieu qui nous a donné la patience de terminer ce travail.

Nous tenons grand merci à Mr Benziat .H pour les efforts faits durant l'année universitaire, et pour leurs conseils précieux.

Nous remercions tous les enseignants de département de Génie Minier.

*Nous adressons notre vif remerciement à tous les personnels de CET DE
CHELEF*

Enfin nous tenons à remercier tous ceux ou celles qui ont eu l'honneur, de près ou de loin, à nous aider à présenter ce travail.

AHLEM & AICHA



Dédicaces

Au nom du dieu le clément le miséricordieux

Je dédie ce travail :

- ❖ *A l'esprit de mon père et l'esprit de mon grand-père*
- *A celle qui ma donnée la vie et que ma vie n'est rien sans elle.*
- ❖ *À ma tendre mère, qui m'a soutenu d'amour et de bonheur :*

Tout ce que je suis, je le doit à elle.

- *A mes frère KADER & BACHIR le plus affectueux celui qui a*
tout donné
- *A mes sœurs KHOULOUD DJHAD*
- ❖ *Pour que je puisse arrivée à mon but qu'il est : vous trouvez ici mes*

Remerciements les plus sincères.

Sa patience et ses prières que dieu lui offre une longue vie et

Une bonne santé

- *A ma chère sœur que j'aime tellement : SOMIA AMAEL*

ANCHA KHANOUS YACINE

- *Toute ma grande famille ALLAL*
 - *Tous mes professeurs.*
 - *Tous mes amis.*

Que dieu me les protège.

AHLEM

Au nom du dieu le clément le miséricordieux

Je dédie ce travail :

- *A celle qui ma donnée la vie et que ma vie n'est rien sans elle,
à ma tendre mère, qui m'a soutenu d'amour et de bonheur :*

Tout ce que je suis, je le doit à elle.

- ❖ *A mon père l'homme le plus affectueux celui qui a tout donné*
- ❖ *Pour que je puisse arrivée à mon but qu'il est ; vous trouvez ici mes*

Remerciements les plus sincères.

- ❖ *A mes frères : MOHAMED KADER AED WAHAB SALIM*

MOKHTAR

- ❖ *A mes sœurs : ZOÛRA KHARA FATMA*

- *A mes chères sœurs que j'aime tellement : SONIA AHLEM*

AMAL

- *toute ma grande famille LAGRA*
- *Tous mes professeurs.*
- *Tous mes amis.*

Que dieu me les protège.

ANCHA

SOMMAIRE

Introduction Générale	1
Chapitre I : Recherche bibliographique	
I.1. Introduction	2
I.2. Caractérisations du gisement	3
I.2.1. Quantité de déchets urbains produits	3
I.2.2. Composition des déchets urbains	4
I.2.3. Méthode de caractérisation des déchets urbains	4
I.2.4. Caractérisation des déchets urbains	5
I.2.5. Composition physico-chimique des déchets urbains	6
I.2.5.1. Densité	6
I.2.5.2. Humidité	7
I.2.6. Paramètres chimiques globaux	7
I.3. Collecte	8
I.3.1. Taux de collecte	9
I.3.1.1. Apport volontaire en containers	9
I.3.1.2. Porte -à- porte par moyens lourds	10
I.4. Moyens de transport	11
I.5. Cout de la collecte	11
I.6. Synoptique des flux et modes de traitement	12
I.7. Exemple de gestion des déchets dans le monde	14
I.7.1. L'expérience Tunisienne	15
I.7.1.1. Les déchets solides en Tunisie	15
I.7.1.2. Les aspects techniques	16
I.7.1.3. L'aspect institutionnel	16
I.7.2. L'expérience Marocaine	17
I.7.2.1. Les Usines de Traitement des Ordures Ménagées (UTOM)	19
I.7.3. L'expérience Suisse	20
I.7.3.1. La gestion des déchets urbains en Suisse	20
I.7.3.2. Principes et objectifs scientifiques et techniques	20
I.7.3.3. Principes et objectifs économiques	21
I.7.4. L'expérience Française	21
I.7.4.1. La politique de la gestion de déchets et la protection de l'environnement	22
I.7.5. L'expérience algérienne	23
I.7.5.1. Evaluation des déchets urbains	23
I.7.5.2. Caractérisation des déchets	24
I.7.5.2.1. Composition des déchets	24
I.7.5.2.2. Propriétés physico-chimiques des déchets urbains	24
I.7.5.3. Projections de la population et de la production des déchets à l'horizon 2020	26
I.7.5.4. Projection de la production du Méthane à l'horizon 2020	26
I.7.5.4.1. Cas de l'enfouissement des déchets et torchage du bio-méthane	27
I.7.5.4.2. Cas de l'enfouissement des déchets et utilisation du bio-méthane	27

I.7.5.5. Scénario de traitement des déchets par compostage et enfouissement total avec récupération et torçage ou utilisation du méthane.....	28
I.7.5.5.1. Cas du traitement des déchets par compostage et enfouissement total avec récupération et torçage du méthane.....	28

I.8. Conclusion.....	29
----------------------	----

CHAPITRE II : Généralité

II.1. Notion historique.....	30
II.2. Définitions	31
II.2.1. Déchets	31
II.2.2. Classification des déchets	32
II.2.2.1. Selon leur nature	32
II.2.2.2. Selon le mode de traitement et d'élimination	32
II.2.2.3. Selon le comportement et les effets sur l'environnement.....	33
II.2.2.4. Quantité des déchets.....	34
II.3. Les déchets ménagers.....	34
II.3.1. Définitions	35
II.3.2. Déchets assimilable aux déchets ménagers	37
II.3.3. Production et évaluation des déchets ménagers.....	37
II.3.3.1. Quantité générées et leur variabilité.....	37
II.3.4. Caractéristiques physico-chimiques des déchets ménagers.....	37
II.3.4.1. La composition.....	37
II.3.4.2. Densité (ou masse volumique)	37
II.3.4.3. Humidité et pouvoir calorifique	37
II.3.4.3.1. L'humidité (H %)......	37
II.3.4.3.2. le pouvoir calorifique.....	38
II.3.4.4. Rapport Carbone/Azote (C/P)	38
II.3.5. Variabilité des différents paramètres.....	39
II.3.6. Intérêt des déchets ménagers.....	39
II.4. l'enlèvement le transport des déchets solides urbains.....	39
II.4.1. La pré-collecte.....	39
II.4.2. La collecte.....	40
II.4.2.1. Les collectes spéciales.....	40
II.4.2.2. la collecte sélective.....	41
II.4.2.2.1. Types de collecte pour tri sélectif	41

II.4.2.2.2. Pratique de la collecte sélective.....	42
II.4.2.3. Les systèmes de collecte	42
II.4.2.3.1. Les récipients.....	42
II.4.2.3.2 Critères de choix du système de collecte	45
II.4.2.3.3. Critères de choix des matériels de collecte.....	45
II.5. Procédés de traitement	45
II.5.1. Procédés de traitement par voie physico-chimique.....	46
II.5.2. Procédés de traitement par voie thermique.....	47
II.5.3 Procédés de traitement par voie microbiologique.....	48
II.5.4. Procédés de traitement par stockage.....	49
II.5.5. Procédés de traitement par voie radiative.....	49
II.6. Conclusion.....	49

CHAPITRE III : Caractérisation

III.1. Introduction.....	51
III.2. Méthodes de caractérisation des résidus solides urbains	51
III.2.1. Zone d'étude.....	51
III.3. Echantillonnage.....	55
III.3.1. Taille l'échantillon.....	56
	58
III.3.2. Organisation	58
III.4. Caractérisation.....	58
	58
III.4.1. Par taille.....	
III.5. Composition physico-chimique.....	59
III.5.1. Humidité (%H)	59
III.5.2. Mesure de la matière organique (solide volatil ou perte au feu).....	60
III.6. Méthode expérimentale du compostage des RSU de la commune de Chlef..	60
III.6.1. Paramètres de suivi du procédé de compostage.....	60
III.6.1.1. Effet exothermique: Température, T°C.....	61
III.6.1.2. Acidité: pH, (u.pH)	61
III.6.1.3. Granularité Granulométrie en %	61

III.6.2. Paramètres de qualité du compost.....	61
III.6.2.1. Teneur en matière organique, MO% (ou matière volatile)/MS mesurée par la perte au feu.....	63
III.6.2.2. Teneur en carbone (C) en mg/g MS ou %C.....	63
III.6.2.3. Teneur N (NTK), en mg/g /MS	64
III.6.2.4. Teneurs en éléments fertilisants (Ca, K, Mg et Na)	64
III.6.2.5. Teneurs en Phosphore total, Pt, mgP2O5.kg-1MS.....	64
III.6.2.6. Teneur en éléments trace métalliques: ETM en mg/kg MS	65
III.6.2.7. Teneur en indésirables ou impuretés en %.....	65
III .6.2.8. Méthodologie.....	65
III.7. Etude du gisement de résidus solides urbains de Chlef	66
III.7.1. Caractérisation Physique.....	66
III.7.2. Ratio de production.....	66
III.8. Conclusion.....	67

Chapitre IV : Partie Spéciale

IV.1. Introduction.....	68
IV.2. Echantillonnage.....	68
IV.2.1. Prélèvement d'échantillon des déchets urbains.....	70
IV.2.2. Poids de l'échantillon des déchets à trier	70
IV.2.3. Nombre de ménagers générateurs de déchets	70
IV.2.4. Produits et refus avant la fermentation en andain	71
IV.2.4. Produits et refus avant la fermentation en andain.....	71
IV.2.6. Conservation des échantillons.....	72
IV.3. Type d'échantillonnage.....	72
IV.3.1. Echantillonnage pour la caractérisation physique.....	72
IV.3.2. Echantillonnage pour la détermination de l'humidité.....	72
IV. 3.3. Echantillonnage pour la détermination de la capacité de rétention d'eau..	73
IV.4. Techniques analytiques	75
IV.4.1. Analyses physiques.....	75
IV.4.1.1. Bilan pondéral.....	75
IV.4.1.2. Température.....	76
IV.4.1.3. Densité apparente.....	76
IV.4.1.4. Caractérisation.....	77
IV.4.1.5. Texte d'Inertes.....	79
IV.4.2. Analyses chimiques.....	79
IV.4.2.1. PH	79
IV.4.2.2. Humidité et matière sèche.....	80

IV.4.2.3. Mesure de la teneur en matière organique (MOT)	81
IV.4.2.4. Carbone	82
IV.4.2.5. Teneur en azote	83
IV.4.2.5.1. Azote Total Kjeldhal NTK.....	83
IV.4.2.5.2. Nitrate, nitrite et ammonium	84
IV.4.2.6. Rapport C/N.....	84
IV.4.2.7. Méthode de détermination de la teneur en métaux	84
IV.3.2.8. Autres.....	85
IV.3.3. Analyses biologiques.....	85
IV.3.3.1. Tests de maturité	85
IV.3.3.2. Tests de respirométrie.....	85
IV.3.3.3. Analyseur de gaz	86
IV.3.3.4. Demande Biologique en Oxygène par méthode manométrique.....	86
IV.4. Traitement informatique des données.....	87
IV.4.1. Etude statistique des résultats.....	87
IV.5. Schéma proposée.....	88
IV.5.1. Schéma du procédé industriel	88
IV.5.2. Différentes étapes du compostage	89
IV.5.2 .1. Préparation du substrat	90
IV.5.2 .1.1. Le tube rotatif de compostage	91
IV.5.2 .1.2. Tri	92
IV.5.2 .1.3. Broyage	92
IV.5.2.2. Fermentation	93
IV.5.2.2.1. Techniques de fermentation	93
IV.5.2.3. Dégradation	94
IV.5.2.4. Maturation	95
IV.5.3. Paramètres techniques du compostage.....	96
IV.5.3.1. Bilans pondéraux	96
IV.5.3.2. Echantillonnage	97
IV.5.3.3. Caractérisation	98
IV.5.3.4. Analyse des paramètres de suivi du procédé	99
IV.5.3.4.1. Paramètres physiques.....	99

IV.5.3.4.2. Paramètres chimiques sur solide	100
VI.5.4. Déroulement du procédé	100
IV.5.4 .1. Sélection du nombre de personnels nécessaires	100
IV.5.4 .2. Choix du jour de démarrage	101
IV.5.4 .3. Choix du flux initial	101
IV.5.5. Fin du procédé : bilan et recommandations	101
IV.5.5.1. Utilisation du compost : marché traditionnel ou marché de rente	101
IV.6. Conclusion.....	102

Bibliographique

Annexe 1 : Liste Tableau

Annexe 2 : Liste Figure

Problématique

La gestion des déchets solides urbains n'a, jusqu'à une époque récente, jamais été traitée de façon méthodique et rigoureuse. Le constat d'aujourd'hui est qu'aucune solution satisfaisante intégrant les aspects environnementaux, législatifs, financiers, n'a encore été trouvée.

Devant l'accroissement des villes, le développement industriel et l'évolution des modes de vie induisant une production croissante des déchets, des techniques de gestion de ceux-ci, utilisées jusque-là dans les villes, méritent d'être reconsidérées.

L'approche traditionnelle de la gestion des déchets solides urbains : collecte, transport et la destination finale de ces déchets- connaît à ce jour des problèmes environnementaux et de santé publique suite aux facteurs suivants :

- Manque de moyens matériels et humains ;
- Problèmes organisationnels en la matière ;
- Manque de moyens financiers ;
- Difficulté de la mise en application des textes réglementaires ;
- Absence de sensibilisation et d'information des habitants envers le sujet.

C'est dans ce cadre que cette étude abordera la gestion des déchets solides urbains sous l'angle environnemental (dégradation du milieu urbain) d'une part et la réduction des déchets par récupération en vue d'une valorisation d'autre part.

Résumé

L'Algérie doit faire face à une augmentation continue des résidus solides urbains (RSU). Cette augmentation est due non seulement à la croissance démographique et au développement économique, mais aussi au changement des modes de production et de consommation de la population algérienne. La gestion des RSU par les autorités locales (communes, daïras et wilayas) connaît des insuffisances pour le tri et la valorisation de certains constituants de la poubelle domestique. Cette gestion nécessite un traitement global du problème de l'organisation de la collecte et du transport, la valorisation et à l'élimination en centres de stockage de déchets ultimes (CSDU) présentant toutes les garanties pour la protection de l'environnement (eaux, sols et air).

Ces difficultés de gestion sont principalement dues à des problèmes organisationnels :
- une collecte insuffisante pose des problèmes d'élimination, - la présence de dépotoirs au sein des zones urbaines, dégrade la qualité de la vie des populations et - les décharges publiques non contrôlées présentent un risque de pollution des eaux souterraines et superficielles.

Dans ce contexte, un traitement par compostage des résidus urbains solides de la commune de Chlef, a été formulé, en lançant une étude sur les possibilités de compostage des RSU à majorité organiques (60-70%). Cette valorisation des résidus sous forme de compost permettrait d'alléger la charge polluante arrivant à la décharge de Meknassa.

Ce travail de recherche-action est orienté sur plusieurs aspects, permettant une caractérisation de fixer tous les paramètres de fonctionnement du procédé, et l'étude de la valorisation agronomique du compost produit sur plusieurs types de cultures en pratique dans la wilaya de Chlef.

Mots clés : Résidus solides urbains, gisement, caractérisation, compostage, valorisation agronomique

Abstract

Algeria has to face a continuous increase of the urban solid residues (MSW) produced in the country. This increase is not only due to the population growth and to the economic development, but also to the change of the modes of production and consumption of the Algerian population. The management of the MSW by the local authorities (municipalities, daïras and willayas) knows inadequacies for the sorting and the valuation of certain constituents of the domestic bin. This management requires a global treatment of the problem which concerns the organization of the collection, the transport, the recycling and composting and the elimination in centers of storage of ultimate waste (CSUW) presenting all the guarantees for the environmental protection (waters, grounds and air).

These difficulties of management are mainly due to organizational problems: - an insufficient collection raises problem of public health and entails important sanitary risks, - the presence of garbage dumps within the urban zones, degrades the quality of life of the populations and - uncontrolled dump sites present a risk of water pollution subterranean and superficial.

In this context, a treatment by composting of the municipal solid waste of the municipality of Chlef, was formulated and presented to the competent authorities of the willaya of Chlef, with a study on the possibilities of composting of the MSW predominantly organic (60-70 %). This valorization of residues in the form of compost would allow relieving the polluting load arriving in the landfill of Mekkassa. This research-action work is oriented on several aspects, allowing a characterization to fix all parameters of operation of the process, and the study of the agronomic valuation of compost produced on several types of crops in practice in the Chlef willaya

.Keywords: municipal solid waste, deposit, characterization, composting, agronomic valorization

ملخص

الجزائر يجب ان تواجه زيادة مستمرة من النفايات الصلبة الحضرية (RSU). تعزي هذه الزيادة ليس فقط في النمو السكاني و التنمية الاقتصادية لكن ايضا الى تغير أنماط الإنتاج و الاستهلاك من سكان الجزائر .

ادارة (RSU) من قبل السلطات المحلية (البلديات الولايات الدوائر) التي تعاني من نقص للفرز و اعادة تدوير بعض مكونات النفايات المنزلية.

هذه الادارة تتطلب المعالجة الشاملة لمشكلة تنظيم جمع ونقل والانتعاش و التخلص من مدافن النفايات المتبقية, مع كل الضمانات لحماية البيئة(الماء التربة و الهواء)

هذه المشاكل هي ادارة يرجع ذلك أساسا الى المشاكل التنظيمية

- عدم كفاية جمع يطرح مشاكل التخلص

-وجود مقالب في المناطق الحضرية

ويحط نوعية حياة السكان و المصبات العشوائية لها خطر تلوث المياه الجوفية و السطحية

ففي هذا السياق والمعاملة مع سماد النفايات الصلبة من مدينة الشلف وقد صيغ من خلال اطلاق دراسة عن الفرص غالبية العضوية(60-70%)

وهذا من شأنه الاستفادة من المخلفات في شكل السماد لتقليل حمل التلوثRSU سماد في الوصول الى التفريغ

ويركز هذا العمل البحوث في عدة جوانب, والسماح لتوصيف اصلاح أي معايير التشغيل العملية ودراسة استخدام الزراعي من السماد المنتج على عدة أنواع من المحاصيل عمليا في ولاية الشلف

كلمات البحث المخلفات الصلبة الحضرية وتوصيف المكامن سماد واستخدام الزراعي

***Introduction
générale***

Introduction générale

Les quantités de résidus solides urbains, RSU, produites annuellement en Algérie sont estimées à 8,5 millions de tonnes. Un algérien en zone urbanisée génère quotidiennement environ 0,7 kg de déchets. Dans les grandes villes, cette production est proche de 0,9 kg/jour/habitant. Ces chiffres sont alarmants au vu de la gestion actuelle des déchets qui se résume en un seul mot d'ordre « *tous les déchets en décharge* ». On est loin de l'idéal de gestion intégrée des RSU préconisée pour les PED. Dont le but est d'éviter les rues jonchées de détritrus. De plus, la collecte régulière des ordures ménagères n'est pas assurée par les services communaux laissant ce soin aux ONG chargées de la pré-collecte jusqu'au dépotoir le plus proche.

Au niveau de la wilaya de Chlef, une quantité de 753 tonnes de RSU est produite quotidiennement par les habitants. La grande partie de ces déchets finit dans des décharges sauvages malgré les efforts des municipalités. La population de la commune de Chlef en génère 120 tonnes par jour. Cette quantité est reçue par le centre d'enfouissement technique de Meknassa, ce qui provoque l'émission de biogaz à effet de serre et de grands volumes de lixiviat non traité actuellement.

Ce programme de recherche est l'une des solutions parmi d'autres pouvant traiter un aspect de l'environnement urbain, la propreté. Il se résume comme suit :

- composter la partie fermentescible pour minimiser le stockage des déchets dans les décharges, éviter l'émission de biogaz et réduire les volumes de lixiviat produits;
- apporter des amendements organiques pour la fertilisation des sols puisque la wilaya a une vocation agricole;

L'intérêt de cette recherche est d'apporter une alternative à l'élimination des RSU. Le tri de certains éléments indésirables peut limiter la contamination de l'environnement et favoriser la récupération de matériaux recyclables, et donc, il réduit significativement les problèmes de pollution, notamment par le compostage de la fraction fermentescible.

Cette recherche s'inscrit dans un contexte de vérification de la faisabilité du compostage au niveau de l'Algérie et spécifiquement dans la commune de Chlef.

Chapitre I

La recherche bibliographique

I.1. Introduction

La production des déchets solides suit la croissance démographique et le développement socio-économique.

Il s'agit donc de maîtriser la gestion de quantités de déchets de plus en plus importantes.

Il y a plusieurs raisons qui justifient cette gestion :

- ❖ les déchets constituent une menace pour la santé humaine et l'environnement et principalement pour les populations voisines des décharges publiques, à cause des nuisances olfactives et des émissions gazeuses dont certaines sont toxiques comme la dioxine, les acides chlorhydrique et fluorhydrique et les métaux lourds dont les concentrations dans l'air sont très importantes à proximité des décharges,
- ❖ La protection des eaux superficielles contre le ruissellement des eaux de pluie à travers la surface des décharges et les lixiviats provenant de la décomposition organique des déchets,
- ❖ La protection de la qualité des nappes d'eau souterraines situées sous ou à proximité des décharges contre l'infiltration des eaux provenant des décharges,
- ❖ La nécessité de préserver ET d'économiser les sols servant au stockage des déchets.

Dans ce qui suit, on se limitera aux déchets solides urbains et leurs gestions dans plusieurs pays dans le monde.

Les déchets solides en zone rurale pourront être traités de façon décentralisée dans des digesteurs pour produire du gaz méthane pour les besoins énergétiques des agriculteurs et des rebuts organiques pour l'enrichissement des sols agricoles.

I.2. Caractérisations du gisement

I.2.1. Quantité de déchets urbains produits

La connaissance de la production des déchets urbains est essentielle dans la planification d'un système de gestion afin de prévoir au mieux le dimensionnement de la collecte et des installations de traitement. De nombreuses études évaluent la quantité des déchets produits, mais les résultats présentés dans le tableau 1 montrent des écarts importants.

Tableau I.1. production de déchets par habitant de plusieurs pays (Source : Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement et du Tourisme.

Pays	Production de déchets Kg/hab./j
Islande	2.8
Algérie	0.8
Norvège	1.9
Allemagne	1.7
Espagne	1.6
Royaume – uni	1.6
Pays-Bas	1.6
France	1
Italie	1.4
Maroc	0.75
Mauritanie	0.21
Mexique	0.59
Etats –Unis	2
Suède	1.2
Portugal	1.2
Belgique	1.2
Grèce	1.2
Chine	0.5
Australie	1.1
Inde	0.46
Cameroun	0.85
Malaisie	1.7

De fortes disparités sont notables entre la production des villes des pays industrialisés (P.I) et celle des villes des pays en développements. Généralement, cette moyenne pour les P.I se situe autour de 1.4 à 1.7 kg/hab./j alors qu'elle est beaucoup plus faible (< 1 kg/hab./j) pour les pays en développements. Les pays développés sont davantage orientés vers une société de consommation et de rapidité d'utilisation avec des produits à durée de vie courte et avec emballages important. Dans les P.E.D les divergences de coutumes entre les villes et les campagnes se retrouvent sur la

production de déchets. En milieu rural, le besoin pour l'alimentation des animaux domestiques et bétail, ainsi que les habitudes de recyclage diminuent cette production, entraînant généralement des écarts entre les résultats, des études ciblées sur une ville précise et la moyenne nationale du pays. En Malaisie, la moyenne nationale se situe entre 0.5 et 0.8 kg/hab./j alors que dans les villes à forte densité, la production de déchets peut atteindre 1.7 kg/hab./j (Tableau 1). Cette production varie également d'un quartier à l'autre à l'intérieur d'une même ville, souvent en fonction du niveau de vie de la population.

I.2.2. Composition des déchets urbains

Les déchets urbains constituent un mélange hétérogène de matériaux ayant des propriétés physiques et chimiques très différentes. Cette composition est largement déterminée par la nature des produits et de leurs emballages ainsi que par les pratiques de consommation.

La connaissance de la composition des déchets est essentielle afin d'apprécier les possibilités de valorisation comme le compostage, la récupération des métaux ou d'autres matériaux recyclable : papiers, verres, plastiques, et d'évaluer aussi la capacité des installations. Les prévisions des impacts sur l'environnement, en évaluant la nature et la quantité des émissions, permettent un meilleur contrôle sur le procédé et une anticipation des difficultés.

Lors de la caractérisation d'un déchet, plusieurs paramètres sont à identifier : les constituants (papiers, verres, fermentescibles), le caractère physico-chimique (densité, humidité), la concentration en éléments carbonés et azotés et la présence de certains polluants.

I.2.3. Méthode de caractérisation des déchets urbains

La composition des déchets urbains étant très hétérogène, il est nécessaire de regrouper les constituants en catégories homogènes. Pour ce faire, plusieurs méthodes de classification et de caractérisation des déchets sont utilisées. Tout d'abord, le prélèvement des échantillons peut-être réalisé en plusieurs points :

- ❖ Chez l'habitant afin de connaître la composition des ordures ménagères réellement produite (Aloueimine S, O 2005 ⁽¹⁾).
- ❖ Sur les sites de transit, pour déterminer la composition des déchets urbains (il faut alors considérer le secteur informel comme précisé ci-dessus).
- ❖ En entrée des centres de traitement.

Le tri peut ensuite être réalisé soit sur déchets humides, soit sur déchets séchés à 80°C (norme afnor NFX 30-466, 2005). Les déchets sont séparés par taille, généralement en 4 fractions (supérieure à 100 mm, 20-100 mm, 8-20 mm et inférieure à 8 mm). Les différentes catégories de constituants sont ensuite séparées. Le nombre de constituants varie de 7 à 53. La méthode de caractérisation la plus répandue en France est le Mode de caractérisation des ordures ménagères (MODECOM ©), qui détaille 12 catégories de constituants : fermentescibles, papiers, cartons, textiles, textiles sanitaires, plastiques, verres, métaux, inertes, complexes, fines inférieures à 20 mm et autres.

I.2.4. Caractérisation des déchets urbains

La composition des déchets varie d'un pays à l'autre, d'une région à l'autre et même d'un quartier à l'autre (Aloueimine S, O 2005 ⁽¹⁾). Par exemple, quelques compositions de déchets urbains peuvent être citées dans différents pays.

Tableau I.2. Composition des déchets urbains dans plusieurs pays (en % massique sur sec).

Pays	Fermentescibles et végétaux	Verres	Plastiques	Papier et cartons	Métaux
Bénin	45		3-4		2
Burkina-Faso	39	3	10	9	4
Egypte	60	2.5	1.5	13	3
Guinée	69	0.3	22.8	401	1.4
Ile Maurice	68	1	13	12	1
Inde	38.6	1	6.03	5.57	0.23
Liban	62.4	5.6	11	11.3	2.9
Malais	30.1	1.5	12	30.8	3.2
Maroc	65-70	0.5-1	2-3	18-20	5.6
Mexique	55	4	4	15	6
Mauritanie	4.8	3.8	20	3.6	4.2
Pérou	34.7	7.1	7.2	6	2.8
Tunisie	68	2	7	11	4
Turque	36.1	1.2	3.1	11.2	4.6
Allemagne	15	9	3	27.5	6.5
Etats-Unis	23.8	5.9	9.4	38.1	7.7
France	29	13	11	25	5

La fraction fermentescible des déchets et surtout dominante dans les pays en développement dépassant 55 % contre 35 % dans les P.I. A l'inverse, la part de papiers, de verres et de matières plastiques s'accroît dans les pays industrialisées, reflétant ainsi

les nouveaux modes de consommation de la population. La part de matière plastique est faible dans les pays en développement (entre 1 et 7 %) tout comme la proportion des métaux potentiellement polluants. Seuls les résultats de la caractérisation des déchets urbains pour Nouakchott sont très divergents. En effet, les fractions fermentescibles et papier cartons sont valorisées au sein même des ménages comme alimentation pour animaux.

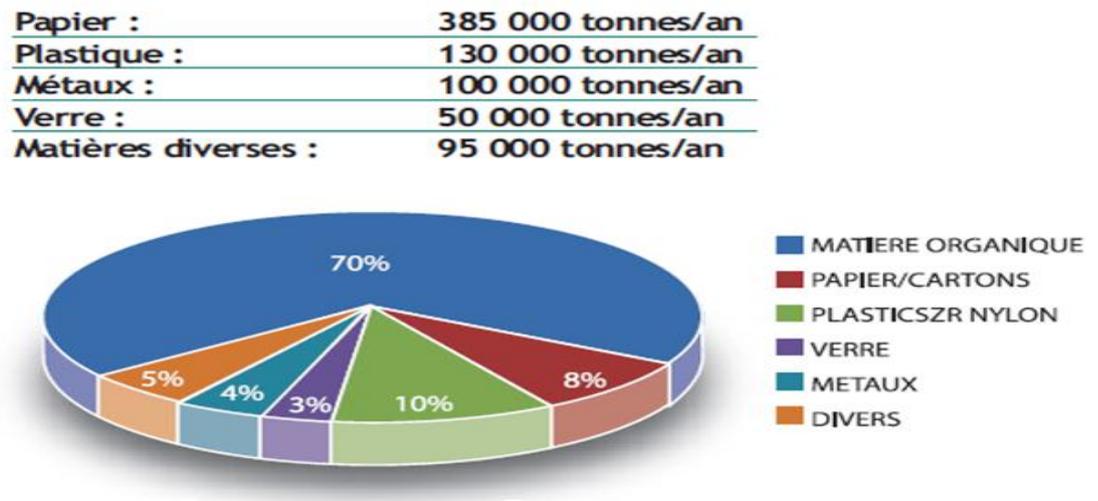


Figure I.1. Composition moyenne des déchets des ménages algériens

I.2.5. Composition physico-chimique des déchets urbains

La connaissance de la composition physico-chimique des déchets permet d'estimer les pollutions possibles sur l'environnement et sur l'homme. Par la suite, il est donc plus facile d'entreprendre des procédures de contrôle et de réduction des émissions polluantes.

I.2.5.1. Densité

La densité des déchets urbains est comprise entre 0.4 et 0.2 en fonction des pays (Maroc 0.35. Tunisie et Colombie 0.3. Malaisie 0.24. Pakistan 0.13). Du fait de la proportion importante de matières fermentescibles et d'humidité dans les déchets, constituants plus lourds, la densité est en moyenne plus élevée dans les P.E.D que dans les P.I (en France, elle est voisine de 0.2).

I.2.5.2. Humidité

La majorité des déchets ont une teneur en eau importante, comprise entre 50 à 95 % (Tableau3).

Tableau I.3. Teneur en eau des déchets urbains

Pays	Burkina Faso	Chine	Corée	Ghana	Maroc	Mauritanie	France	Liban	Algérie
Humidité %	40-60	60-80	70-78	70-95	60-70	9	35	60-75	

L'humidité moyenne des déchets est supérieure à 50% pour les pays en développement.

Elle provient de la nature même des déchets, constitués en forte proportion de matière organique (fruits et légumes). La faible humidité de la ville de Nouakchott provient de la faible proportion de fermentescibles et de papiers cartons (donnés aux animaux) et du climat saharien. En Europe et notamment en France, l'humidité approche 35% due à la faible proportion de matières fermentescibles et au pourcentage non négligeable de plastiques.

I.2.6. Paramètres chimiques globaux

Des exemples de caractérisations chimiques des déchets sont donnés dans le tableau/ suivant :

Tableau I.4. Caractéristiques chimiques moyennes de plusieurs déchets urbains

Paramètres	Tunisie	Malaisie	Espagne	France
Matière organique			51	59.2
Carbone (%MS)		46.11		33.4
Azote (%MS %)		1.26	41.8	0.73
C/N	24.40	36.59		45.75
Hydrogène (%MS)		6.86		Nc
Oxygène (%MS)		28.12		Nc
Souffre (%MS)		0.23		0.28
Chlore (ppm) (MS)		8.840		14
Cd (pm) (MS)	2.86	0.99	2	4
Cr (ppm) (MS)	59.23	14.41	30	183
Cu (ppm) (MS)	128.33	Nc	289	1048
Hg (ppm) (MS)		0.27	Nc	3
Ni (ppm) (MS)	59.60	Nc	Nc	48
Pb (ppm) (MS)	214.7	26.27	206	795
Zn (ppm) (MS)	615.33	Nc	160	1000

Nc : Non communiqué

Le tableau 4 rapporte les valeurs caractérisant le potentiel polluant d'un déchet ménager. Cette pollution est d'origine diverse : organique, minérale et métallique. La matière organique totale (M.O.T) est apportée en grande partie par les fractions fermentescibles mais aussi en part plus faible par le papier et le carton. La matière organique azotée est quant à elle générée principalement par les matières fermentescibles, à moindre titre par les textiles et les combustibles. Les éléments minéraux sont dus aux verres, métaux, sables et graviers retrouvés en forte concentration. Au-delà des sources couramment citées telles que les piles, la présence d'éléments métalliques dans les ordures ménagères peut provenir des pigments utilisés dans la peinture, des papiers colorés d'emballage.

Le pouvoir calorifique inférieur (P.C.I) des déchets est aussi un paramètre nécessaire pour définir la faisabilité d'un traitement par l'incinération. Il est en moyenne assez faible de l'ordre de 1000 Kcal/Kg (Maroc, Tunisie, Cote d'Ivoire et Colombie voire inférieur à 1000 Kcal/Kg en Inde, mais il peut parfois s'élever à 2180 ou 2774 Kcal / Kg respectivement pour la Malaisie ou la Mauritanie (Aloueimine S, O 2005 ⁽¹⁾). Ce P.C.I élevé est favorisé par une faible humidité et un taux relativement important de plastiques.

La forte hétérogénéité des déchets provient d'une multitude de paramètres dont Wicker fait état dans sa communication de 2000 citée précédemment. Les paramètres sont les suivants : le lieu géographique, le climat, la saison, la situation économique, la structure de l'habitat, les équipements collectifs, le niveau et le mode de vie de la population ... Cette hétérogénéité est à la source de la difficulté à trouver des solutions optimales de traitement.

I.3. Collecte

Les grands principes de la collecte des déchets urbains sont indissociables des filières de traitement, et notamment de la qualité des produits valorisés comme dans la filière du compostage.

La collecte traditionnelle des déchets urbains est le système de gestion le plus fréquent. Quotidienne dans certains quartiers, elle fluctue en fonction des dispositions mises en place par les services techniques des villes, du niveau d'organisation (association de bénévoles, O.N.G) et de l'état des infrastructures routières. Le tri sélectif n'est que très rarement envisagé à cause de l'important investissement financier sur le

plan de l'équipement, nombre de poubelles et augmentation de la fréquence de ramassage, mais aussi à cause du manque de formation et sensibilisation de la population.

I.3.1. Taux de collecte

Le taux de collecte ou taux de couverture de la collecte est un indicateur fréquemment rencontré dans la littérature scientifique, pour son intérêt dans l'évaluation des performances techniques du service de collecte. Le tableau 5 regroupe les taux de collecte des déchets urbains dans plusieurs villes.

Tableau I.5. Taux de couverture de la collecte des déchets urbains

Pays	Ville	Caractéristique de la collecte	Taux de couverture formels
Burkina Faso	Bobo-Dioulasso	A.V & P.A.P	57 %
Cote d'Ivoire	Abidjan	P.AP & A.V	60 %
Gana	Accra	A.V & P.A.P	60 %
Guinée	Conakry	Pré-collecte & P.A.P	10 %
Inde	Chennai		82 %
Indonésie	Denpasar	Pré-collecte & A.V	70 %
Mali	Bamako	Pré-collecte	45 %
Pérou	Lima		60 %
Sierra Leone	Freetown		80 %
Vietnam	Hanoi	Pré-collecte & A.V	70 %
Algérie	Moyenne nationale	P.A.P & A.V	80 %

P.A.P : porte à porte, **A.V** : apport volontaire.

I.3.1.1. Apport volontaire en containers

L'apport volontaire (A.V) est le dépôt des déchets par les habitants (la ménagère ou un des enfants de la famille) en un endroit où le service de collecte pourra les enlever. Les containers sont déchargés, comme précédemment, au niveau d'un site de transit, puis acheminés à la décharge par moyens lourds, ou directement transportés à la décharge. Ce système n'est plus utilisé pour les déchets urbains bruts (sauf pour des

habitations isolées) mais plus souvent pour des matériaux recyclables (verres, papiers cartons, plastiques ...). Il reste par contre très répandu en Asie et en Afrique.

I.3.1.2. Porte -à- porte par moyens lourds

La collecte en porte à porte (P.A.P) concerne surtout les centres administratifs et les quartiers résidentiels d'un certain standing. La collecte s'effectue par moyens lourds (camions spécialisés ou non, tracteurs) devant chaque ménage puis les camions déversent à la décharge. Cependant, selon la taille de la ville ou la capacité des bennes, le déchargement est réalisé au niveau d'un centre de transit et sera ensuite acheminé à la décharge.

Ces méthodes ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients, dont les responsables de gestion locale doivent avoir conscience pour choisir la solution la mieux adaptée aux conditions spécifiques de leur ville. Les paramètres principaux guidant le choix des décideurs locaux décrits dans le Tableau au-dessous

Tableau I.6. Comparaison des modes de collectes des déchets urbains

Modes de collecte	Avantages	Inconvénients
Pré-collecte ou collecte primaire		
	<ul style="list-style-type: none"> - Coût faible (fonctionnement, entretien et réparation). - Création d'emploi (collecteurs et fabricants de charrettes). - Collecte des points difficiles d'accès. - Collecte de tous quartiers. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre d'intervenants. - Irrégularité des fréquences de collecte. - Recouvrement irrégulier et anarchique de la taxe ou de la redevance.
Post-collecte ou collecte secondaire		
	<ul style="list-style-type: none"> - Rupture dans la chaîne de transport 	<ul style="list-style-type: none"> - Zone de transit (emplacement protection)
Collecte par A.V	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement moyen. - Participation de la population, prise de conscience des habitants. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre limité de containers et volume réduit. - Distance faible à parcourir - Aménagement du lieu de stockage des containers. - Irrégularité des fréquences de collecte
Collecte en P.A.P	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité - Propreté des quartiers administratifs et touristique 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'une voirie en bon état. - Coût élevé (fonctionnement et réparation). - Collecte « sélective » des quartiers à haut standing.

I.4. Moyens de transport

L'une des caractéristiques majeures des villes en développements est l'insuffisance et le mauvais état des voies de circulation. Elles sont souvent mal entretenues et ne permettent pas une bonne circulation des camions de collecte. De plus, les véhicules sont chers et peu disponibles sur le marché local. Les différents types de collecte des déchets urbains nécessitent des modes de transport urbain allant des plus rudimentaires (charrettes) aux plus sophistiqués comme par exemple des camions benne.

I.5. Cout de la collecte

Chaque mode de collecte et de transport engendre des dépenses en fonction du nombre d'habitants desservis, de la sophistication des équipements et du volume de déchets collectés. Les coûts réels sont souvent mal estimés : de nombreuses dépenses supplémentaires sont oubliées comme l'inflation, l'amortissement sur le matériel, les assurances. Le coût de collecte augmente avec le niveau de développement des pays, cela se concrétise par une amélioration du service via l'utilisation d'équipements plus sophistiqués. Le tableau 7 présente des prix de revient de la collecte pour plusieurs villes africaines, avec des systèmes pluridisciplinaires comme le P.A.P, l'A.V ou la pré-collecte. Ils semblent assez élevés mais les modalités du calcul et le mode de gestion employé ne sont pas connus.

Tableau I.7. Prix de la collecte

Pays	Ville	Prix de revient (€/m ³ enlevé)
Burkina Faso	Ouagadougou	1.8
Cameroun	Yaoundé	7
Guinée	Conakry	3
Maroc	Rabat	9
Sénégal	Dakar	8
Algérie	Alger	5

I.6. Synoptique des flux et modes de traitement

En France, l'organisation des filières de la gestion des déchets permettant de suivre l'évolution des flux est présentée en figure 02.

Le tri-compostage est le seul procédé de valorisation biologique présenté dans le schéma en l'absence d'exemple pratique d'une valorisation

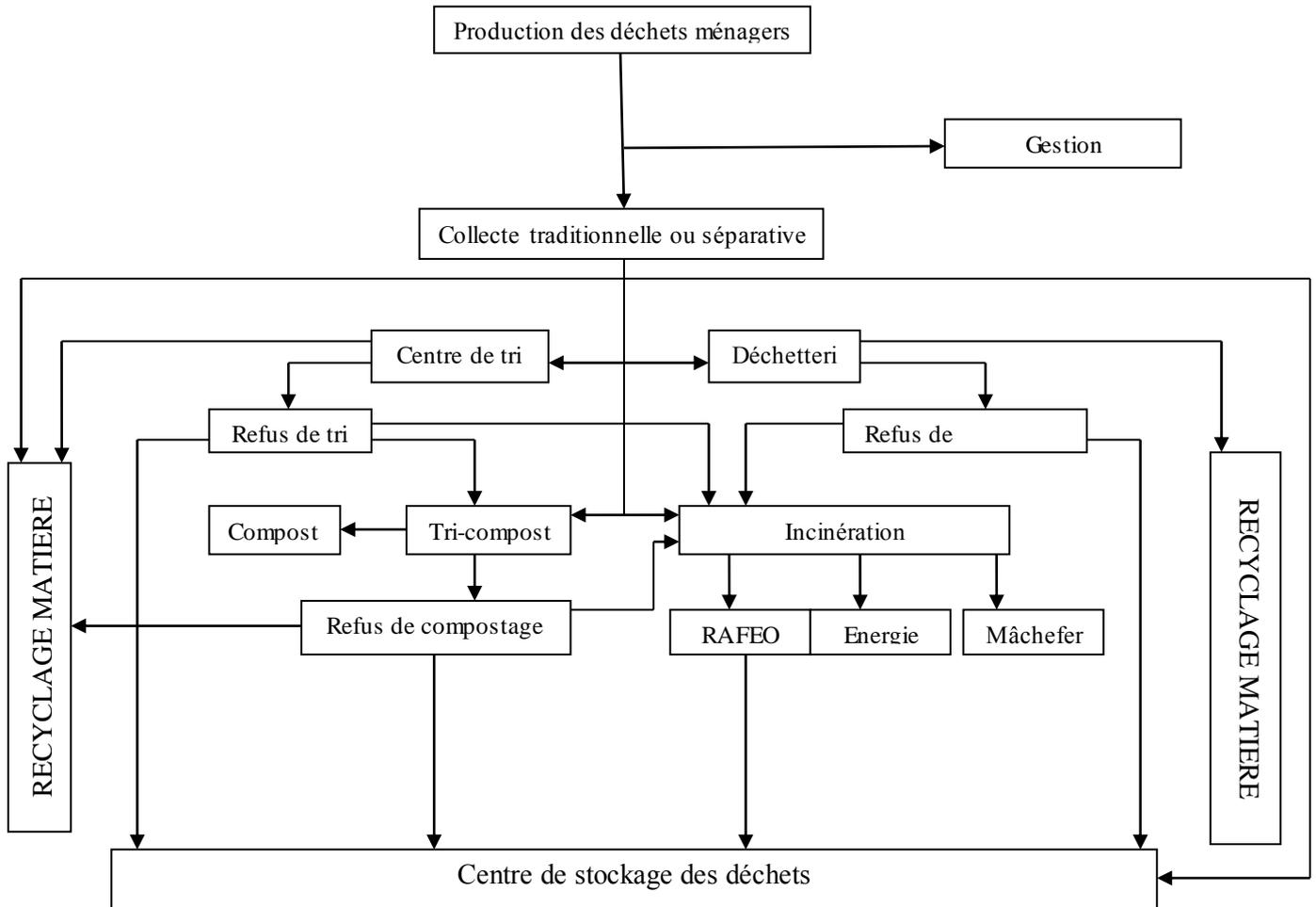


Figure I.2. Synoptique des flux de déchets ménagers.

Le tonnage, ou le pourcentage, des déchets dirigés vers chaque filière est calculé à partir des flux traités, cela permet de prendre en considération, outre les flux collectés, les quantités qui ont fait l'objet d'un apport volontaire.

Le choix d'une filière de traitement particulière ou d'une combinaison de filières (gestion multi-filière) dépend de plusieurs paramètres socio-économiques, géographiques et technique dont : la présence de matières recyclables, le tonnage à traiter, les coûts d'investissement et de fonctionnement, l'existence ou non de sites bien adaptésEtc.

Le stockage reste le premier exutoire des déchets municipaux dans la majorité des pays européens surtout à Malte et au Royaume-Uni (81%) (Tableau 08), le premier par manque de moyens et le deuxième par présence d'un sol argileux et absence d'aides publiques incitant au recyclage.

Tableau I.8. Les filières de traitement des déchets ménagers dans quelques pays européens

Pays	Recyclage %	Compostage %	Incinération %	Incinération SVE %	Décharge %	Total %
France	12	9	28	5	46	100
Espagne	11	18	10	0	61	100
Allemagne	36	9	23	0	38	100
Danemark	22	16	52	0	10	100
Pays-Bas	24	24	38	0	14	100
Portugal	7	6	19	0	69	100
Royaume Uni	11	0	7	0	81	100
Malte	11	19	0	0	81	100
Norvège	22	9	15	0	55	100

*SVE. Sans valorisation énergétique

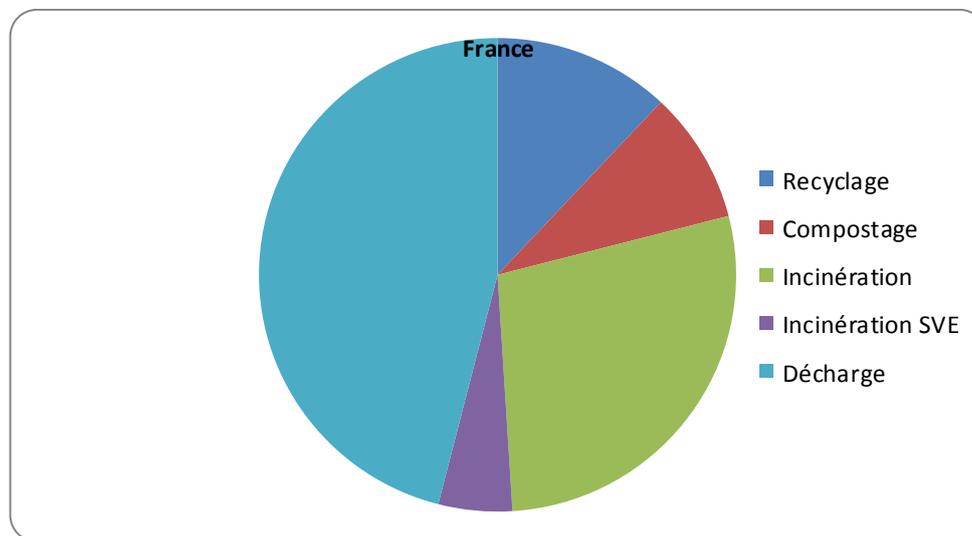


Figure I.3. Traitement des déchets ménagers en France, distribution par filière.

C'est le cas aussi en France où le stockage absorbe 46% du flux, suivi par l'incinération 33% (28% avec valorisation énergétique et 5% sans valorisation énergétique SVE (figure 03)

Tableau I.9. Evolution des modes de traitement des déchets ménagers en France entre 1993 et 2000

Année	Recyclage %	Compostage %	Incineration %	Incineration SVE %	Décharge %	Total %
1993	7	8	26	11	48	100
2000	12	9	28	5	46	100

Entre 1993 et 2000 (Tableau 09), on a pu remarquer une très légère diminution de pourcentage des déchets en partance vers les décharges (48 et 46% respectivement), même remarque concernant l'incinération mais cette fois la diminution est un peu plus forte (37% en 1993 et 33% en 2000). Troisième exutoire des déchets municipaux, le recyclage des matériaux a enregistré une sensible augmentation entre 1993 et 2000 (7 et 12% respectivement). Dans la même période, une légère augmentation a concerné le compostage. Quatrième et dernier mode de traitement, il est-il est passé de 8% en 1993 à 9% en 2000. Les statistiques concernant le compostage cachent une grande différence entre compostages d'ordures ménagères en recul, et compostage des déchets verts en forte progression.

Cette dynamique de chiffre reste encore insuffisante pour atteindre les objectifs de la circulaire de 1998 à cause de la poursuite de la progression du flux total à traiter.

I.7. Exemple de gestion des déchets dans le monde

Le fait de s'intéresser aux expériences appliquées par les pays voisins (Maroc, Tunisie) et pays européens (entre autres la suisse et la France) en matière de gestion des déchets urbains et du développement durable, c'est parce que nous relevons une identité presque totale des problèmes qui se posent en ces domaines entre ces territoires. D'une part, le processus de dégradation de l'environnement qui est dû essentiellement aux quantités importantes de déchets de toutes nature qui ne cessent d'augmenter en volume au fil des ans, d'autre part les stratégies adoptées par ces pays pour gérer aux mieux ce phénomène, notamment quand on sait qu'il est reconnu qu'on ne peut appliquer un programme de développement durable que si l'on n'a pas résolu ces problèmes à la source, et d'une manière globale comme cela se pratique avec ces expériences d'avant-garde qui nous intéresse à plus d'un titre car les ambitions pour ce développement doivent concerner les collectivités locales, les associations, les groupes spécialisés ...

I.7.1. L'expérience Tunisienne

A l'instar des pays du Maghreb la Tunisie souffre du phénomène de la production rapide des déchets ménagers ou industriels qui sont de types très variés portants de graves risques sur l'environnement (pollution des ressources en eau, l'air et le sol), sur le développement économique (le tourisme à titre d'exemple présente le secteur le plus important en Tunisie voir les dommages que porte les déchets sur les paysages et les sites touristiques), et sur la santé publique (atteintes à la propreté et à l'hygiène) présentant ainsi un ensemble compliqué de nocivité de biodégradabilité et de réutilisation.

Cette production, trouve ces origines, notamment dans la croissance démographique et urbaine, et aussi dans l'amélioration du niveau de vie et du développement économique du pays. C'est dans ce cadre que la Tunisie a adopté une stratégie nationale en matière de gestion des déchets urbains, solides en particulier inscrite dans le cadre du développement durable, dont une réglementation a été mise en place et les objectifs ont été clairement énoncés.

I.7.1.1. Les déchets solides en Tunisie

Tableau 1.10. Répartition par secteur des déchets industriels hors Phosphates et secteur minier (en tonne).

SECTEURS	Quantité en %
Industries agro-alimentaires	16
Industries des matériaux de construction de la céramique et du verre	13
Industries chimiques	09
Industries mécaniques, métallurgiques, et électriques	40
Industries textiles d'habillement et de cuire	16
Divers	06

Par ailleurs, les quantités importantes des déchets solides en particulier ménagers produites en Tunisie (comme l'indique le tableau 10), nous permet de constater que les ordures végétales constituent la majeure partie des déchets solides (soit 68%) ce qui explique leur dominance organique, pour cela actuellement, les pouvoirs publics et les collectivités locales encourage l'élimination de ces déchets par le compostage, néanmoins toutes ces valeurs varient d'une manière significative selon les saisons et les

régions et la difficulté des problèmes ne provient pas seulement de l'aspect quantitatif mais aussi de l'aspect qualitatif de ces déchets liés notamment à leur toxicité et à la sévérité des impacts environnementaux et des risques qu'ils comportent .

Tableau I.11. Composition des déchets solides en Tunisie

COMPOSANTS	Quantité en %
Ordures végétales	68
Plastiques cuire et caoutchouc	07
Métaux	04
Substances diverses	05
Papiers et cartons	11
Textiles	03
Verre et céramique	02

I.7.1.2. Les aspects techniques

Les sélections techniques maintenues sont :

- ❖ La réduction à la source : (cette action concerne aussi bien l'entreprise que les ménages)
- ❖ Le recyclage et la valorisation : (nécessitant une collecte sélective, une mise en place de filières de recyclage économiquement viables). Le compostage représente la forme la plus intéressante à développer en Tunisie ceci revient du fait de la forte proportion de déchets organiques ; l'enfouissement ainsi que d'autres formes d'élimination.
- ❖ Dans le domaine du traitement des déchets industriels, trois solutions sont prises en considération: (La réduction à la source qualitative et quantitative, L'utilisation des technologies propres, Le recyclage interne ou externe).

I.7.1.3. L'aspect institutionnel

En Tunisie, une mise en place d'un cadre approprié permettant de regrouper et de mobiliser les capacités ainsi que les compétences nécessaires au développement d'une gestion durable dans le secteur des déchets solides. Ces compétences regroupent:

- ❖ Le Ministère de l'environnement et de l'Aménagement du Territoire (MEAT) chargé de l'élaboration de la réglementation et de la normalisation, de la préparation des programmes nationaux, de l'agrément des investissements, du

lancement d'opérations de démonstration, de l'assistance aux collectivités locales et aux industriels dans la gestion des déchets et de la sensibilisation du public.

- ❖ L'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE) ; dont le département des déchets solides participe à la définition de la stratégie de gestion et de l'embellissement des villes, agréé les études en matière de collecte, de tri, de transport, de traitement, d'élimination et de valorisation des déchets, recense les sources de pollution résultant des déchets solides, etc.
- ❖ L'Office National de l'Assainissement (ONAS) ; chargé de la réalisation et de l'exploitation des unités de traitement des ordures ménagères dans 11 villes dans le bassin versant de la Medjerda.
- ❖ La Direction Générale des Collectivités Publiques Locales (DGCPL), au Ministère de l'Intérieur ; chargée de la création et de la gestion des décharges contrôlées et de la création des unités de traitement des ordures. Elle gère actuellement les décharges du Grand Tunis.
- ❖ L'Agence Municipale de Traitement et de Valorisation des Déchets (AMTVD) ; créée en 1990 pour gérer les décharges dans le District de Tunis (29 municipalités), après que l'ONAS s'en est retiré.
- ❖ Les communes, chargées de la collecte, du tri, du traitement, de l'enlèvement et de l'enfouissement des ordures dans des décharges contrôlées.

I.7.2. L'expérience Marocaine

Au Maroc, la production des déchets est en augmentation constante, et les collectivités locales connaissent de leur part, comme dans d'autres pays en développement, une augmentation des rejets urbains, notamment des ordures ménagères. Selon les statistiques les plus récentes, la production des déchets solides ménagers est estimée à 6.5 millions de tonnes par an, dont 85 % sont collectés et le reste est mis en décharge (non contrôlées) sans aucune forme de contrôle ou de traitement. Ceci revient au moyens limitée dont dispose de nombreuses communes marocaines associées à des services spécialisés non améliorés et ce qui a fait que cette gestion est rarement bien assurée. En outre la majorité des décharges contrôlées sont arrivées à la saturation ou en cour d'exploitation et des dépôts sauvages semblent apparaître.

Les problèmes dus aux divers pollutions et nuisances causés par ces déchets font naître une véritable prise de conscience à tous les niveaux (autorités, citoyens, ONG...) et leur gestion est devenue l'une des préoccupations majeures et prioritaires de la

politique environnementales au Maroc. Cette prise de conscience a été illustré, évidemment, par :

- ❖ La sonnette d'alarme tirée par le Roi Hassan. II en date de 30 septembre 1996 en vue de prendre des mesures urgentes et efficaces pour la sauvegarde de la propriété des villes.
- ❖ En 1998, le Ministère de l'Environnement a élaboré un avant-projet de loi relatif à la gestion des déchets solides et leur élimination. Ce projet de loi fixe comme objectif principal de prévenir la pollution, de protéger la santé de l'homme et de l'environnement contre les effets nocifs dus à ces déchets. Il prévoit aussi d'informer le public et d'imposer la réduction de la production des déchets, la valorisation, la mise en décharge contrôlée, l'organisation du transport. Le projet classe également les décharges en trois catégories selon la nature des déchets.
- ❖ En 2000, la création de la fondation Mohamed VI pour la protection de l'environnement.

Du point de vue technique, le compostage est le mode de traitement des déchets qui a été choisi comme le procédé le plus adapté à la nature des déchets produits au Maroc (voir tableau N° 12). Quelques villes ont disposé des usines de traitement des ordures ménagères, malgré cela, l'ensemble de ces usines ne fonctionne pas actuellement à cause de :

- ❖ La technique utilisée qui n'est pas adaptée à la nature des ordures ménagères du Maroc car les déchets produits au Maroc sont plus humides que ceux produits en Europe.
- ❖ Problème de gestion et manque d'entretien des usines de traitement des ordures ménagères,
- ❖ Problèmes financiers : la filière de vente et d'utilisation du compost n'a souvent pas été bien mise en place

Tableau I.12. Caractéristiques des déchets solides au Maroc

COMPOSANTS	Caractéristiques
Matière fermentescible	67 % de la quantité globale des déchets
Taux d'humidité	Taux élevé 60 à 70 %
Densité	Forte 05
Densité	Faible 1000 Kcal/kg

A l'heure actuelle, pour la problématique des décharges publiques, des études de choix de site de décharge contrôlée ont été réalisées dans quelques villes du Maroc: Wilaya de Rabat-salé, Grand- Casablanca, Fès, Glumim, Khoribga et Essaouira.

En ce qui concerne le traitement par compostage, la Direction Générale des Collectivités Locales (DGCL) en collaboration avec des bureaux d'études spécialisés en France, a piloté des expérimentations pour adapter les processus aux conditions locales (cas de la ville d'Agadir et Rabat-Salé).

I.7.2.1. Les Usines de Traitement des Ordures Ménagées (UTOM)

A partir des années 60 ; cinq ville marocaines ont été équipées d'unités de compostage, à savoir : Casablanca, Rabat, Marrakech, Tétouan et Mekhnès. Ces unités, conçues sur la base de modèles européens, ont fonctionné suivant le schéma ci-dessous :

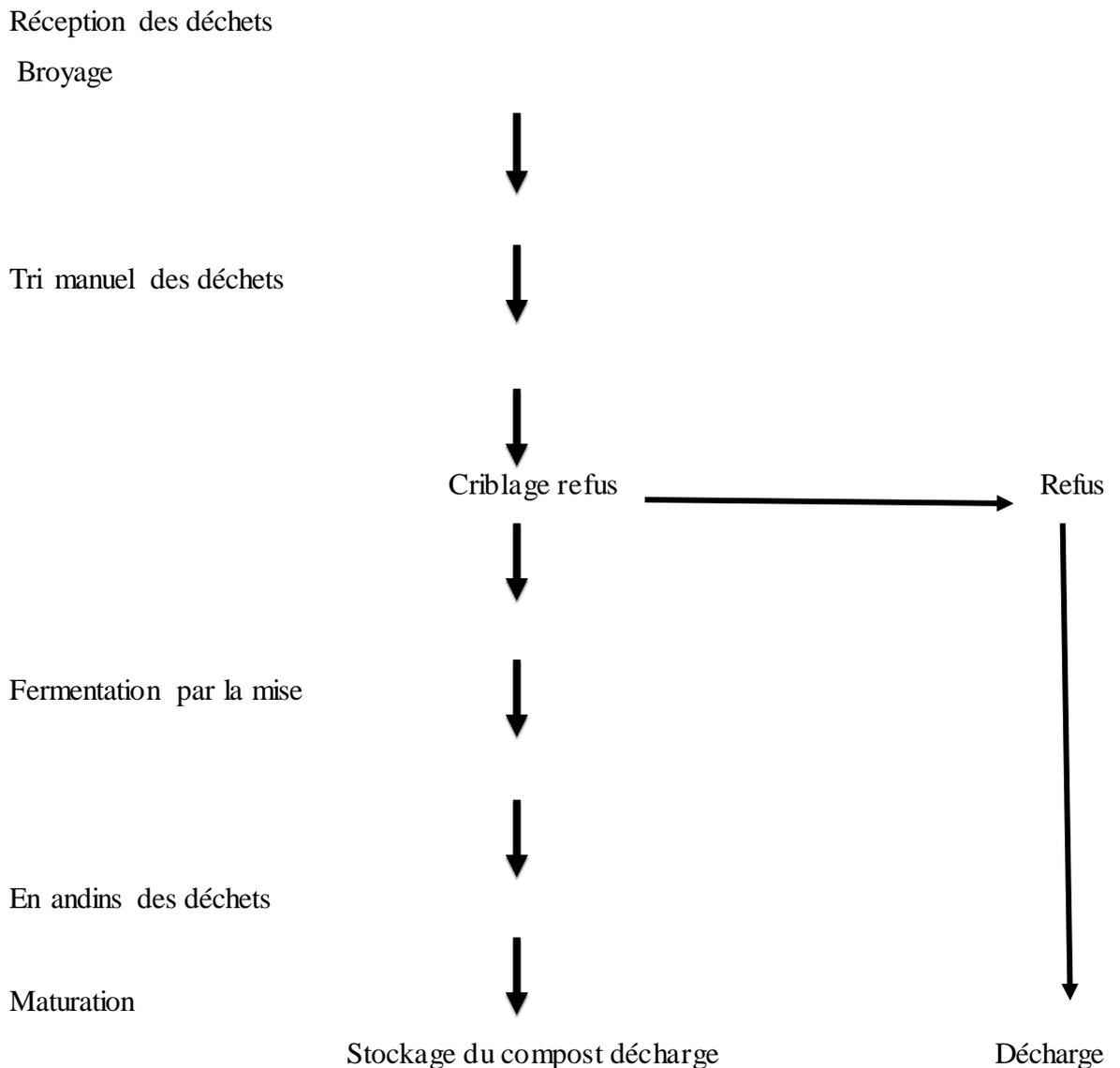


Figure I.4. Unité de compostage en Maroc

I.7.3. L'expérience Suisse

La gestion des déchets en Suisse est en pleine évolution, ceci revient à l'application du principe pollueur/payeur (report des coûts d'élimination des déchets sur les pollueurs), la disponibilité de l'information et l'amélioration des procédures de coordination même supra régionales, elle deviendra pour cela encore plus économique.

La valorisation des déchets prend aussi de sa part une place très importante en Suisse : « la valorisation et l'élimination des déchets urbains coûtent chaque année environ 1,2 milliard de francs. A cela s'ajoute encore un milliard de francs pour l'élimination des déchets de chantier et des déchets spéciaux. Ainsi, la gestion des déchets représente environ 0,6% du produit intérieur brut. Cela correspond à la moyenne des pays comparables d'Europe occidentale. Chaque année, nous devons traiter environ 1'150 kg de déchets (déchets urbains, déchets de chantier et déchets spéciaux).²⁵

En outre, l'évolution suisse dans la gestion et l'élimination des déchets urbains revient aussi aux exigences que reflète la stratégie nationale en la matière, en tenant compte de toutes formes de déchets, liquides et solides, (déchets urbains, industriels et agricoles) et ce à l'échelle de la commune, de la région, voire à l'échelle nationale.

I.7.3.1. La gestion des déchets urbains en Suisse

Des exigences relatives aux installations de traitement des déchets urbains en suisse ont été récemment ordonnées par la confédération suisse. On trouve leurs origines dans les lignes directrices pour la gestion des déchets (1986), et dans l'ordonnance sur le traitement des déchets (OTD) en rapport avec les installations d'incinération et de compostage (1991). Ces exigences ont permis de réduire le taux de pollution relatif aux déchets, ceci grâce à l'introduction des taxes à la charge des pollueurs (Pollueurs/payeurs) et la constitution de réserves financière pour le renouvellement des installations, ce qui a permis aux communes de se décharger des coûts de l'élimination de certains types de déchets.

I.7.3.2. Principes et objectifs scientifiques et techniques

Ces principes indiquent qu'après traitement, les déchets se répartissent en deux catégories: les produits recyclables, et les produits aptes au stockage définitif et que les substances organiques ne doivent pas être stockées.

En plus, les procédés de traitement des déchets devront être conçus de telle façon que les substances dangereuses pour l'environnement apparaissent sous une forme concentrée et que les matières non polluantes soient aussi pures que possible, c'est-à-dire qu'elles se présentent sous une forme semblable à l'écorce terrestre ou au sol.

I.7.3.3. Principes et objectifs économiques

- ❖ Les pouvoirs publics n'ont pas à subventionner les installations d'élimination, qu'elles soient privées ou publiques.
- ❖ Les taxes doivent couvrir le traitement des déchets jusqu'au moment du stockage définitif, en fonction des coûts et des risques.
- ❖ Au sein d'une catégorie de déchets, les taxes doivent être calculées proportionnellement aux quantités traitées.
- ❖ Les taxes devraient être prélevées au moment de la production d'un bien, dès le moment où l'on prévoit l'apparition d'un déchet.
- ❖ Les déchets ne doivent être recyclés que si la pollution qui résulte de cette opération est plus faible que lors de l'élimination et de la fabrication de nouveaux produits. A long terme, le recyclage doit être rentable.

I.7.4. L'expérience Française

Présentement, la question des déchets urbains constitue le premier sujet à travers lequel les français pensent pouvoir œuvrer dans leur vie quotidienne pour l'environnement, l'un des enjeux majeurs du développement durable.

Après dix années d'efforts et de premiers progrès, la politique des déchets ménagers et assimilés a aujourd'hui besoin d'une nouvelle impulsion, dont la première priorité est d'œuvrer pour une meilleure protection de l'environnement et de la santé et ce essentiellement aux abords des installations de traitement de déchets. A savoir que 34 incinérateurs hors normes ont été fermés à la cour de ces quatre dernières années, nonobstant, des efforts reste à mener pour réhabiliter les décharges illégales, pour séparer plus complètement les déchets toxiques des ordures ménagères, et même lutter contre l'effet de serre.

La production de déchets croit en France d'environ 1% par an. L'inversion de cette tendance doit constituer une deuxième priorité nationale. Pour cela un plan d'actions global a été constitué en 2003 qui axe particulièrement sur la sensibilisation

des consommateurs et sur la réduction des déchets à la source (dès la conception des produits ainsi que le choix de leurs emballages).



Figure I.5. Décharge sauvage d'ordures ménagères sur le littoral Méditerranéen (France)

I.7.4.1. La politique de la gestion de déchets et la protection de l'environnement

En France, et comme dans tous les pays industrialisés, les quantités des déchets urbains ; ordures ménagères ou déchets industriels n'arrête pas de s'accroître. Les quantités des déchets ménagers est à l'ordre de 28 millions tonnes par an, une production qui a plus que doublé en trente ans pour atteindre, actuellement, en moyenne plus de 460 Kg par personne et par an. Tout en notons que la part des grandes agglomérations est beaucoup plus lourde que celles des communes rurales dont la majeure partie de ces ordures aboutit, dans la plupart des cas après compactage, dans des décharges. En outre, une moyenne de 30 000 tonnes par jour d'ordures ménagères sont brûlées dans près de trois cents incinérateurs dispersés sur le territoire français (cendres volantes et résidus d'épuration des fumées, très chargés en métaux lourds et polluants divers) avec lesquels le potentiel énergétique est récupéré sous forme de chaleur et d'électricité.

En résumé, le but de la politique française est de produire moins de déchets à la source et de valoriser ou de recycler ceux qui subsistent.

1.7.5. L'expérience algérienne

1.7.5.1. Evaluation des déchets urbains

La population totale du pays en 1994 était de 26.743.075. La population urbaine était de l'ordre de 18.957.586. L'année 1994 a été choisie comme référence au niveau mondial pour l'élaboration des émissions des gaz à effet de serre. La production des déchets urbains est fonction de l'importance des diverses agglomérations.

Pour son évaluation, on a adopté, suite à des enquêtes menées au niveau national, les critères suivants :

- ❖ Production de 0,5 kg/habitant/jour pour les populations agglomérées inférieures à 300.000 habitants et totalisant 4.281.597 habitants.
- ❖ Production de 0,6 kg/habitant/jour pour les populations agglomérées comprises entre 300.000 et 600.000 habitants et totalisant 8.058.073 habitants,
- ❖ Production de 0,7 kg/habitant/jour pour les populations agglomérées supérieures à 600.000 habitants et totalisant 6.617.916 habitants.

Cependant, les taux ci-dessus devront être majorés, suite à une enquête menée en 1995, de 0,15 kg/habitant/jour pour tenir compte de la quantité de déchets industriels non ou peu toxiques qui sont déposés directement en décharges publiques. Ce qui donne une estimation de la quantité totale des déchets à 14.500 tonnes par jour soit une production annuelle de l'ordre de 5.292.500 tonnes pour l'année 1994.

Ce total n'inclue pas les déchets de la population rurale et les déchets industriels stockés au niveau des entreprises ou sur sites désignés. Le taux de collecte des déchets mis en décharge est estimé à 80 % du total des déchets produits.

Tableau I.13. Performance technique des déchets ménagers solides en Algérie

PERFORMANCE TECHNIQUE

• Déchets municipaux

- Couverture de la collecte des DMS :	
en zone rurale	~ 60%
en zone urbaine	~ 85%
- Destination finale des DMS:	
- Compostés :	0%
- Recyclés :	4 - 5%
- Mis en décharge :	15%
- Déversés :	~ 80%
- Nombre de décharges contrôlées	
- En cours d'étude:	27
- En cours construction:	42
- Construites:	32
- En voie de lancement :	~10

1.7.5.2. Caractérisation des déchets

1.7.5.2.1. Composition des déchets

En se basant sur des enquêtes réalisées à Oran et à Alger (ANPE-1992), nous avons estimé la composition massique des déchets. Les matières organiques, représentent plus des 2/3 de la masse totale des déchets.

Tableau I.14. Composition des déchets dans les villes d'Alger et d'Oran

	Alger (2005) %	Oran (2005) %	Moyenne %
Matières organiques	66,6	69	68
Papiers cartons	11,5	16	14
Matières plastiques	7,3	2,5	5
Métaux	1,2	2,5	2
Autres	13,4	10	12

1.7.5.2.2. Propriétés physico-chimiques des déchets urbains

D'après l'enquête de Kittelberger, les propriétés physico-chimiques des déchets urbains peuvent être décrites comme suit :

- ❖ Densité moyenne : 0,25 tonne par mètre cube
- ❖ Teneur en eau : 49,1 %
- ❖ Fraction des déchets supérieurs à 40 mm est de l'ordre de 88,7 %
- ❖ Teneur en substances volatiles : 35,2%
- ❖ Teneur en cendres : 15,7 %
- ❖ Pouvoir calorifique: 5800 kilojoules par kilogramme de déchets.

La fraction de carbone organique dégradable (COD) déterminée à l'aide de la formule de l'IPCC (Intergouvernemental Panel for Climatique Change) qui se trouve dans le guide 1996 de l'inventaire des émissions des gaz à effet de serre est de 16 % (pourcentage en poids). L'incinération des déchets nécessitera un apport d'énergie externe. Ce qui constitue une contrainte majeure, en termes économiques, dans l'hypothèse de l'incinération pour produire de l'énergie électrique.

1.7.5.3. Projections de la population et de la production des déchets à l'horizon 2020

Les projections relatives à la population sont celles estimées par le CNES en 1997. La progression du taux de production des déchets tient compte du fait que plus la population urbaine n'augmente et plus le taux de production des déchets ne croît. Les émissions des gaz à effet de serre, comme le méthane (CH₄), le gaz carbonique (CO₂) et l'oxyde nitreux (N₂O) par les déchets, dépendent de la façon dont les déchets sont stockés ou traités.

A l'heure actuelle, les déchets solides urbains ne sont pratiquement pas traités. En effet, ils sont stockés à l'air libre dans des décharges non contrôlées qui émettent directement les gaz à effet de serre et les polluants. Le méthane constitue un important gaz à effet de serre puisque son pouvoir de réchauffement global dans l'effet de serre est 21 fois plus important que le gaz carbonique. Il convient donc de limiter ou de réduire son émission directe dans l'atmosphère.

Les solutions, qui sont proposées, ont pour objet de transformer une partie des déchets en compost et d'enfouir une partie dans des décharges contrôlées. Le but est de récupérer le méthane produit par les déchets enfouis et de le brûler ou de l'utiliser.

Ces solutions découlent des engagements de l'Algérie vis à vis de la Convention Cadre sur les Changements climatiques (CCCC) qui recommande à tous les pays de limiter et de réduire les émissions des gaz à effet de serre dans l'atmosphère pour protéger la planète contre le réchauffement dû aux activités humaines et en particulier la production des déchets.

Tableau I.15. Projections relatives à la population et aux déchets urbains à l'horizon 2020

Année	1994	2005	2010	2020
Population totale (millions de personnes)	26.7	34.8	38.0	44.3
Population agglomérée (millions de personnes)	19	24.4	26.6	31.0
Taux de génération de déchets (kg/habitant/an)	0.8	0.9	1.0	1.2
Production des déchets (millions de tonnes/an)	5.3	8.0	9.7	13.6
Taux de collecte (%)	80	80	80	80
Quantité de déchets déposés en décharges publiques (millions de tonnes/an)	4.2	6.4	7.8	10.9

1.7.5.4. Projection de la production du Méthane à l'horizon 2020

En se basant sur l'évolution de la population et le taux de production des déchets, on peut estimer en milliers de tonnes la projection de la production du méthane par les déchets urbains. On voit que les émissions de méthane vont plus que doubler à l'horizon 2020 si l'on ne prend pas des mesures pour remédier à la situation actuelle.

Tableau I.16. Projections relatives aux émissions de méthane

Année	1994	2005	2010	2020
Pourcentage de déchets traités		12.5	25.0	50
Quantité de déchets traités (millions de tonnes/an)	0	0.8	2	5.5

1.7.5.4.1. Cas de l'enfouissement des déchets et torchage du bio-méthane

Le tableau suivant donne les caractéristiques techniques du traitement d'un million de tonnes de déchets qui consiste à l'enfouissement total des déchets, la récupération du bio-méthane produit et son torchage.

Tableau I.17. Enfouissement des déchets et torchage du bio-méthane (unité de base: 1 million de tonnes de déchets).

Paramètres	Valeur
Quantité de déchets (millions de tonnes)	1
Rendement des décharges (%)	80 %
Quantité de bio-méthane produit (milliers de tonnes)	43
Coût d'investissement pour assurer le torchage (millions de dollars)	3.5
Coût de fonctionnement annuel (millions de dollars)	02 – 0.7
Revenu annuel	Néant

1.7.5.4.2. Cas de l'enfouissement des déchets et utilisation du bio-méthane

Le tableau suivant donne les caractéristiques techniques du traitement d'un million de tonnes de déchets qui consiste à un enfouissement total des déchets, la récupération du bio-méthane produit et son utilisation. Dans ce cas, il faut incorporer :

Les coûts liés aux investissements relatifs aux installations de stockage et de régulation du bio-méthane produit au niveau des décharges,

Les coûts liés au fonctionnement et à la maintenance des installations qui sont plus élevés que dans le cas précédent.

Tableau I.18. Enfouissement des déchets et utilisation du bio-méthane (unité de base : 1 million de tonnes de déchets)

Paramètres	Valeur
Quantité de déchets (millions de tonnes)	1
Rendement des décharges (%)	80 %
Quantité de bio-méthane produit (milliers de tonnes)	43
Coût d'investissement pour assurer l'utilisation de bio-méthane (millions de dollars)	10
Coût de fonctionnement annuel (millions de dollars)	0.5 à 2
Revenu annuel	1 à 6

1.7.5.5. Scénario de traitement des déchets par compostage et enfouissement total avec récupération et torchage ou utilisation du méthane

Dans ce scénario, 50 % de la masse des déchets organiques (soit 42 % de la masse totale des déchets) sont transformée en compost et la quantité restante des déchets soit 58 % de la masse totale des déchets sera enfouie.

Le compostage nécessitera un coût additionnel de 20 dollars par tonne en comparaison avec le coût qui serait induit par son enfouissement. La quantité de déchets enfouis aura une fraction organique massique de 68 % au lieu de 84 % dans les déchets collectés à l'origine. Ce scénario permet une économie d'usage du sol qui permet aussi un allongement de la durée de vie des décharges; ce qui équivaut à une économie de l'ordre de 5,55 dollars par tonne de déchets compostés.

1.7.5.5.1. Cas du traitement des déchets par compostage et enfouissement total avec récupération et torchage du méthane

Dans ce cas, on considère que le compost fabriqué est distribué gratuitement.

Tableau 1.19. Compostage et enfouissement des déchets avec récupération et torchage du bio-méthane

Paramètres	Valeur
Quantité de déchets traités (millions de tonnes)	1
Masse de déchets compostés (millions de tonnes)	0.42
Masse de déchets enfouis (millions de tonnes)	0.58
Rendement des décharges (%)	80 %
Quantité de bio-méthane produit (milliers de tonnes)	21.5
Coût d'investissement pour la fabrication du compost (millions de dollars)	8.4
Coût d'investissement pour assurer le torchage (millions de dollars)	2.03
Coût de fonctionnement annuel (millions de dollars)	0.1 à 0.4
Bénéfice lié au compostage (gain d'usage du sol) (millions de dollars)	2.33
Revenu annuel (millions de dollars)	Néant

1.7.5.5.2. Cas du traitement des déchets par compostage et enfouissement total avec récupération et utilisation du méthane

Dans ce cas, on considère que le compost fabriqué est distribué gratuitement. Le revenu provient uniquement de la production de bio-méthane comme une source d'énergie compétitive.

Tableau I.20. Compostage et enfouissement des déchets avec récupération et utilisation du bio-méthane

Paramètres	Valeurs
Quantité de déchets traités (millions de tonnes)	1
Masse de déchets compostés (millions de tonnes)	0.42
Masse de déchets enfouis (millions de tonnes)	0.58
Rendement des décharges (%)	80 %
Quantité de bio-méthane produit (milliers de tonnes)	21.5
Coût d'investissement pour la fabrication du compost (millions de dollars)	8.4
Coût d'investissement pour assurer l'utilisation du bio-méthane (millions de dollars)	5.8
Coût de fonctionnement annuel (millions de dollars)	0,29 à 1,16
Bénéfice lié au compostage (gain d'usage du sol) (millions de dollars)	2.33
Revenu annuel (millions de dollars)	0,58 à 3,48

I.8. Conclusion

Le traitement des déchets est une nécessité pour plusieurs raisons:

- ❖ La protection de la santé à cause des diverses nuisances liées aux déchets.
- ❖ La lutte contre la dégradation du sol et des ressources en eau par les déchets.
- ❖ La protection de l'environnement par la réduction des émissions de méthane qui est un puissant gaz à effet de serre responsable du réchauffement planétaire.
- ❖ La maîtrise de la gestion des déchets qui représentent un grand gisement d'économie à travers le recyclage et la valorisation des déchets.
- ❖ La création d'emplois dans la filière "déchets".
- ❖ La maîtrise de la croissance des déchets.
- ❖ L'économie des sols devant servir aux décharges publiques.

Le compostage représente une solution pour l'enrichissement des sols agricoles qui sont pauvres en matières organiques.

Chapitre II

Généralité

II.1. Notion historique

L'image traditionnelle des rues des siècles passés n'est pas très reluisante : eaux stagnantes, cadavres d'animaux, détritiques, etc. Les découvertes scientifiques et médicales ont montré la relation entre les aspects sanitaires et la propagation de fléaux comme la peste ou le choléra.

Quelques dates marquent l'évolution des comportements en matière de déchets et propreté.

En 1185, Philippe Auguste interdit de jeter les ordures par les fenêtres. Vers 1710, Louis XV met en place le premier service d'enlèvement des déchets.

En 1884, le préfet de Paris Eugène Poubelle met en place des récipients métalliques pour collecter les ordures : les poubelles sont nées. Cette même année, une loi stipule que la mission propreté devient une mission d'hygiène et de salubrité publique. Le ramassage mené, l'élimination doit être aussi assurée.

En 1896, la première usine de traitement d'ordures ménagères ouvre ses portes à Saint-Ouen.

Vers les années 1900, la population ouvrière parisienne migre vers la banlieue et de nombreuses usines se développent au Nord de Paris. Au début des années 1920, des chiffonniers s'installent à Aubervilliers (rue Jules Guesde). Déjà la notion de déchet, de tri et de recyclage (valorisation) a un sens pour les professionnels de Seine-Saint-Denis.

La loi du 15 juillet 1975 définit un déchet comme « résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, tout matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur a l'abandon ».

Cette loi stipule qu'une « personne » qui produit ou détient des déchets, dans des conditions de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore ou la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et d'une façon générale à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions de la présente loi, dans des conditions propres à éviter.

II.2. Définitions

II.2.1. Déchets

La notion de déchets peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet.

Parmi les nombreuses définitions existantes, nous pouvons mentionner celles qui nous paraissent les plus intéressantes :

- ❖ Le déchet est un résidu abandonné par son propriétaire, car inutilisable, sale ou encombrant.
- ❖ « Est considéré comme déchet, tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ».
- ❖ Les déchets sont des résidus de l'emploi de matières solides qui peuvent être putrescibles ou non putrescibles.
- ❖ Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses.

La Loi N°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête (officiellement) les définitions des différents types de déchets comme suit :

« **Déchets** tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer. ».

« **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.».

« **Déchets encombrants** let tous déchets issus des ménages qui en raison de leur caractère volumineux ne peuvent être cotés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés.».

« **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. ».

« **Déchets 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. ».

« **Déchets d'activité de soins** tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire.»

« **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 ».

II.2.2. Classification des déchets

II.2.2.1. Selon leur nature

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 du présent guide.

II.2.2.2. Selon le mode de traitement et d'élimination :

Professionnels et chercheurs s'accordent à regrouper les déchets solides en quatre grandes familles, selon :

- ❖ Les déchets inertes: Généralement constitués d'éléments minéraux stables ou inertes au sens de leur incompatibilité avec l'environnement et qui proviennent de certaines activités d'extraction minières ou de déblais de démolition (terre, gravats, sables, stériles, ...etc.)
- ❖ Les déchets banals: Cette catégorie regroupe essentiellement des déchets constitués de papiers, plastique, cartons, bois produit par des activités industrielles ou commerciales et déchets ménagers.
- ❖ Les déchets spéciaux: Ils peuvent contenir des éléments polluants et sont spécifiquement issus de l'activité industrielle (boues de peintures ou d'hydroxyde métallique, cendres d'incinération...etc.). Certains déchets sont aussi dits spéciaux lorsque leur production importante sur un même site entraîne des effets préjudiciables pour le milieu naturel (mâchefers des centrales

thermiques, phosphogypse, ainsi que certains déchets provenant des laboratoires universitaires et hospitaliers...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 le milieu naturel (poussières d'aciéries, rejets organiques complexes, bains de traitement de surface contenant soit du chrome, cyanure ou une forte acidité, les matériaux souillés par les P.C.B. , les déchets de C.F.C. et mercuriels.

A ce titre on distingue :

- ❖ Les déchets inertes: Pouvant être différenciés suivant leur caractère plus ou moins encombrant, en débris plus ou moins volumineux jusqu'aux carcasses d'automobiles, chars, avions, bus,...etc.
- ❖ Les déchets fermentescibles: Principalement 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.).

II.2.2.3. Selon le comportement et les effets sur l'environnement

A ce titre on distingue :

- ❖ Les déchets inertes: Pouvant être différenciés suivant leur caractère plus ou moins encombrant, en débris plus ou moins volumineux jusqu'aux carcasses d'automobiles, chars, avions, bus,...etc.
- ❖ Les déchets fermentescibles: Principalement 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.).

II.2.2.4. Quantité des déchets

La planification repose sur la connaissance des données concernant la quantité et la qualité des déchets. L'expérience nous a montré que plus le niveau de vie s'élève, plus les quantités de déchets ne s'augmentent. Mais beaucoup d'autres facteurs, que nous énumérons ci-dessous, déterminent aussi les quantités de déchets :

Les 8 facteurs sont :

1. Education.
2. Niveau de vie.
3. Structure urbaine.
4. Système de tarifs.
5. Infrastructure de recyclage.
6. Système de collecte.
7. Développement industriel.
8. Economie national.

II.3. Les déchets ménagers

II.3.1. Définitions

La grande majorité des services chargés de la gestion des déchets des différents pays définissent les ordures ménagères comme un ensemble de résidus hétérogènes dans lesquelles on trouve:

- ❖ Les détritiques de toute nature générés par les ménages (déchets de nourriture, de préparation de repas, balayures, textile, journaux etc.).
- ❖ Les déchets de bureaux, commerces, industries et administrations, déchets des cours et jardins dans la mesure où ces déchets peuvent prendre place dans une limite à fixer, dans les récipients individuels ou collectifs aux fins d'enlèvement par les services municipaux;
- ❖ Les crottins, fumier, feuilles mortes, bois résidu du nettoyage et du balayage de la voirie, jardins, cimetières, parcs, etc., rassemblés aux fins d'évacuation.
- ❖ Les détritiques de foires, Souks et marchés, etc. ...
- ❖ Les résidus des collectivités (cantines, écoles, casernes, hospices, prisons ... etc.), ainsi que les résidus des hôpitaux ayant un caractère ménager que l'on rassemble dans des récipients appropriés.
- ❖ Tout objet abandonné sur la voie publique, ainsi que les cadavres des petits animaux.

- ❖ Les déblais, gravats, décombres et débris des chantiers de travaux publics et constructions.
- ❖ Les déchets industriels et commerciaux.
- ❖ Les déchets anatomiques et infectieux des hôpitaux et abattoirs ainsi que les pansements, les médicaments, seringues et autres objets pouvant véhiculer des pollutions bactériologiques ou médicamenteuses.
- ❖ Tous les objets qui, en raison de leur encombrement, poids ou nature, ne pourraient être chargés dans les véhicules de collectes.

II.3.2. Déchets assimilable aux déchets ménagers

En raison de la nature et de l'encombrement d'un certain nombre de déchets, ceux-ci peuvent être assimilés à des déchets ménagers et traités comme tel.

A ce titre, nous citerons:

1. Certains déchets industriels non toxiques, à condition qu'ils puissent être stockés dans des récipients appropriés à la collecte des ordures ménagères (cas des industries à caractère artisanale, petite industrie du bois, panneaux, papier carton, artisanat textile, petite industrie agroalimentaire, etc.).
2. Les déchets des marchés à caractère essentiellement alimentaire (fruits et légumes, boucheries, poissonneries) sans pour autant exclure d'autre résidus tel que : les emballages

Tableau II.1. Déchet solides urbains

Type	Description	Exemple
Ordures ménagères	Déchets solides de toute nature produit par les occupations des habitations et déposés dans les poubelles individuelles ou collectives.	Déchets de la cuisine, restes alimentaires, emballage, papier, carton, plastique, textiles, cuir, bois, cendre.
Déchets encombrants	Déchets ménagers dont la taille ne permet pas leur dépôt dans des poubelles et nécessite une manipulation séparée.	Meubles de divers bois, pneus, électroménagers.
Déchets de commerce assimilables aux déchets ménagers	Déchets provenant des établissements commerciaux, industriels, hôtels, écoles et pouvant être éliminés avec les ordures ménagères.	Emballage, papier, carton, plastique, cendre et déchets de nettoyage
Déchets verts des jardins et des parcs	Déchets de désherbage de taille d'arbres.	Herbe, feuillage, branches
Déchets des marchés	Déchets organiques pour compostage, déchets assimilables aux déchets ménagers	Déchets végétaux, emballages, déchets de nettoyage
Déchets dangereux	Déchets ménagers contenant des substances nuisibles.	Batteries, restes de peintures de désinfectants
Déchets de nettoyage des rues	Balayures des rues, contenu des poubelles à papier.	Sable, feuillage, papier
Déchets de construction	Déchets de travaux de construction et de démolition.	Matériaux des excavations et de démolition, gravats.
Boues de traitement des eaux	Boues de sable, boues de décantation et d'épuration.	Sable, boues déshydratées.

II.3.3. Production et évaluation des déchets ménagers

II.3.3.1. Quantité générées et leur variabilité

Les quantités déchets ménagers générées dans une ville dépendent essentiellement de :

- ❖ L'habitat (milieu rural ou urbain avec un taux généralement plus faible en milieu rural)
- ❖ Le niveau de vie, les habitudes et les mœurs de la population (la production tend à s'accroître avec le niveau de vie ; ex. Zones résidentielles par rapport aux autres zones.).
- ❖ Les conditions climatiques, ainsi que les variations annuelles et saisonnières.
- ❖ Les mouvements plus ou moins importants de la population au cours de l'année : foires, pèlerinage, vacances annuelle, etc.
- ❖ Des modes de conditionnement des denrées et des marchandises.

II.3.4. Caractéristiques physico-chimiques des déchets ménagers

II.3.4.1. La composition

Il est important de connaître la composition des déchets ménagers pour permettre, entre autre, un meilleur choix de matériel de collecte et une évaluation des gisements en matériaux récupérables, dans l'hypothèse d'une collecte sélective.

D'une ville (ou même d'un quartier) à l'autre, la composition des déchets ménagers peut être sensiblement différente.

II.3.4.2. Densité (ou masse volumique)

La densité met en évidence la relation qui existe entre la masse des déchets ménagers et le volume qu'elles occupent. Sa connaissance est essentielle pour le choix comme les ordures ménagères sont essentiellement compressibles, leur densité varie au cours des différentes manipulations auxquelles elles sont soumises.

II.3.4.3. Humidité et pouvoir calorifique

II.3.4.3.1. L'humidité (H %)

Les déchets ménagers renferment une quantité d'eau, qui est celle contenue dans leur composants, la teneur globale en eau est essentiellement fonction des proportions respectives des composants, ainsi que des saisons, latitudes et de l'origine géographique et sociale des populations qui en sont la source.

Pour des ordures fraîches et stockées à l'abri des intempéries, l'humidité varie entre

- ❖ (35 - 40) % : Europe, avec un max. en été et un min. en hiver.
- ❖ (60 – 62) % : pour une grande ville Algérienne.
- ❖ (65 - 70) % et plus : Pour les pays tropicaux.

Pour les ordures non protégées, donc exposées aux intempéries, l'humidité des déchets ménagers peut atteindre des valeurs extrêmes, c'est à dire déshydratation complète ou sursaturation.

II.3.4.3.2. le pouvoir calorifique

En matière de déchets ménagers considérés comme combustibles, on utilise soit:

Le pouvoir calorifique supérieur (P.C.S.) qui prend en compte la chaleur de vaporisation de l'eau contenue dans les déchets ménagers pendant la combustion.

Le pouvoir calorifique inférieur (P.C.I.) qui ne tient pas compte de la chaleur de vaporisation de cette eau pendant la combustion.

C'est ce dernier (le P.C.I.) qui est d'usage dans les pays méditerranéens.

En règle générale, le P.C.I. est inversement proportionnel à l'humidité.

Les déchets ménagers n'ont jamais été un bon combustible, mais lorsqu'elles contiennent plus de 50% d'humidité, elles sont réellement impropres à l'incinération et c'est là le cas des déchets ménagers en Algérie.

Donc la connaissance des deux paramètres (P.C.I. et H%) sont étroitement liés et leur connaissance est essentielle pour le choix du mode de traitement (incinération ou compostage)

II.3.4.4. Rapport Carbone/Azote (C/P)

Ce paramètre mesure la qualité des ordures ménagères pour leur valorisation en tant qu'amendements organiques, c'est à dire qu'il permet d'apprécier aussi bien l'aptitude des ordures ménagères au compostage que la qualité du compost obtenu.

Un compost est valable à partir du rapport C/N < 35 au départ de la fermentation aérobie et contrôlée et en obtenant un rapport de 18 ²C/N ²20 En fin de fermentations pour le cas de l'Algérie le C/N dépasse rarement 15.

II.3.5. Variabilité des différents paramètres

Les déchets urbains, en général et les déchets ménagers en particulier, sont sujets à des variations plus ou moins importantes mais toujours sensibles aussi bien dans les quantités générées que dans la nature et les proportions de leurs composants.

Tous les paramètres physico-chimiques sont fonctions des divers facteurs, à savoir:

- ❖ Temps
- ❖ Facteur socio-économique
- ❖ Situation géographique et conditions climatiques

II.3.6. Intérêt des déchets ménagers

Depuis le milieu des années 70 et plus précisément le début des augmentations des prix pétroliers en 1974, on assiste à un changement important dans la façon de considérer les déchets urbains en général et les déchets ménagers en particulier.

Cela se traduit par le fait qu'il ne faut plus les regarder comme des matériaux à éliminer par tous les moyens, mais plutôt comme de la matière première.

Ceci dit, il existe plusieurs modes de récupération des déchets ménagers dont les plus connues sont :

- ❖ L'incinération : avec récupération d'énergie
- ❖ Le compostage : avec utilisation du compost comme engrais
- ❖ Le recyclage:
- ❖ Le lombricompostage: qui consiste simplement à faire manger et rejeter sous forme digérée la partie organique des déchets ménagers par des vers de « fumier » qu'on appelle aussi lombrics rouges.
- ❖ La méthanisation: processus spontané de fermentation anaérobie des déchets ménagers avec production de biogaz méthane.

II.4. l'enlèvement le transport des déchets solides urbains

II.4.1. La pré-collecte

Le pré collecte des ordures est la phase qui consiste à amener les déchets de leur lieu de production au lieu de prise en charge par le service public. Elle est généralement réalisée par l'habitant ou par fois par l'éboueur. Il faut tenir compte du pré collecte dès la construction d'un immeuble ou d'un groupe d'habitation. C'est la présentation des déchets par les habitants à l'extérieur des habitations aux fins d'évacuation. L'opération se déroule au niveau des ménagers ou des immeuble

II.4.2. La collecte

C'est l'évacuation des déchets vers une destination appropriée (décharge, centre de tri, station de transfert...etc.), une bonne collecte des déchets a pour objet de libérer le plus vite possible l'homme de ses déchets, ceux-ci pouvant donner naissance à des odeurs gênantes dues à des processus de décomposition, danger pour l'hygiène et milieu favorable pour les rats, les mouches...etc. Les collectes doivent donc se faire régulièrement dans des récipients fermés.

La mise en place d'un système de collecte des ordures ménagères est fonction des besoins à satisfaire et des divers impératifs à observer, les données de base sont :

- ❖ la population à desservir et la quantité des déchets produits.
- ❖ le caractère urbain, rural ou semi-rural de la localité à desservir.
- ❖ la concentration de la population qui conditionne la densité linéaire des déchets à ramasser le long des rues.
- ❖ les voies à desservir.

Il doit être tenu compte de certains impératifs, tel que :

- ❖ les conditions de la circulation générale et du stationnement
- ❖ les sens uniques de certaines rues.
- ❖ la présence de commerces d'alimentation.
- ❖ les édifices publics, d'écoles, etc.
- ❖ le caractère de chaque quartier (centre, affaires, périphérie, résidence).

Le choix du système de collection et d'enlèvement des déchets dépend de la catégorie des déchets à ramasser, de l'utilisation ultérieure qu'on veut en faire et de différents points de vue (économique, propres aux exploitations, hygiénique).

Les ordures ménagères, les déchets organiques humides (poissons, légumes,... etc.) doivent être régulièrement collectés et ramassés selon le climat une fois par jour.

II.4.2.1. Les collectes spéciales

Nous traitons sous cette rubrique de la collecte de ces déchets des ménages, du commerce, de l'artisanat ou de certains établissements qui ne sont générés régulièrement et dont l'enlèvement ne peut pas s'effectuer par les opérations de collecte normale. Seront englobés dans cette catégorie : les déchets encombrants, les déchets du commerce, de l'artisanat et de certains bureaux, les déchets des marchés, les déchets des hôpitaux et les carcasses des véhicules hors d'usage.

II.4.2.2. la collecte sélective

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

La collecte sélective peut aussi se faire au niveau de ce qu'on appelle aujourd'hui les centres de recyclage ou déchetteries.

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

La séparation des déchets à la source (au niveau de ménages) et des principaux générateurs, la collecte sélective nécessite la mise en place des moyens de collecte spécifiques pour des types des déchets bien déterminés.

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

II.4.2.2.1. Types de collecte pour tri sélectif

- La collecte apport volontaire acte volontaire d'aller dans un lieu particulier pour y déposer ses déchets .Ce geste volontaire de l'habitant est faite pour principalement quatre raisons :
- La protection de l'environnement le déchet est dangereux pour l'homme et la nature. Le déchet doit recevoir un traitement spécifique par exemple de l'huile de vidange, de la fibre d'amiante, etc ...
- Le recyclage le déchet est recyclable, en recyclant ce déchet on participe à une économie générale par la réduction de l'utilisation de matières premières vierges qui sont bien souvent importées.
- La gêne dans le lieu de vie le déchet est de taille importante
- Le coût d'élimination pour une entreprise d'élimination de ses déchets représente une dépense importante, en recyclant ce qui peut être diminué d'autant son prix de revient.
- La collecte en Porte à Porte c'est la municipalité qui organise la collecte des déchets déposés par les producteurs sur la voie publique, une à quatre fois par semaine.
-

- **II.4.2.2.2. Pratique de la collecte sélective**

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

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

- ❖ **Conteneur pour verre et papier** ces conteneurs placés dans des endroits stratégiques où l'accessibilité est facile - le verre est même trié selon sa couleur vert, marron et transparente.

- ❖ **Conteneur bio pour les déchets fermentescibles des cuisines et jardins** A l'intérieur de foyers, les déchets organiques sont emballés dans des sacs en papier renforcés pour absorber l'eau et disposés dans des bidons à couvercle qu'on vide par la suite dans le conteneur bio.

- ❖ **Conteneurs pour les emballages** : ils sont conçus pour recevoir des produits d'emballage qui sont revalorisés comme les emballages métalliques (boîtes de conserve, les tubes, couvercle de yaourt,...), les emballages de plastique (sacs plastiques, bouteilles de shampoing, pots de yaourt,...).

II.4.2.3. Les systèmes de collecte

II.4.2.3.1. Les récipients

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

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

Il existe à présent plusieurs catégories de récipients : poubelles, récipients de collecte hermétiques, sacs perdus, conteneurs

A. Collecte par poubelle ordinaire

Récipient classique fabriqué autrefois presque exclusivement en tôle d'acier galvanisée. On fait appel aujourd'hui à d'autres matériaux : caoutchouc et matière plastique principalement pour lutter contre le bruit. Ces récipients ordinaires comportent un couvercle amovible.

Des récipients d'une capacité de 30 à 90 litres sont vidés dans les véhicules qui assurent la collecte

B. Collecte par sacs-perdus

Plus récemment est apparue la méthode d'enlèvement en sacs perdus soit en papier soit en matière plastique. Le sac est généralement monté sur un support possédant un couvercle à charnière et se comporte alors pour son remplissage comme un récipient hermétique. Les sacs en papier sont fabriqués en papier pour sacs grande contenance, le papier est traité pour résister à l'humidité. Les sacs en matière plastique sont généralement en polyéthylène, ils sont obtenus par extrusion et soudure. Les poubelles sont remplacées par des sacs fermés en plastique (polyéthylène). Les sacs sont éliminés en même temps que les ordures, la taille des sacs varie de 30 à 130 litres.

C. Collecte par récipients hermétiques

Il comporte à l'emploi de récipients spéciaux (tôle d'acier, caoutchouc ou matière plastique) munis d'un couvercle à charnières. Le récipient s'adapte parfaitement par une

Manœuvre automatique, à des trappes de vidage, montées sur la benne ; l'ouverture du couvercle est synchronisée avec le basculement dans l'appareil de vidage, en sorte que cette dernière opération s'effectue sans contact avec l'extérieur, bien entendu ce mode de collecte demande une certaine discipline de la part des usagers : les poubelles ne doivent pas être trop tassées ou débordantes afin qu'elles soient bien fermées.

Ces récipients ont un couvercle qui permet de les fermer hermétiquement. L'ouverture n'a lieu que pour le vidage dans la benne. La préhension est mécanique, le vidage est également hermétique, capacité de 30 à 140 litres.

D. collecte par bacs roulants

Les bacs sont disposés près du lieu de passage de la benne. Celle-ci les soulève et en récupère le contenu.

Capacité:

- ❖ bacs à 2 zones : 120 à 330 litres.
- ❖ bacs à 4 zones : 500 à 1100 litres.

E. Collecte par conteneur

L'édification de très grands ensembles immobiliers conduit à développer aujourd'hui la collecte en conteneurs avec une capacité variant de 300 à 1500 litres, ce matériel convient pour les centres gros producteurs d'ordures (plusieurs m³ par jour).

L'enlèvement doit être assuré par des camions spécialement équipés, capacité de 2 à 30 m³.

II.4.2.3.2 Critères de choix du système de collecte**A. critères économiques**

Coût de la collecte : main d'œuvre, équipement des bennes ...

Coût du pré collecte : sacs, conteneurs

B. Critères sociaux

Pour les habitants, le récipient est l'élément le plus proche pour se débarrasser des déchets.

C. Critères liés au traitement

Chaque récipient présente des avantages et des inconvénients suivant le milieu et le type d'habitat à desservir. Le cas d'un quartier ancien en milieu urbain:

- ❖ les poubelles ordinaires présenteraient une solution lente et bruyante.
- ❖ les sacs roulants sont rapides et hygiéniques, mais le passage des bennes peut être limité par l'étroitesse des voies.
- ❖ les sacs perdus permettent une collecte rapide, silencieuse
- ❖ hygiénique, relativement bien adaptée aux quartiers anciens.

II.4.2.3.3. Critères de choix des matériels de collecte

L'utilisation de la collecte mécanisée est conditionnée par un certain nombre de facteurs suivants :

- ❖ Ceux qui sont rattachés aux caractéristiques de l'agglomération desservie: largeur ou étroitesse des rues, pentes ou courbes, caractéristiques des différentes zones d'habitat, densité du trafic, etc.... ;
- ❖ Ceux qui caractérisent le type de collecte déjà en usage : les véhicules existants qui ne sont pas toujours très appropriés mais qu'il s'agit d'utiliser au mieux, tout au moins pendant une période transitoire, le type des récipients en usage lesquels sont généralement liés aux différents type d'habitat ;
- ❖ Les ressources financières dont la municipalité disposera pour organiser son service

II.5. Procédés de traitement

<p>A/ Valorisation énergétique :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) combustion avec récupération d'énergie 2) Elaboration de combustibles dérivés par des procédés mécaniques. 3) Elaboration de combustibles dérivés par des procédés thermiques. 4) Elaboration des combustibles dérivés par des procédés biologiques 	<p>D) Valorisation en agriculture et agro –alimentaire</p> <ol style="list-style-type: none"> 12) Amendement organique 13) Amendement minéral 14) Alimentation pour animaux
<p>B/ Valorisation matière première</p> <ol style="list-style-type: none"> 5) Matières organiques naturelles ou artificielles 6) Matières premières minérales métalliques ou non métalliques 	<p>E/ Valorisation en sciences de l'environnement</p> <ol style="list-style-type: none"> 15) Traitement des effluents pollués liquides ou gazeux 16) Solidification ou stabilisation des déchets toxiques
<p>C/ Valorisation en sciences des matériaux</p> <ol style="list-style-type: none"> 7) Liants hydrauliques et matériaux de structure 8) Verre et céramique 9) Plastiques et caoutchouc 10) Fibres cellulosiques de récupération 11) Autres. 	<p>F) Elimination</p> <ol style="list-style-type: none"> 17) Incinération. 18) Traitement biologique des déchets 19) Traitements physicochimiques 20) Mise en décharge.

II.5.1. Procédés de traitement par voie physico-chimique

	Opérations	Procédés	technologies
1	Absorption		Boudins, tambours
2	Agglomération	Compactage Extrusion	Compacteurs Extrudeuses
3	Broyage	Cisaillement Percussion	Décheteteurs, concasseurs, broyeurs concasseurs
4	Fixation	Solidification	Malaxeur, extrudeuse Réactifs : bitume, thermoplastiques
5	Mélange	Liquide/gaz Liquide/liquide Liquide/solide	Agitateurs, mélangeurs statiques Hélices, spires, vis
6	Séparation	Centrifugation Décantation (clarification)	Décanteuse Essoreuse Décanteurs statiques ou à contact de boues
7		Dégrillages Epaississement Filtration (clarification) Filtration (déshydratation/pressage) Flottation Dialyse Microfiltration Osmose inverse	Grilles Décanteurs, filtres Sur lit épais Sur support (grille, tamis) Presse, tambour, bande Injecteur d'air, électrodes Membranes

II.5.2. Procédés de traitement par voie thermique

	Opération	Procédé	Technologie
1	Fixation	Absorption (coalescence) Absorption (simple) Echange d'ions Solidification	Sable, couche céramique, charbon actif, gel de silice. Lit de résine Malaxeur, réactifs : ciment, silicates de soude, matériaux argileux, liants que
2	Réaction	Lit fluidisé soumis à un champ magnétique. Crible, réacteur, soumis à une action mécanique. Chlore, hypochlorite Neutralisation Oxydation par voie humide	Lit fluidisé soumis à un champ magnétique. Crible, réacteur, soumis à une action mécanique. Chlore, hypochlorite
		Ozonation	Acides ou bases Réacteur, tube, forte pression Ozoneur
	Séparation	Coagulation – floculation Electrodialyse Electrolyse à membrane Electrolyse Extraction Précipitation	Mélangeur, coagulant Membrane avec action d'un champ électrique Electrolyseur Extracteurs, régénérateurs Mélangeurs, décanteurs Séparateur liquide/solide, mélangeur, réactifs

III.5.3 Procédés de traitement par voie microbiologique

	Opérations	procède	technologie
1	Désinfection	Déchets liquides Déchets solides En cimenterie En four à arc Par plasma d'arc	Four rotatif, à grilles, vertical, à lits Fluidisés Four cimentier Four à arc Torche à arc
2	Incinération	A lits En bains fondus	Lits fixes, en suspension, fluidisé Bains de verre, sel, métal
3	Pyrolyse	Concentration par congélation Concentration par évaporation Cryoconcentration Distillation	Groupe frigorifique Evaporateurs Freezer à contact direct Colonnes à garnissage ou à plateaux Membranes hydrophiles ou hydrophobes lits fluidisé, atomiseur Lit fluidisé, atomiseur Tambour cylindrique.
4	Séparation	Concentration par congélation Concentration par évaporation Cryoconcentration Distillation Pervaporation Séchage aérolique Séchage mécanique	Groupe frigorifique Evaporateurs Freezer à contact direct Colonnes à garnissage ou à plateaux Membranes hydrophiles ou hydrophobes lits fluidisé, atomiseur Lit fluidisé, atomiseur Tambour cylindrique.
5	Vitrification	Fusion à haute température	Four à arc, à arc plasma, à oxyfuel, à oxygaz, chauffage par induction en spires directes

II.5.4. Procédés de traitement par stockage

	Opération	Procédé	Technologie
1	Compostage	Humidification, séchage de matières organiques	Andains, aération forcée, lombricompostage
2	Epuraton	Aérobies cultures fixées Aérobies culture libres Anaérobies cultures fixées Anaérobies cultures libres	Lits bactériens, granulaires, disques biologiques Boues activées, lagunage Support mobile ou organisé Digesteur

II.5.5. Procédés de traitement par voie radiative

	Opération	Procède	technologie
1	Stockage de surface et de sub-surface	CET de classe I CET de classe II CET de classe III	Site géologiquement stable, géo membrane, géotextile, drains, bassin de traitement de lixiviats.
2	Stockage profond	Mines de sel Carrières souterraines Puits d'injection.	Site confiné géologiquement stable Puits profonds avec injection sous nappe phréatique.

II.6. Conclusion

Gestion des déchets solides urbains, constitue l'un des défis majeurs de la décennie en matière de développement urbain.

Cette problématique des déchets solides urbains (collecte, transport, traitement) comporte un double intérêt :

- ❖ En termes de service à la population, avec un impact évident sur l'hygiène, la santé et les conditions de vie ;
- ❖ En termes de gestion communale de services urbains, visant à renforcer les responsabilités de la commune et d'intervention du secteur privé et de la population.

L'augmentation rapide de la production des déchets solides urbains notamment en raison de la croissance démographique, d'une urbanisation galopante et du changement du mode de conditionnement de produits, impose des interventions à court terme pour régler les problèmes de collecte, de transport et de traitement qui sont de

plus en plus La composition des déchets solides urbains Algérienne comparée à celle des pays

Européens par exemple fait apparaître des différences importantes. Les déchets ménagers en Algérie se caractérisent en effet par :

- ❖ UN pourcentage élevé de matière organique (74%);
- ❖ Une forte humidité (60%- 62%);
- ❖ Une forte densité.

A cet égard, on peut noter que le procédé d'incinération n'est pas adapté. Les déchets se prêtent beaucoup mieux au compostage que ceux des européens. De ce fait, on peut dire que le choix d'un mode de traitement adapté, est fonction des caractéristiques des déchets à traiter.

Chapitre III

Caractérisation

III.1. Introduction

A l'instar des autres villes du pays, la ville de chlef connaît des problèmes de gestion des déchets solides urbains, en identifier les principaux enjeux en premier lieu un aperçu global sur l'état actuelle de la gestion des déchets solides urbains au niveau de la commune et aux les conditions du milieu permettant d'avoir une appréciation assez synthétique sur les facteurs du milieu et par conséquent de l'espace. Caractérisé par la situation géographique, les données climatiques, la structure de la ville mérite d'être décrite assez clairement pour en apprécier les particularités et par conséquent voire les manques et proposer les solutions pour évaluer le niveau de la gestion.

III.2. Méthode de de caractérisation des résidus solides urbains

La partie bibliographique a permis d'identifier les stratégies possibles de gestion des déchets ainsi que les approches méthodologiques pour une gestion intégrée des déchets dans les PED. L'application de ces outils est obligatoire pour affronter les difficultés techniques lors des opérations réalisées sur les déchets (collecte, tri, transport et élimination), et estimer les impacts des déchets sur l'environnement et sur la santé humaine.

Il est nécessaire de maîtriser le fonctionnement des systèmes de traitement des déchets grâce à une démarche expérimentale de caractérisation de ces systèmes. Ces démarches consistent à avoir le maximum d'informations sur les déchets (flux, gisement, composition physico-chimique...etc.).

Ce chapitre décrit les méthodes d'échantillonnage, de caractérisation et d'analyse des déchets solides urbains qui seront validées pour l'étude expérimentale portant sur les déchets générés par la commune de Chlef.

III.2.1. Zone d'étude

Située dans la région nord-ouest de l'Algérie, la wilaya (préfecture) de Chleff s'étend sur une superficie de 4791 km², avec une population avoisinant le million d'habitant, soit une densité de 194 hab. /km². Avec une surface agricole de près de 13000 ha, la wilaya est une région à vocation agricole, orientée principalement vers la céréaliculture, l'arboriculture et le maraîchage. Elle compte 13 daïras (arrondissements/sous-préfectures) et 35 communes.

La commune de Chleff s'étend sur une superficie de 124 km², elle compte une population de 164841 habitants répartis dans cinq zones, chaque zone comporte plusieurs secteurs (Tableau 1).

Tableau III. 1. Zonage et sectorisation de la commune de Chleff

Zones	Est	Ouest	Centre-ville	Nord	Sud
Secteurs	-Radar -Zebouj -Ouled Mohamed -Kfafssa -Aouabed	-Hay Benssouna; -Hay Chorfa+anciennes zones (2,3 et 4) -Hay Chorfa zones 1,5 et 6 -Hay Chrfa (712 +130 logements)	-Ville coté Est -Ville côté Ouest -Marché du gros.	-Hay Chegga -Hay Elhourria -Zone rurale nord.	-Hay Salem -Hay Moussalaha -Hay frères Abbed -Hay Lalla Aouda -Hay Hassania
Habitants	33264	44125	8975	19421	59056

Cette population concentrée à la périphérie du centre-ville surtout après le séisme de 1980, génère des grandes quantités de déchets urbains. Jusqu'en 2002, ces déchets étaient souvent brûlés à l'air libre ou mis dans des décharges sauvages situées à proximité des agglomérations. En 2002, le PROGDEM a démarré un programme de construction des centres d'enfouissement techniques dans plusieurs villes algériennes. A cet effet, plusieurs mesures de protection de l'environnement se rapportant à la gestion des déchets solides ont été lancées en 2003 à Chleff-ville à savoir:

- un Centre d'Enfouissement Technique à Meknassa pouvant accueillir 120 tonnes/jour;
- des moyens conséquents pour la collecte et le transport des déchets.

De point de vue historique, le service d'hygiène de l'assemblée populaire communale (APC) de Chleff, déclare que le CET a été ouvert durant l'année 2004 après la fermeture de la décharge sauvage de «Hay Chegga», qui existait bien avant les années 50.

Géographiquement, le CET de Meknassa se situe à huit kilomètres au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya de Chleff, sur une plate-forme appartenant à la commune de Oued-Sly (cf. Figure 1). Elle est limitée l'ouest, par la route communale Sidi Larousse-Sidi Slimane, au nord, par Bocca de Meknassa et à l'est et au sud, par des terrains agricoles en exploitation.

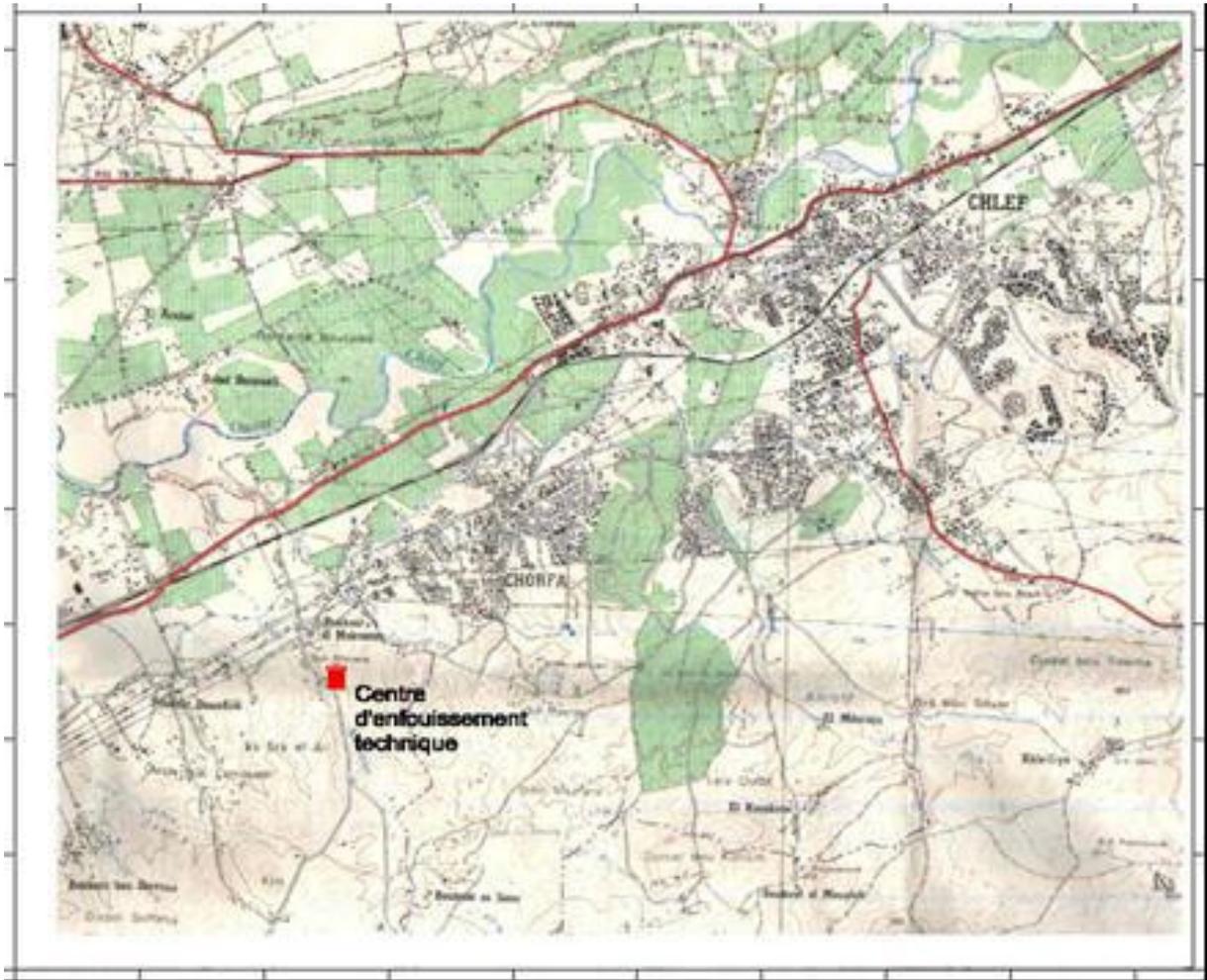


Figure III .1. Carte localisant le CET de Meknassa (Echelle: 1/50000)

La production de déchets est évaluée à 0,7 kg/hab./j au niveau de la commune. Ce ratio est calculé sur la base d'un rapport entre la quantité journalière produite par jour et le nombre d'habitants de la commune. Cette valeur n'est pas figée en raison des fluctuations du régime alimentaire (APC Chlef(2016), bureau hygiène).

Avec la réalisation du CET, il a été possible d'estimer la composition physique des déchets collectés et transférés vers le centre d'enfouissement. La composition de ces déchets est très hétérogène. Elle est caractérisée par la présence de putrescibles, de papiers-cartons, de plastiques, de textiles, de métaux, de verres et autres déchets tels que le gravats issus des travaux de chantiers et de démolition. Les pourcentages des différentes catégories sont rassemblés dans le Tableau 2

Tableau III.2. Composition des déchets de la wilaya de Chlef (Bureau d'hygiène de Chlef au niveau de l'APC)

Catégories	%
Matières organiques putrescibles	72
Papiers-cartons	7
Plastiques	5
Métaux	2
Matières inertes (terre, verre, porcelaine, pierre, plâtre.....etc.)	4
Chiffons, Cuir et Caoutchouc	4
Autres	6

Les autorités responsables de la gestion des déchets ont donné des estimations des déchets recyclables entre 2002 et 2020. Une partie de ces quantités recyclables est récupérée par le secteur informel (Tableau 3).

Tableau III.3. Estimation des taux recyclables entre 2002 et 2020

Catégories	% de recyclage
Matières organiques putrescibles	5 à 10
Plastiques	40 à 60
Papiers/Cartons	25 à 50
Métaux	25 à 60
Matières inertes	-
Chiffons, Cuir, Caoutchouc	-

Ces taux de récupération ne sont possibles qu'avec une collecte sélective organisée en amont ou du tri systématique après collecte des déchets bruts. En effet, l'action de récupération

Nécessite une combinaison de collecte sélective et des centres de tri, en ciblant certaines gammes de déchets notamment les plastiques, les métaux, le verre et les papiers-cartons.

Lors de l'estimation des pourcentages des catégories prédominantes (putrescibles, papiers-cartons) des déchets de la commune de Chlef les teneurs en eau et en matière organique ont été déterminées. La valeur moyenne de la teneur en eau variait entre 50 à 60% et celle de la teneur en matière organique oscillait entre 70 et 85%. Ces valeurs sont des indicateurs importants pour le choix de traitement des déchets par compostage. La valorisation par compostage des fermentescibles est donc envisageable, le compost produit ayant un impact bénéfique sur l'agriculture et sur l'environnement avec notamment la réduction du volume des déchets enfouis.

III. 3. Echantillonnage

L'échantillonnage est la sélection d'une partie dans un tout. Il s'agit d'une notion importante en métrologie lorsqu'on ne peut pas saisir un événement dans son ensemble, il faut effectuer des mesures en nombre fini, afin de représenter l'événement, l'échantillonnage prend un sens précis dans le cas des résidus solides urbains.

III.3.1. Taille l'échantillon

La caractérisation physique des déchets ménagers solides se fait selon le besoin pour orienter ou caractériser les modalités de traitement des déchets. Dans ce cas, la masse de l'échantillon de déchets à trier dépend de l'objectif que l'on se fixe pour cette caractérisation.

-La sectorisation et le zonage de la collecte actuel des déchets de la commune de Chlef (Est, Ouest, Centre-Ville, Sud et Nord).

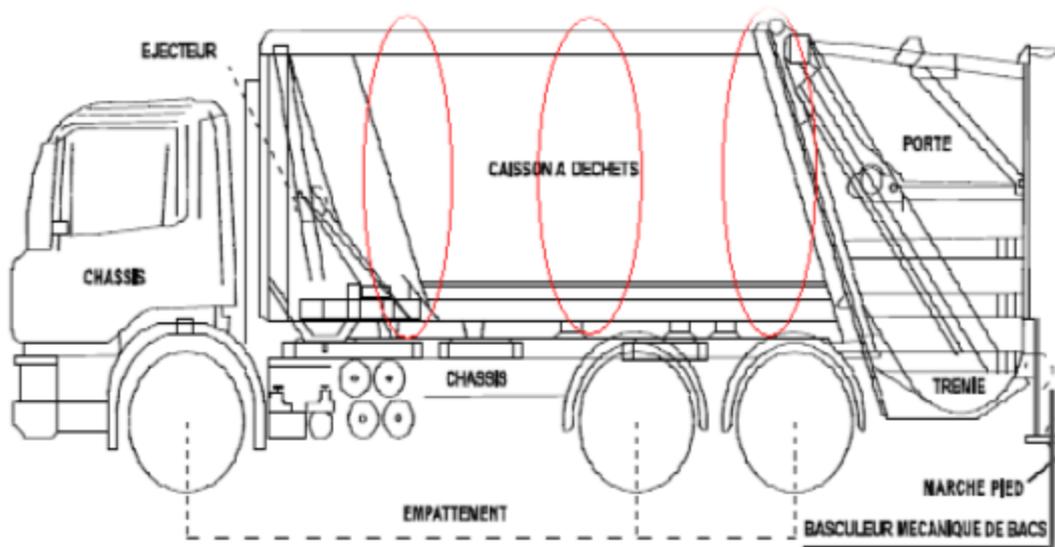


Figure III.2. Modèle prise d'échantillons sur les engins de collecte

Tableau III.4. Fréquence de la collecte des RSU de la commune de Chlef par engin

Véhicule	Poids des déchets Kg	Volume des déchets m3	Poids total du véhicule kg	Nombre de rotations /j	Densité des déchets T/m3
Benne tasseuse type K 66	3210	6,75	8060	5	0,43
Benne tasseuse type Isuzu	4023	4,83	7	3	0,83
Camion type GLR 200	1740	7,224	10740	2	0,24
Remorque agricole	3110	8,811	6730	2	0,35
Bennetasseuse type Renault	4780	7,5	15850	1	0,63

III .3.2. Organisation

Pour suivre la variabilité du flux et la composition des déchets de la commune de Chlef dans le temps, le déroulement de la caractérisation des déchets doit se faire selon trois étapes:

Etape 1 prélèvement de l'échantillon au niveau du CET de Mekkassa.

Etape 2 tri des déchets à l'aide d'une table de tri.

Etape 3 Analyses chimiques des déchets.

III.4. Caractérisation

III.4.1. Par taille

Le tri par taille se fait avec la table de tri en respectant les diamètres de chaque bac: -gros (> 10 mm); -moyens (20-100 mm); -fins (< 20 mm). Les déchets gros et moyens sont ensuite séparés en catégories et en sous-catégories.

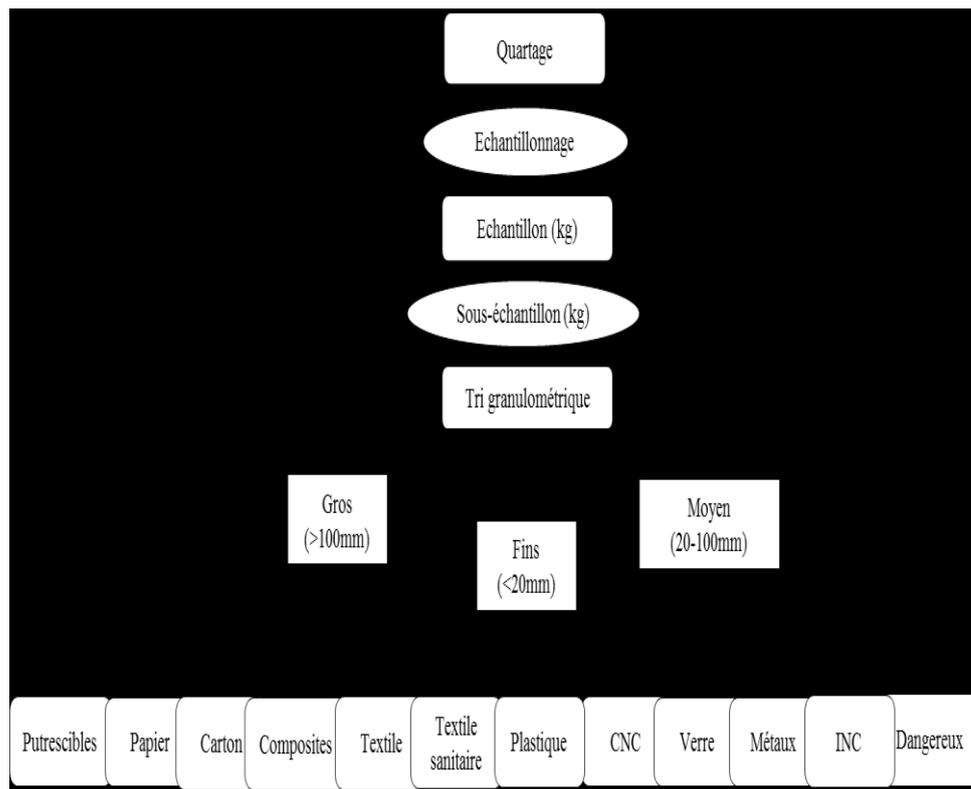


Figure III.4 Schéma descriptif du protocole de caractérisation des déchets

III.5. Composition physico-chimique

Les principaux paramètres qui ont été mesurés sont: l'humidité (teneur en eau) et la matière organique sur les putrescibles, papiers, cartons et matière fine au cours des cinq

Campagnes pendant les deux années; ces catégories ont été choisies pour avoir une idée sur la teneur en matière organique biodégradable.

La densité a été mesurée sur les déchets bruts pendant le chargement des bennes au niveau du CET.

III.5.1. Humidité (%H)

L'humidité est un paramètre qui est déterminée par le séchage des déchets à des températures données. Certains auteurs recommandent de déterminer l'humidité à des températures différentes. Das k.c (2002⁽²⁾) recommandent 75°C, Morvan (2000⁽³⁾) 80°C, Brewer et Sullivan (2003⁽⁴⁾), 85°C; Garcia (2005⁽⁵⁾) 105°C. La norme NF M 03-002 recommande de sécher une masse de 20 kg de chaque déchets dans une étuve à 105 ± 2 °C pendant 24 heures jusqu'à une masse constante.

La majorité des travaux ont déterminé la valeur de l'humidité par séchage d'une masse allant de quelque 100g à 10kg de déchets dans une étuve à 105°C jusqu'à une masse constante (Diop, (1989⁽⁶⁾); Tchobanoglous étal, 1993; Mohee,(2002⁽⁷⁾); ,François,(2004⁽⁸⁾); Aloueimine(2005⁽¹⁾)

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

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

Avec:

%H: pourcentage d'humidité

Minitiale: masse de l'échantillon avant séchage

M finale: masse de l'échantillon après séchage

III.5.2. Mesure de la matière organique (solide volatil ou perte au feu)

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

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

$$MO\% = \frac{M1 - M2}{M1} * 100 \dots\dots\dots (2)$$

Avec:

%MO: pourcentage matière organique

M1: masse de l'échantillon sec avant calcination

M2: masse de l'échantillon après calcination

III.6. Méthode expérimentale du compostage des RSU de la commune de Chlef

III.6.1. Paramètres de suivi du procédé de compostage

Le compostage est défini comme un procédé biologique aérobie contrôlé, qui permet l'hygiénisation et la stabilité par dégradation de la matière organique, et conduit à un amendement ou engrais organique, Les paramètres physico-chimiques des substrats (pH, taux d'humidité, température, taux de la matière organique et granulométrie) évoluent au cours du compostage.

III.6.1.1. Effet exothermique: Température, T°C

La température est retenue comme principal paramètre de suivi de la dégradation aérobie du substrat. La température a été mesurée par un thermomètre à mercure, tous les trois jours à trois différents endroits (deux extrémités et milieu) de l'andain. La valeur retenue est la moyenne de 9 mesures effectuées dans différentes profondeurs de l'andain (3 mesures à 3 niveaux de chaque endroit).

III.6.1.2. Acidité: pH, (u.pH)

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

III.6.1.3. Granularité Granulométrie en %

La diminution de la granulométrie est un facteur très important de dégradation de la matière au cours de la fermentation. Sa mesure consiste à peser 5 à 10 kg de la matière et de la faire passer à travers trois tamis superposés à mailles carrés de 10 cm, 5 cm et 1 cm. Pour chaque tamis, il faut peser chacune de ces fractions retenues, afin d'estimer la répartition granulométrique dans l'andain après chaque retournement.

Au cours de chaque retournement, plusieurs prises de matière à différents niveaux de l'andain sont réalisées pour constituer un échantillon représentatif de 5 kg. L'échantillon est versé dans les trois tamis superposés. Les fractions de chaque tamis ont été pesées puis remises dans l'andain. Le poids mesuré est la moyenne de trois valeurs. Au cours de chaque retournement, plusieurs prises de matière à différents niveaux de l'andain sont réalisées pour constituer un échantillon représentatif de 5 kg. L'échantillon est versé dans les trois tamis superposés. Les fractions de chaque tamis ont été pesées puis remises dans l'andain. Le poids mesuré est la moyenne de trois valeurs.

III.6.2. Paramètres de qualité du compost

La détermination des paramètres de qualité permet de mettre fin aux critiques mordantes causées par la médiocrité des composts produits. Ces débats ont amené à une mise en cause de cette filière de traitement des déchets (Aboulem (2005⁽⁹⁾)). Dans cette optique, les mesures et les analyses de ces paramètres doivent être fiables et décisives

pour l'efficacité du procédé ainsi que pour l'utilisation du compost produit comme amendement organique.

La Figure 4 représente un schéma descriptif du protocole expérimental pour toutes les mesures et les analyses des paramètres physico-chimiques des composts produits au cours de ce projet.

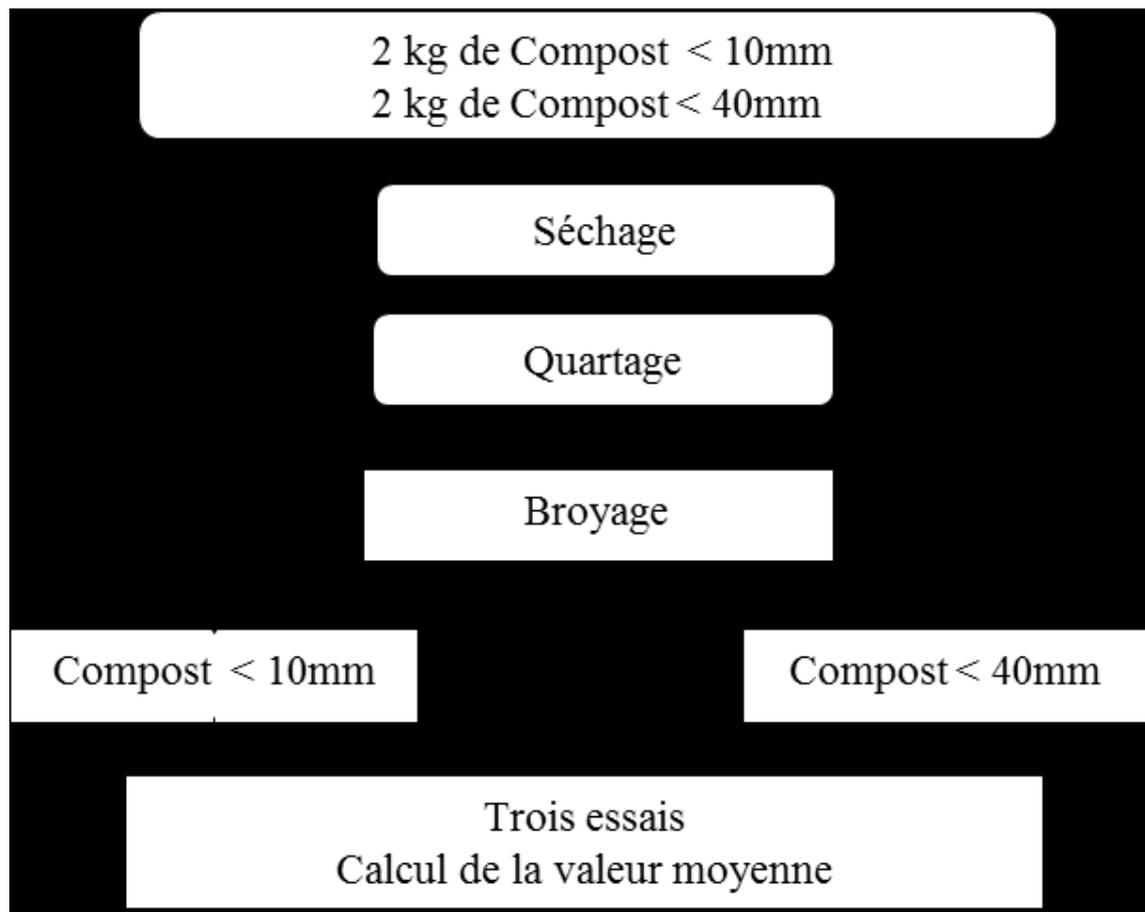


Figure III.5. Schéma descriptif du protocole expérimental des mesures et des analyses des paramètres de qualité des composts.

III.6.2.1. Teneur en matière organique, MO% (ou matière volatile)/MS mesurée par la perte au feu

La teneur en matière organique par perte au feu représente la teneur en matière volatile. Cette matière volatile correspond à la teneur en matière organique totale, biodégradable et synthétique.

La teneur en matière organique par rapport à la matière sèche doit être déterminée par perte au feu. Ce taux est obtenu par calcination d'un échantillon de 25 g à 550°C pendant deux heures (norme NF U 44-160). Afin de mesurer la teneur en matière organique dans l'andain et celle des composts produits, les analyses doivent être répétées trois fois. La valeur retenue est la moyenne des trois valeurs obtenues. La teneur en matière organique est donnée par l'équation

$$\% \text{ MO} = (5M1-M2) / M1 - 3$$

Avec:

M1: masse de l'échantillon avant calcination

M2: masse de l'échantillon après calcination.

La teneur en MO a été déterminée au cours du processus de compostage et pour chaque compost après le criblage

III.6.2.2. Teneur en carbone (C) en mg/g MS ou %C

La teneur en carbone représente la proportion du carbone dans la matière organique des produits organiques. La teneur en carbone de chaque compost produit a été déterminée selon deux méthodes.

***Première méthode:** Détermination de la teneur en carbone d'un compost selon la norme X 31-109. Cette méthode comprend deux étapes:

Minéralisation

Cette phase consiste introduire dans des matras 0,05 g d'un échantillon de compost broyé, 10 ml de K₂Cr₂O₇ (8% m/v) et 10 ml de H₂SO₄ concentré. Dans d'autres matras, on introduit différentes quantités de glucose anhydre pour réaliser la gamme d'étalon.

Les matras sont chauffés et, à partir de la première goutte de condensât qui tombe du réfrigérant, le chauffage est réglé à 200°C de façon à maintenir l'ébullition pendant 5

min. Les matras sont ensuite refroidis jusqu'à une température de 20°C, puis on ajoute 125 ml d'eau

III.6.2.3. Teneur N (NTK), en mg/g /MS

Le dosage de l'azote (Total) Kjeldhal (NTK) est basé sur la norme européenne et française NF EN 25663, ISO 5663 de janvier 1994, dont l'indice de classement est T 90-110.

Le principe de dosage comprend une minéralisation des composés azotés, celle-ci se produit en présence d'acide sulfurique, de sulfate de potassium et du sélénium.

Le sulfate de potassium permet d'élever la température d'ébullition tandis que le sélénium sert de catalyseur. Ensuite, l'ajout d'une base permet la neutralisation de l'excès. Enfin, le distillat est dosé par titrimétrie avec une base. Les étapes de ces dosages sont

III.6.2.4. Teneurs en éléments fertilisants (Ca, K, Mg et Na)

Le dosage de ces éléments est réalisé suivant le protocole de la méthode d'analyse ISO 11460 de juin 1995. Ce dernier s'effectue en deux étapes.

Minéralisation

Après séchage et broyage des composts produits, une masse de 0,5 g de compost est introduite dans des matras avec 30 ml d'eau régale (1/3 HNO₃ concentré + 2/3 HCl concentré). Les solutions sont chauffées à 100°C pendant une heure puis à 135 °C jusqu'à évaporation partielle de l'acide pendant 3 heures.

III.6.2.5. Teneurs en Phosphore total, Pt, mgP₂O₅.kg⁻¹MS

La détermination du phosphore total s'effectue en deux étapes:

Minéralisation

Une digestion en milieu acide d'un échantillon de compost transforme tout le phosphore présent en ortho phosphate.

Dosage par spectrophotomètre Les ions ortho phosphate sont dosés avec l'ajout des ions molybdate et des ions antimoine pour former un complexe phosphore-molybdate coloré. Ces complexes sont ensuite mesurables par colorimétrie à 660 nm (Pauwels et al. 1992).

III.6.2.6. Teneur en éléments trace métalliques: ETM en mg/kg MS

Les teneurs en éléments traces métalliques ont été mesurés par spectrophotométrie d'absorption atomique. La méthode est décrite au paragraphe

III.6.2.7. Teneur en indésirables ou impuretés en %

La présence de résidus de plastiques, de verres et de métaux dans les amendements organiques est contrôlée dans le cadre de la norme NF U 44051, qui fixe les valeurs limites des teneurs en impuretés pour les amendements organiques. Cette norme considère comme impuretés des résidus en plastiques >5 mm (valeur limite < 0,3% MS) et des résidus en verre et métaux >2 mm (valeur limite < 2,0% MS) dans les amendements organiques provenant des collectivités, dans les amendements organiques issus de parcs et jardins et de la collecte (sélective et/ou non des FFOM: Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères).

Le principe de la méthode XP U44164 (2004), consiste à oxyder la matière organique non synthétique par l'eau de Javel (13%). Les inertes restants sont triés par densimétrie à l'eau puis avec une solution saturée en chlorure de calcium (CaCl_2) de densité 1,35.

III.6.2.8.Méthodologie

Une masse de 500 g ou de 1 kg de compost humide préalablement séché à 80°C, est mélangée avec de l'eau de Javel (13 %). Les débordements dus à la réaction chimique très vive sont possibles donc, les mélanges sont placés dans des bassines. Pour détruire complètement la matière organique, trois bains d'eau de javel sont préconisés avec des durées de: 2 h; 4 h et 12 h. Le contenu du récipient est versé sur un tamis de 2 mm avec récupération des éléments inférieurs et supérieurs à 2 mm pour les trois bains. Après le troisième rinçage, le contenu des éléments supérieurs à 2 mm est versé dans un béccher, ceux qui sont inférieurs à 2 mm sont transvasés dans un autre béccher. Un tri densimétrique est effectué à l'eau pour les éléments supérieurs à 2 mm. Dans un béccher de 250 ml, les légers (densité <1) sont récupérés à l'aide d'une passoire. Un autre tri densimétrique est effectué avec une solution de CaCl_2 . Les mi-lourds (densité entre 1 et 1,35) sont récupérés l'aide d'une passoire dans un béccher de 250 ml. Le reste est rincé à l'eau chaude et égoutté. Les lourds (densité supérieure >1,35) sont récupérés dans un autre béccher nt rincées.

III.7. Etude du gisement de résidus solides urbains de chlef

Ce chapitre porte essentiellement sur la caractérisation détaillée du gisement des RSU de Chlef en flux et en composition physico-chimique, qui a pour objectif de fournir le maximum d'informations et de données sur le gisement, ce qui permettra d'optimiser et d'organiser la valorisation (recyclage et/ou compostage) et de sécuriser le stockage des déchets ultimes issus de ces traitements.

III.7.1. Caractérisation Physique

La caractérisation physique des RSU de la commune de Chlef donne des indications, d'une part sur la quantité, le taux de production et la taille des constituants et d'autre part sur leur composition matière (catégories et sous-catégories décrites dans la partie II matériels et méthodes).

III.7.2. Ratio de production

Les taux de production de déchets au niveau des cinq zones de la commune de Chlef ont été calculés suivant une enquête réalisée pendant cette étude. Le nombre de véhicules utilisés pour la collecte dans chaque zone ainsi que le nombre de leurs rotations par jour ont permis de connaître la production journalière. Le rapport entre la production journalière et le nombre d'habitant donne le taux de production. Les valeurs de ces ratios sont con Tableau 5 : Ratio de production par zone (Direction de l'environnement de Chlef, 2016).signées dans Tableau 5

Tableau III.5. Ratio de production par zone (Direction de l'environnement de Chlef)

Zone	Habitants	Production journalière (kg/j)	Ratio (kg/hab/j)
Est	33264	25060	0,75
Ouest	44125	20335	0,46
Centre-ville	8975	19066	2,12
Nord	19421	11637	0,6
Sud	59056	43540	0,74
Commune	164841	119638	0,72

Ces résultats montrent que selon les zones, les taux de production sont variables et compris entre 0,46 et 2,12 kg/hab/j. Le ratio le plus élevé est enregistré en centre-ville, avec une population moins élevée que les autres zones. Ce résultat est du à son caractère

commercial, administratif et urbain. Le centre-ville est le chef-lieu de la wilaya, il concentre des centres commerciaux et des administrations publiques de la wilaya, par conséquent le ratio de production 2,12 kg/hab/j n'est pas nécessairement représentatif de l'ensemble de la commune.

Les taux de production des quatre zones (est, ouest, nord et sud) sont dans la fourchette 0,5-0,7 kg/hab/j. Ces résultats montrent que la population a le même niveau de vie, et aussi une pratique identique en matière de gestion des déchets.

III.8. Conclusion

La situation actuelle de la gestion des déchets solides urbains de la commune de chlef met en évidence que cette dernière a du mal à assumer la gestion de ses déchets, et ceci pour les motifs :

- ❖ Le manque de moyens matériels et humains.
- ❖ Les problèmes organisationnels.
- ❖ Le manque de formation du personnel chargé de ces tâches constitue également un frein à une bonne gestion des déchets solides urbains de la ville de chlef.
- ❖ L'implication des habitants est également déficiente par manque de sensibilisation et d'information.

Ces défaillances énumérées montrent qu'il est nécessaire de penser à gérer ces déchets autrement.

Chapitre IV

Partie Spéciale

IV.1. Introduction

Le compostage est un procédé ancestral de fabrication d'amendement organique. Le terme de compostage est familier à tout un chacun et évoque pour la plupart, un produit organique plus ou moins dégradé provenant d'un tas de déchets organiques au fond du jardin. Bien que ce procédé se réalise de lui-même dans la nature, le compost ainsi obtenu a des caractéristiques et des propriétés différentes en fonction de la nature du substrat et du déroulement de la fermentation. Ces transformations s'accompagnent de modifications physico-chimiques et microbiologiques, qu'il est nécessaire d'identifier afin de mieux les appréhender pour obtenir un compost de qualité. Cette notion de qualité doit être clairement définie afin que les producteurs et les utilisateurs soient capables de juger de la valeur du produit.

Ce chapitre présente les différentes phases d'élaboration du compost ainsi que les paramètres principaux régissant le processus de dégradation et leur évolution. La qualité du compost sera évoquée en termes de maturité et de teneur en métaux lourds.

IV.2. Echantillonnage

L'échantillonnage, qui présente l'étape décisive dans la fiabilité des résultats futurs de la caractérisation, dépend tout d'abord de l'objectif visé par l'étude et de la précision attendue des résultats. L'hétérogénéité des gisements de déchets (catégories, sous-catégories, tailles des composants, classes,... etc.) et la variation au sein des populations et sous populations ciblées (quartiers, ménages) rendent l'échantillonnage plus complexe. Ainsi, l'échantillonnage doit tenir compte des aspects importants suivants

- ❖ Le zonage.
- ❖ La période (variation saisonnière) en évitant toutefois les périodes atypiques.
- ❖ La durée ou la fréquence de collecte de l'échantillon (production journalière, hebdomadaire, etc.).
- ❖ La source de l'échantillon collecté.
- ❖ Directement auprès des producteurs.
- ❖ A partir des bennes ou des sites de transit.
- ❖ Sur les usines de traitement.

D'autre part, la technique d'échantillonnage doit être choisie de manière à avoir un échantillon le plus représentatif de la population initiale (déchets, bennes ou ménages), c'est-à-dire, à minimiser au maximum les biais dans les résultats.

Cependant, vu la complexité de l'enjeu, on a souvent recours à la combinaison de plus d'une technique. Ainsi, la distribution de l'échantillonnage dans le temps et dans l'espace peut être définie de différentes manières selon la situation donnée.

Les trois principaux types d'échantillonnage les plus souvent rencontrés et utilisés sont les suivants

❖ aléatoire simple Echantillonnage. Où toute la population a la même chance théorique d'être dans l'échantillon sélectionné. CET échantillonnage aléatoire EST dit parfait si toutes les variations au sein de la population sont représentées dans l'échantillon et par conséquent ce dernier est parfaitement représentatif de la population. Dans Ce cas, les unités formant l'échantillon sont déterminées, par exemple, en numérotant toutes les unités et en choisissant celles qui constituent l'échantillon selon des tables de nombre aléatoire. Cet échantillonnage est souvent utilisé dans le choix des quartiers, des ménages ou des charges de camions à la décharge.

❖ L'échantillon aléatoire stratifié. est plus complexe, il est employé lorsqu'il s'agit d'une population hétérogène. Le critère de stratification doit avoir une relation étroite avec la variable étudiée. Autrement dit, la population est stratifiée de telle manière qu'au sein de chaque partie ou strate les fluctuations de la variable (par exemple : niveau de vie, production de déchets, taille des ménages) soient minimales. Après cette stratification, l'échantillonnage aléatoire (simple ou systématique) est alors fait dans chaque strate. Le nombre d'échantillon de chaque strate peut être déterminé soit par proportionnalité à la population, soit par optimisation, c'est-à-dire que l'échantillon est choisi de manière que la variation de la moyenne soit la plus basse possible pour la taille de l'échantillon considéré.

❖ L'échantillon aléatoire systématique. est parfois la seule solution à adopter. Il s'agit de choisir au hasard chaque nième élément de la population à échantillonner. Cependant, l'inconvénient de cette technique est relatif à la faible précision des résultats obtenus quand la population, objet de l'échantillonnage, a des tendances inconnues ou des variations non systématiques. Toutefois, dans certains cas ces éventuelles variations sont minimisées grâce une stratification préalable.

IV.2.1. Prélèvement d'échantillon des déchets urbains

Le protocole de prélèvement doit permettre d'avoir un échantillon représentatif de tous les déchets entrants dans l'usine au jour J. Pour cela, des prélèvements de chaque camion arrivant sur l'usine sont effectués tout au long de la journée.

Un godet de pelle mécanique rempli d'environ 1 m³ de déchets est prélevé dans chaque camion, puis les déchets sont déversés sur une aire de tri, propre, abritée de la pluie et du vent. Cette aire est de préférence constituée d'une dalle de béton, limitant la contamination des déchets par le sable. Le reste du camion est déversé dans l'aire de réception. Cette manipulation est renouvelée pour chaque camion. Les éléments fins sont récupérés sur le sol après l'échantillonnage et réintégrés. La totalité de l'échantillon obtenu est pesée, mélangée, puis quartée pour les analyses afin d'obtenir une quantité voisine de 500 Kg.

IV.2.2. Poids de l'échantillon des déchets à trier

Les études de caractérisation des déchets ménagers proposent différentes tailles (masses) d'échantillon à trier en fonction de l'approche d'échantillonnage choisie et des résultats attendus de l'étude. La masse de l'échantillon de déchets à trier peut dépendre de plusieurs facteurs d'ordre économique, de commodité et/ou en fonction de l'objectif que l'on se fixe pour cette caractérisation. Par exemple, si l'on veut déterminer les quantités des déchets de cuisine qui sont majoritaires en général dans les OM, on peut étudier un échantillon de 100 Kg pour avoir un degré de précision donné, alors que pour des composants plus minoritaire dans le flux de déchets, tels que les métaux ou les verre, l'échantillon doit être beaucoup plus important pour avoir le même degré de précision dans les résultats .

IV.2.3. Nombre de ménagers générateurs de déchets

Au lieu de définir l'échantillon à analyser par son poids (quantité de déchets), certaines études se basent plutôt sur la taille de la population génératrice de déchets en satisfaisant toutefois un niveau souhaité de précision et de confiance des résultats.

Abu Qdais et al (1997) ont étudié la caractérisation des OM sur 840 échantillons générées par 40 ménages de différents niveaux de vie socio-économique (haut, moyen et bas niveau a procédé à la caractérisation, en deux saisons, des déchets générés par 160 ménages répartis en deux lots de 80 ménages chacun ont étudié un échantillon de

47 ménages pendant plus de 21 jours. Bernache Pérez et al (2001) ont choisi d'étudier, en deux lots (par stratification), les déchets générés par 300 ménages pendant 7 jours.

Une autre étude se base sur le degré souhaité d'exactitude dans les résultats ou l'écart type accepté. La taille de l'échantillon (nombre de ménages) peut être déduite d'un graphique (pourcentage de l'erreur standard ou l'écart type en fonction du taux d'échantillonnage nécessaire de la population donnée ou nombre de ménages) en fonction de deux méthodes d'échantillonnage opérées, soit l'échantillonnage aléatoire simple, soit l'échantillonnage aléatoire stratifié

Dans cette méthode, la quantité des déchets est déterminée plutôt par la production du nombre de ménages constituant l'échantillon.

Enfin, certaines études suggèrent de calculer théoriquement la taille de l'échantillon en utilisant des formules statistiques pour estimer les proportions de la population (large ou réduite) nécessaires pour satisfaire à un niveau de confiance et une erreur tolérée donnée

A noté tout de même que les différentes stratégies d'échantillonnage et en particulier la taille d'échantillon et les quantités à trier sont conditionnées par les contraintes financières et le temps. En effet, le coût des études de caractérisation est en fonction du nombre d'échantillons à analyser ainsi que des dépenses relatives à la phase préparatoire des investigations (enquêtes, collecte de données, etc.). Toutefois, ces contraintes doivent être minimisées au maximum pour garantir la précision des résultats tolérée en fonction des objectifs visés par l'étude de caractérisation.

IV.2.4. Produits et refus avant la fermentation en andain

Un échantillon est prélevé toutes les heures, en sortie de l'étape analysée. La quantité à prélever dépend des étapes. Les déchets en cours de traitement correspondent à un échantillon moyen constitué de 10 prélèvements d'environ 50 Kg récupérés dans la journée de manière aléatoire. L'échantillon est pesé, mélangé avec les prélèvements de toute la journée puis quarté afin d'obtenir la quantité nécessaire pour les analyses. Les déchets sont beaucoup plus homogènes, puisqu'ils ont subi des traitements tels que la séparation des recyclables ou une séparation granulométrique. Caractérisations sur déchets secs et sur déchets humides.

IV.2.5. Product et refuses pendant et après la mise en andain

La norme (NF U 44-101) fixe les méthodes d'échantillonnage d'un lot d'amendements organiques ou d'un support de culture. L'objectif est d'obtenir un

échantillon le plus représentatif. Globalement, la méthode fait appel à un prélèvement aléatoire de 1 Kg puis à l'utilisation de la méthode de quartage.

L'analyse de la littérature, révèle quasiment autant de techniques de prises d'échantillon et de préparation des échantillons que d'études. Les prélèvements effectués dans l'andain correspondent à un échantillon moyen en 10 points de 10 Kg, ou plus, en fonction de la grandeur de l'andain, à différentes profondeurs (1 m, 1,5 m et 2 m) [W.E.R.L]. Un prélèvement est effectué à la moitié du processus de fermentation (DA) pour suivre l'évolution de la dégradation.

IV.2.6. Conservation des échantillons

Après prélèvement, les déchets sont placés dans des sacs en tissus, puis stockés dans une zone ombragée ou mieux, dans une pièce climatisée à 20°C. La durée de stockage ne doit pas excéder 3 jours sous climat tropical, au-delà, la détérioration de l'échantillon est trop importante.

IV.3. Type d'échantillonnage

IV.3.1. Echantillonnage pour la caractérisation physique

Le lot est considéré comme un ensemble prédéfini de déchets à caractériser, dans le cas de cette étude la quantité de déchets contenue dans les camions et bennes tasseuses arrivant sur la décharge.

L'échantillon est la fraction du lot sur laquelle les observations peuvent être faites en vue de fournir des données suffisantes pertinentes sur l'ensemble du lot.

La caractérisation physique (granulométrie et composition) et la mesure de la densité sont réalisées directement sur le site dans les casiers en exploitation, sur les déchets qui sont stockés.

IV.3.2. Echantillonnage pour la détermination de l'humidité

La masse à prélever pour la détermination de la teneur en humidité est un compromis entre les résultats de calculs théoriques, le temps de séchage, et les possibilités offertes par les étuves de séchage. Le tableau suivant présente les masses de prélèvement proposées dans la norme XP X 30 – 408.

Tableau IV.1. Masses prélevées pour la détermination de l'humidité

Catégorie	Masse (Kg)		Masse modifiée (Kg)
Déchets putrescibles	10		5
Papiers	4	10*	5
Cartons	10		
Textiles	4		4
Combustibles non classés	4		4
Incombustibles non classés	2		2
Eléments fins (10 - 30 mm)	5		4
Eléments fins (0 - 10 mm)	5		4

A la suite de résultats du premier essai les masses d'échantillon ont été modifiées pour réduire le temps de séchage qui était d'environ 72 heures. La troisième colonne du tableau ci-dessus présente les masses du deuxième essai pour la détermination de l'humidité après environ 40 heures de séchage. Les résultats sont restés identiques.

IV. 3.3. Echantillonnage pour la détermination de la capacité de rétention d'eau

Le principe de la mesure repose sur la détermination de la capacité du déchet à emmagasiner au sein de sa structure l'eau avec laquelle il entre en contact. Ce test est inspiré de la procédure de l'ADEME et poursuivi pendant une durée de 20 jours au lieu de 28 conformément à la méthode utilisée en BTP pour la détermination de la capacité d'absorption d'eau dans les granulats légers.

En pratique, deux séries de tests sont effectuées, l'un dit dynamique signifiant que l'eau en contact avec un échantillon donné est renouvelée à des dates déterminées, l'autre dit statique consistant à laisser l'échantillon de déchet dans l'eau sans renouvellement jusqu'à la fin de la période. Le déchet est susceptible d'être partiellement solubilisé par la solution de la série statique qui devient ainsi de plus en plus concentrée. La comparaison des résultats des deux séries permet d'étudier l'effet de la concentration de la solution sur la dynamique d'absorption de l'eau par le déchet.

Tous les échantillons de déchet sont mis en contact avec dix fois leur masse d'eau pendant des périodes de temps variant de 1 heure à 20 jours. La détermination de la capacité d'absorption d'eau s'appuie sur la différence de masse des échantillons avant et après contact avec l'eau, en tenant compte de la perte de masse par solubilisation et par délitescence. Les opérations effectuées se résument comme suit

Pesée de l'échantillon (mo)

- ❖ Mise en contact dans dix fois sa masse d'eau pendant t jours dans un récipient fermé pour éviter l'évaporation de l'eau
- ❖ Égouttage à t jours, pesée (mt) et, pour l'échantillon évalué en dynamique uniquement, renouvellement de l'eau
- ❖ Filtration de l'eau recueillie, pesée du gâteau de filtration (Gt), détermination de la fraction solubilisée dans cette eau (F_{St}) déshydratation à 105 ± 2 °C et pesée du résidu sec

La capacité de rétention en eau en pourcentage massique à l'issue d'une période de t jours est désignée par CR.

$$CR = \frac{mt - [mo(1 - Fst/100) - Gt]}{mo(1 - Fst/100) - Gt} \times 100$$

Pour la série dynamique, FS_{cumt} et G_{cumt} (valeurs cumulées) remplacent respectivement FSt et Gt dans la formule ci-dessus. La capacité de rétention en eau représente la quantité d'eau absorbée par la masse de déchet à l'issue de la période t, soit la masse de déchet initiale de laquelle sont soustraites les fractions solubilisées et délitées.

Plusieurs essais de laboratoire ont été effectués sur différents types de déchets (copeaux de bois, papier, carton etc.) sur des mélanges de bois – papier, papier - carton, carton

- ❖ bois suivant différentes granulométries afin d'optimiser la méthode. Sur les déchets entrants, des masses de 5 Kg de déchets obtenus après quartage d'un échantillon d'environ 20 Kg constitués à partir de 5 bennes ont été choisies. Sur les déchets stockés, des échantillons d'1 Kg de fines ont été pris.

D'autres auteurs Tchobanoglous G. et al, (1993) tiennent compte des différentes couches successives et proposent la formule suivante pour la capacité de rétention (capacité au champ ou Field Capacity).

$$FC = 0.6 - 0,55 \cdot \frac{W}{[10000 + W]}$$

Où W est la masse du déchet de la couche supérieur et de la terre de recouvrement. Mais Orta de Velásquez *et al*, (2003) proposent d'utiliser la formule de Sanchez (1991) en considérant la pression transmise par les déchets à différentes hauteurs :

$$FC = \frac{\left(h \cdot p \cdot \frac{v}{100}\right) + (Si - Di) \cdot d}{[PV \cdot V \cdot \left(1 - \frac{H}{100}\right)]}$$

Où :

- ❖ FC : est la capacité de rétention (ou Field Capacity, capacité au champ) exprimée en Kg/Kg de déchet sec
- ❖ Si : volume d'eau ajouté dans la colonne
- ❖ Di : volume total d'eau extrait de la colonne durant tout le processus
- ❖ d : densité de l'eau en Kg/L
- ❖ H : humidité relative au sein du massif
- ❖ ρ : densité du déchet en Kg/L
- ❖ V : volume en litre occupé par le déchet au sein de la colonne. La détermination de la surcharge appliquée est donnée par l'expression

$$P = h \cdot \rho \cdot A$$

Où

- ❖ P : pression ou la charge piston exercée sur la colonne en tonne
- ❖ h : hauteur des déchets au sein de la décharge
- ❖ ρ : densité en T/m³ et
- ❖ A : surface de la colonne en m²

IV.4. Techniques analytiques

IV.4.1. Analyses physiques

IV.4.1.1. Bilan pondéral

Le bilan pondéral est effectué par pesée différentielle, à l'aide d'un pont bascule. Les refus et matériaux triés sont pesés préférentiellement afin de limiter le déplacement des déchets. Dans le cas de l'usine, les points de pesée sont représentés sur la Figure 25. Seuls les déchets notés en gras sont pesés, les autres sont calculés par différence. Exemple : **DB** – **MT** = **DT**. A cette quantité DT, l'élimination des refus de crible permet d'obtenir la quantité de déchets criblés entrant en fermentation

DT – **RC** = **DC**. La différence de poids entre la totalité de l'andain avant et après la fermentation détermine les pertes liées à la dégradation **CC** – **DC** = **Pertes dues à la fermentation**. Si possible, le compost produit et les refus d'affinage doivent être pesés afin d'identifier et d'obtenir la rentabilité du crible, sinon les quantités de refus seront calculées par différence.

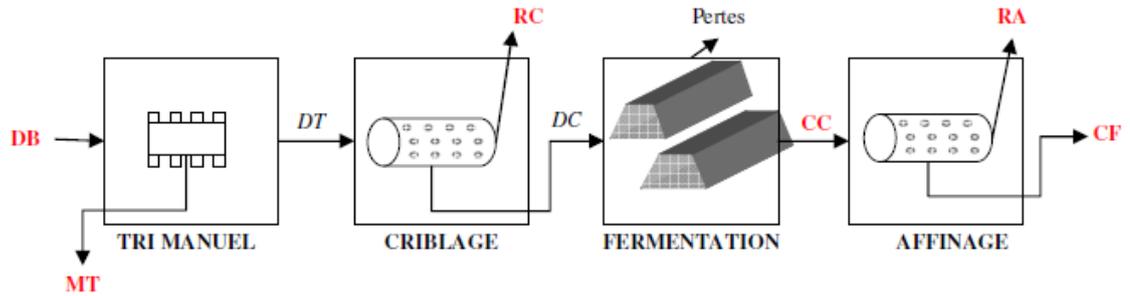


Figure IV.1. Points de pesée pour la réalisation du bilan pondéral

La quantité de déchets ménagers arrivant à l'usine est mesurée par différence entre le poids des camions chargés et ceux des camions vides sortant de l'usine. Les autres points sont évalués en sortant les déchets de la chaîne de traitement, en les plaçant dans des bennes qui sont ensuite pesées.

IV.4.1.2. Température

La température est suivie tous les 2 jours, lors du processus de dégradation. La valeur donnée correspond à la moyenne de 6 mesures effectuées dans la longueur de l'andain, de chaque côté, à des profondeurs variables (0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 m). Ces températures sont mesurées par une sonde spécifique dont la longueur est au minimum de 1,5 m.

IV.4.1.3. Densité apparente

La densité est calculée à chaque étape du procédé, sauf pour les matières recyclables, afin de déterminer l'évolution de la dégradation et le volume occupé par les déchets. Un seau de 10 L est pesé vide, puis rempli avec un échantillon. Les pesées sont effectuées avec une balance de précision $\pm 0,250\text{Kg}$. Cette mesure est quadruplée pour chaque camion et pour chaque quantité d'échantillon prélevé avant l'homogénéisation. La valeur de la densité fournie est une moyenne de plus de 50 mesures. La densité d est calculée selon la formule.

$$d = \frac{M}{V} \quad (\text{Kg/L ou T/m}^3)$$

- ❖ M : Masse de l'échantillon (Kg)
- ❖ V : Volume du seau (L)

Dans un substrat aussi hétérogène que les déchets ménagers, la densité est assimilée à la masse volumique. Dans le cas spécifique des ordures ménagères brutes, cette densité

est évaluée après le déchargement des camions sur le quai de réception, et après la prise d'échantillon au godet.

IV.4.1.4. Caractérisation

La méthode de caractérisation la plus répandue en France est le MODECOM©, repris dans la norme NF XP X 30-411 (février 1996) pour l'échantillonnage et la norme NF XP X 30-408 (octobre 1996) pour le tri et la classification. Cette méthode prend en compte douze catégories de constituants : fermentescibles, papiers, cartons, complexes, textiles, textiles sanitaires, plastiques, combustibles non classés, verre, métaux, incombustibles non classés, déchets spéciaux.

Une seconde norme Afnor XP X 30-466 « Déchets ménagers et assimilés – Méthodes de caractérisation, Analyse sur produit sec » est parue en mars 2005. Ces deux méthodes de caractérisation, la première sur déchets humides, et la seconde sur déchets secs, seront employées à chaque étape du procédé de compostage. Certaines modifications ont cependant été apportées :

❖ le séchage des déchets n'a pas pu être effectué à 75°C dans une étuve thermostatée, comme préconisé dans la norme NF U 30-466. Les échantillons ont été étalés sur des bâches, dans une enceinte close, fenêtre ouverte, pour maintenir une bonne aération, avec un chauffage d'appoint. Des retournements fréquents ont été réalisés, pour obtenir un séchage uniforme. Les échantillons sont restés dans cette enceinte jusqu'à obtention d'un produit sec, la durée dépend de l'humidité initiale des déchets, de leur quantité et de la fréquence des retournements. En moyenne, ils ont séché une semaine et leur l'humidité qualifiée de résiduelle a été mesurée dans une étuve à 105°C pour chaque type de déchets.

❖ la séparation granulométrique est effectuée sur une table de tamisage à grilles amovibles de mailles rondes de dimensions 100, 50 et 20 mm (au lieu de 100, 20 et 8 mm). Cette table a pour dimension (L*I*h) 1*2*0,2 m. Ces diamètres de mailles, adaptés en fonction du procédé, sont sélectionnés pour obtenir les résultats les plus proches du fonctionnement de l'usine. L'usine B, usine de validation technique, a un procédé avec deux cribles : le premier de mailles rondes de diamètre 55 mm et le second de mailles carrées de côté 14 mm. Le choix des mailles, pour la réalisation de la granulométrie et de la caractérisation, s'est fait en harmonie avec les deux normes et les contraintes locales de l'usine.

❖ La fraction granulométrique la plus petite est la plus difficile à séparer, du fait de sa consistance terreuse, en principe très humide. Les **fines** sont constituées en majorité d'éléments dégradés, non reconnaissables. Quelques morceaux de verre, de plastiques et de pierres sont visibles, mais leur proportion apparaît moins importante que les composés dégradés. Le tri des fines par catégories de déchets étant fastidieux et incertain, est de ce fait écarté. Dans la suite de l'étude, les fines correspondent à la fraction granulométrique inférieure à 20 mm et non à 8 mm comme le préconise la norme Afnor XP X 30-466.

❖ Les déchets sont triés selon les principales familles de déchets présentes dans des ordures ménagères. Une classification simplifiée à huit constituants est adoptée :

1. putrescibles : composés dégradables, résidus alimentaires
2. papiers – cartons : il est souvent difficile de différencier les papiers des cartons dans un déchet en cours de dégradation
3. textiles dont le textile sanitaire : pièces de tissu, vêtements et couches principalement
4. plastiques : sacs plastiques, bouteilles en plastiques, polystyrène
5. verres : provenant des bouteilles ou de la vaisselle
6. métaux : boîtes de conserve, capsules de cannettes, ferrailles
7. inertes : pierres, gravats, coquillages, matériaux de démolition (tuiles, ciment)
8. autres : structures complexes, cuir, caoutchouc

❖ Les caractérisations sont réalisées dans le but d'identifier la composition des ordures ménagères, et de suivre l'évolution des principaux composés au cours du procédé. Au vu du nombre élevé de caractérisations à effectuer, dans une durée restreinte, seuls les constituants les plus pertinents pour le procédé de compostage, seront suivis.

❖ la quantité d'échantillon analysée est fonction de l'avancement du procédé. Pour la caractérisation des déchets urbains, des études recommandent un échantillon de poids variant de 90 Kg à 135 Kg [Aloueimine S, O 2005¹]. D'autres méthodes préconisent la sélection de 100 à 200 Kg de déchets après un quartage successif d'une charge entière de camion. La méthode MODECOM© recommande une prise d'échantillon de 500 Kg après quartage afin de limiter les erreurs de mesure. Au fur et à mesure de l'homogénéisation et de la réduction granulométrique, la quantité prélevée diminue pour faciliter le tri des différents constituants. Le Tableau2, indique les prises d'échantillon pour l'usine B quelle que soit la méthode employée.

Tableau IV.2. Exemple de la quantité d'échantillon à trier (Kg)

Etapes	Humide	Sec
Déchets bruts	300	60
Déchets triés	100	20
Déchets calibrés	100	30
Refus de calibrage	100	50
Déchets en andains	50	30
Compost « coarse »	50	30
Compost « fine »	50	50
Refus d'affinage	50	30

IV.4.1.5. Texte d'Inertes

Les tests des inertes reflètent la somme des contaminants non biodégradables (plastiques, verre, métaux..). Ils sont réalisés sur la partie la plus fine < 20 mm de chaque échantillon selon la récente norme Afnor NF U 44-164 de janvier 2004. D'autres modifications ont été apportées : la séparation granulométrique est réalisée sur maille carré de 9,5 et 2,8 mm de côté. Cette méthode est également préconisée aux Etats - Unis par le « US compost Concil », qui recommande un tri manuel après tamisage à 4 mm pour séparer les plastiques. La sélection de ces diamètres de mailles est due aux contraintes d'équipements sur place. La durée des bains de javel et leurs nombres ont été augmentés afin de favoriser une meilleure dégradation de la M.O puisque l'analyse est réalisée sur une fraction de granulométries < 20 mm. Quatre bains pendant 2, 4, 14 et 24 heures sont réalisés dans la solution de chlore obtenue à partir d'hypochlorite de calcium.

IV.4.2. Analyses chimiques

Après une séparation granulométrique et un tri manuel des différents constituants, un échantillon représentatif de chaque fraction granulométrique de constituants est prélevé pour réaliser des analyses chimiques, par exemple les matières fermentescibles de granulométrie, >100, puis 100-50, puis 50-20 et enfin < 20 mm

IV.4.2.1. PH

La détermination du potentiel hydrogène, pH, est effectuée sur des suspensions aqueux selon la norme afnor NF ISO 10-390 de novembre 1994. Une masse de 20 g de matière sèche est mise en solution dans 100 ml d'eau distillée. La suspension est

homogénéisée par agitation magnétique pendant 15 minutes. La mesure de pH ($\pm 0,1$ unité pH) se fait directement par lecture sur un pH-mètre à électrode combinée.

IV.4.2.2. Humidité et matière sèche

L'humidité (H%) doit être déterminé le plus rapidement possible, pour limiter les pertes par évaporation. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour sa détermination : la méthode normée à l'étuve ou ses variantes en fonction de la température, la thermo-balance, le séchage à l'air libre.

La méthode normée Afnor NF U 44-171 d'octobre 1982, consiste en un prélèvement d'une quantité maximale d'échantillon, de préférence une masse supérieure à $100 \pm 0,1$ g, mise à l'étuve à $105 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à poids constant, environ 24 heures. La matière sèche (MS%) est le taux complémentaire du degré d'humidité.

$$\% MS = \frac{[M_0 - M_1] \times 100}{M_0}$$

$$H\% = 100 - \%MS$$

Soit

- ❖ M_0 : masse de l'échantillon brute (g)
- ❖ M_1 : masse de l'échantillon après passage à l'étuve (g)
- ❖ %MS : pourcentage de matière sèche contenu dans l'échantillon
- ❖ %H : pourcentage d'humidité contenu dans l'échantillon

Certains auteurs préfèrent sécher les déchets ménagers à des températures plus basses, afin de ne pas détériorer les composés organiques comme les sucres ou les plastiques. Des températures de séchage de 75°C , 80°C , 85°C [Brewer & Sullivan, 2003⁽⁴⁾], 105°C [Garcia, 2005⁽⁵⁾] sont rencontrées dans la littérature. A poids identique, la durée de l'analyse est d'autant plus longue que la température de séchage est basse : 24 heures à 105°C et 48 heures à 80°C ($\pm 2^\circ\text{C}$).

La thermo-balance utilisée est un dessiccateur Precisa HA300. Il se compose : d'une balance de précision ± 1 mg, d'un système de chauffage avec deux lampes infra rouge, d'un clavier de programmation permettant de régler différents paramètres de l'analyse (température, intensité de chauffage...). Contrairement au séchage à l'étuve où l'eau subit une simple vaporisation, le séchage par thermo-balance est un processus accéléré

grâce au rayonnement infrarouge. L'intérêt de ce type de chauffage provient de son efficacité énergétique, permettant un transfert homogène d'énergie et une élévation de température plus rapide, donc un gain de temps et un séchage uniforme. Un calculateur intégré traduit directement la perte de masse en pourcentage de matière sèche. Les paramètres d'utilisation de la thermo-balance, ont été optimisés par plusieurs séries d'analyses regroupant 25 mesures. Les critères d'optimisation sont : l'intensité de chauffage à 2, 5, 10, 15 et 20, la masse de la prise d'essai entre 2 et 10 g et le temps d'analyse. Les paramètres optimaux retenus correspondent à une intensité de 15, une masse d'échantillon de 5 g pour une durée de chauffage de 45 minutes.

Pour les essais de mise au point de méthodes alternatives, un séchage à l'air libre est réalisé avec une masse de 1 Kg de compost que l'on étale sur des bâches. Les échantillons séjournent ainsi une semaine en extérieur couverts la nuit afin de limiter une humidification.

IV.4.2.3. Mesure de la teneur en matière organique (MOT)

Une masse voisine de $50 \pm 0,1$ g est calcinée à $550\text{ }^{\circ}\text{C}$, pendant 2 heures dans un four (NF U 44-160 de novembre 1985). Les analyses sont doublées. Le pourcentage en matière organique totale (MOT%) ou en solide volatil est obtenu par différence de pesée entre la masse de l'échantillon séché à $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ et la masse de l'échantillon après calcination. On peut en déduire le pourcentage de MOT dans l'échantillon sec et brut.

❖ dans l'échantillon sec

$$\% MS = \frac{[M_1 - M_2] \times 100}{M_1}$$

❖ dans l'échantillon brut

$$\% MS = \frac{[M_0 - M_2] \times 100}{M_0}$$

Soit

- ❖ M_0 : masse de l'échantillon (g)
- ❖ M_1 : masse de l'échantillon après passage à l'étuve (g)
- ❖ M_2 : masse de l'échantillon après calcination (g)
- ❖ %MOT : pourcentage de matière sèche contenue dans l'échantillon

La majorité des protocoles fixe la calcination à une température de 550 °C, cependant la durée du chauffage est variable. Elle peut être de 20 minutes, de 2 heures ou de 60 heures [François, 2004]⁽⁸⁾. Ces différences sur la durée de chauffage influencent directement la valeur de la teneur en matière organique. Il est donc préférable de comparer des résultats issus de protocoles identiques.

IV.4.2.4. Carbone

Les deux principales méthodes pour déterminer la teneur en carbone organique d'un échantillon de compost consistent à une oxydation par voie sèche ou par voie humide.

La première, est celle de Walkey et Black (1934) rapportée par François (2004). La matière organique est oxydée à froid par un excès de bichromate de potassium (1 M) en milieu acide (H₂SO₄).

Le bichromate n'ayant pas réagi avec la matière organique est réduit par un excès de fer (II) (solution de sulfate double de fer ferreux et d'ammonium à 0,5 N) dosé en retour par du bichromate (1 M). Les teneurs sont déduites en considérant 77 % du carbone organique total oxydé, et l'approximation que 1 ml de bichromate correspond à 3 mg de carbone organique. Le pourcentage de carbone organique mesuré dans les déchets peut-être estimé à partir de la formule suivant :

$$\% C_{org} = [x + (10 - y)] \times 0.003 \times \left(\frac{100}{77}\right) \times \left(\frac{100}{m}\right)$$

Avec

- ❖ m : masse de déchets (g)
- ❖ x : volume de bichromate versé (ml)
- ❖ y : volume de bichromate servant à titrer la solution de sulfate double de fer ferreux et d'ammonium ou sel de Mohr

Le protocole indique des prises d'échantillon faibles comprises entre 0,125 à 1 g de déchets de façon à ce que le bichromate utilisé soit réduit à 75%.

La seconde, est une méthode d'oxydation à chaud, selon la norme AFNOR NF ISO 14235. Le carbone organique est oxydé dans un mélange de solution de bichromate de potassium (0,27 mol/L) et d'acide sulfurique concentré à une température de 135°C. Les ions bichromate sont réduits en ions Chrome III. L'intensité de la couleur des ions Cr

VI en excès est mesurée par spectrométrie à une longueur d'onde de $\lambda = 585$ nm et comparée à un courbe étalon réalisée dans les mêmes conditions avec du glucose anhydre. La teneur en carbone organique du compost, celle en eau de l'échantillon étant connue est calculée selon la formule :

$$C = \frac{C_1}{M_0 \times 100} \quad (\text{g de carbone / kg de Ms compost})$$

Avec

- ❖ C_1 : masse de carbone organique trouvée dans la prise d'essai par rapport à la droite d'étalon du glucose (mg)
- ❖ M_0 : masse sèche de l'échantillon pour l'essai (g)

Ces deux méthodes ont été employées dans l'étude : la première sur le site B et la seconde sur le site C, en fonction des moyens disponibles.

IV.4.2.5. Teneur en azote

IV.4.2.5.1. Azote Total Kjeldhal (NTK)

L'azote NTK, somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique, est mesuré selon la norme Afnor ISO 11261, juin 1995. Les échantillons séchés à 105°C sont minéralisés dans un « minéralisateur » pendant 1 heure à 180°C puis pendant 2 heures à 360°C en milieu acide et en présence d'un catalyseur (K₂SO₄ et Se). Les résidus obtenus après digestion sont distillés après neutralisation de l'excès d'acide par la lessive de soude 30%. Le distillat est récupéré dans un erlang meyer avec de l'acide chlorhydrique (0,1M). Le dosage réalisé avec de la soude (0,1M) et du rouge de méthyle permet de déterminer les teneurs en azote de l'échantillon. Les masses d'échantillons analysées sont faibles de l'ordre de 0,1g. Les essais ont déterminé la quantité d'échantillon, la mieux adaptée, en fonction du stade de maturation. Cette masse s'échelonne entre 0,1 à 1g. Plus la quantité d'échantillon est importante, plus la durée de minéralisation devra être augmentée. Pour une quantité de 0,1g, la durée de minéralisation est d'une heure à 180°C et de deux heures à 360°C. La teneur en azote NTK est exprimée à $\pm 0,1$ mg N-NTK/ Kg Ms.

$$N - NTK = \frac{[(V_1 - V_2) \times 0.014 \times C \times 1000]}{M} \quad (\text{mg N - NTK/ Kg MS})$$

Avec

- ❖ V_0 : volume de la solution de soude utilisé pour l'essai à blanc (ml)

- ❖ V1 : volume de la solution de soude utilisé pour le dosage de l'échantillon (ml)
- ❖ C : concentration de la solution de soude utilisée lors du titrage (mol/L)
- ❖ M : masse de la prise d'essai (g)

IV.4.2.5.2. Nitrate, nitrite et ammonium

Les ions nitrate, nitrite et ammonium sont mesurés par l'utilisation du kit commercial, Dr Lange, respectivement : LCK 339, de gamme 1-60 mg NO₃⁻/L, LCK 342 de gamme 2-20 mg NO₂⁻/L, LCK 303 de gamme 2,5-60 mg NH₄⁺/L. Les déchets en fermentation sont tamisés sur une maille carrée 10 mm. Une suspension de compost à 20 g/L est préparée avec de l'eau distillée, agitée pendant 20 minutes, puis laissée décanter 1 heure avant la réalisation de l'analyse.

IV.4.2.6. Rapport C/N

L'évolution du rapport C/N est souvent considérée comme indicateur d'une bonne dégradation d'un substrat organique solide au cours de la fermentation. Ce rapport C/N est calculé à partir des valeurs de C_{org} mesuré par oxydation et de la quantité d'azote N mesurée par la méthode NTK.

IV.4.2.7. Méthode de détermination de la teneur en métaux

Les échantillons sont minéralisés à chaud avec de l'eau régale (1/3 HNO₃+2/3 HCl) selon la norme Afnor NF ISO 11 460 de juin 1995. Le compost est séché à 105°C puis broyé. Compte tenu des interférences observées au cours du dosage, et de la masse de l'échantillon très faible (0,1g), les analyses sont dupliquées. Les échantillons sont chauffés à 100°C pendant une heure puis à 135 °C jusqu'à évaporation de l'acide soit environ pendant 3 heures. Un ajout d'eau distillée permet de ramener le volume à 50 ml. Les échantillons sont ensuite filtrés à 0,45µm.

Les concentrations en métaux sont mesurées, soit par spectrophotométrie d'absorption atomique four pour la majorité des métaux, soit par spectrophotométrie d'absorption atomique flamme pour le zinc. Le mélange gazeux employé pour la flamme est de l'air-acétylène. L'appareil mesure la différence d'intensité entre le rayonnement incident et celui transmis. L'application de la loi de Beer-Lambert intégrant cette différence permet d'accéder à la concentration du composé. La limite de détection de ces deux méthodes est variable en fonction de l'élément dosé.

IV.3.2.8. Autres

Le dosage du NaCl est réalisé sur un extrait aqueux de compost en plaçant une masse de 20 g de matière sèche en contact dans 100 ml d'eau distillée, sous agitation pendant 15 minutes puis filtration sur filtre Whatman 0,45 μm . Un prélèvement de 2 ml de cette solution, dans 20 ml d'eau distillée, est titré par une solution de nitrate d'argent avec du chromate de potassium comme indicateur coloré.

IV.3.3. Analyses biologiques**IV.3.3.1. Tests de maturité**

Les tests de maturité d'auto-échauffement et de colorimétrie de type Solvita ont été effectués sur les déchets, les matières en cours de fermentation et les composts. Les échantillons sont tamisés à 10 mm. Leur humidité est ajustée à une valeur obtenue par le test dit « de la poignée ».

Ce test est décrit par une norme allemande. Un vase Dewar de 1,5 L et de 10 cm de diamètre intérieur est complètement rempli par l'échantillon sans tassement actif. Le vase ouvert à son sommet contenant l'échantillon est placé dans une chambre thermostatée ($20 \pm 1^\circ\text{C}$). La température à l'intérieur du vase est mesurée par un thermomètre dont le capteur est situé à environ 20 cm sous la surface du compost. La durée du test est de 10 jours. La température maximale atteinte (T_{max}) permet de connaître le degré de maturité du compost. Cet indice Dewar varie de I (température maximale supérieure à 60°C) pour un compost assimilé à de la matière brute, à V (température maximale inférieure à 30°C) pour un compost considéré comme mûr et fini

IV.3.3.2. Tests de respirométrie

Le compost est dégradé par fermentation aérobie. Le substrat sert de source de carbone organique aux micro-organismes en présence d'oxygène. Le gaz carbonique (CO_2) est le produit principal de cette réaction. Cependant, si le milieu vient à manquer d'oxygène (O_2), une anaérobiose se crée modifiant ainsi la réaction. Le processus de méthanisation peut démarrer aussi, produisant du dioxyde de carbone et du méthane (CH_4).

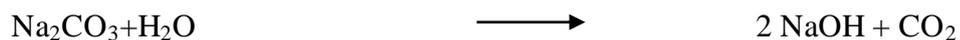
IV.3.3.3. Analyseur de gaz

L'analyseur de gaz employé est de la marque INNOVA Air Tech Instruments. Il aspire l'air contenu dans une enceinte à l'aide d'une pompe de débit. L'eau est retirée de cet air en traversant un tube Nafion, contenant une membrane filtrante et des cristaux de silice. L'eau doit être éliminée car elle perturbe les dosages des gaz. L'air est ensuite aspiré jusqu'à l'analyseur multi-gaz piloté par informatique et relié à un intégrateur enregistrant les données.

La masse volumique est déterminée en remplissant un bécher de 1L (préalablement taré) avec du compost. La masse obtenue correspond à la masse volumique du compost en g/dm³. Une masse m de compost humide à 60% (teneur en eau idéale pour le processus) est introduite dans un flacon de volume V. Le rapport masse (g) / volume (ml) doit être environ de 0,08. Par exemple mC = 100 g de compost pour un volume de bouteille de V_{bouteille} = 1 180 ml. La bouteille est fermée hermétiquement et placée à température ambiante, à l'obscurité, dans un vase en polyester limitant les échanges gazeux. L'acquisition lancée l'analyse s'effectue pendant 5 jours. Les résultats sont traités sous forme de pourcentage, convertissable en concentration : mg/Kg de MS.

IV.3.3.4. Demande Biologique en Oxygène par méthode manométrique

La mesure de la Demande Biologique en Oxygène obtenue (DBO) a été facilitée par l'emploi d'Oxitop® WTW, permettant d'enregistrer chaque jour la valeur d'O₂ consommée. Cet équipement permet une mesure manométrique par différence de pression. Elle estime la consommation d'oxygène lors de la fermentation aérobie. Cependant, pour que le CO₂ produit n'interagisse pas, il est neutralisé sous forme de carbonate de sodium (Na₂CO₃) par des pastilles de soude (NaOH).



Ces équipements indiquent directement la valeur de la dépression en mg d'O₂ consommé par litre.

Les déchets sont broyés avant introduction dans le flacon, d'une contenance de 500 ml.

IV.4. Traitement informatique des données

IV.4.1. Etude statistique des résultats

Afin de discuter les différents résultats obtenus, les paramètres statistiques retenus seront la moyenne, l'écart type, la variance et la classe modale. La moyenne se prête facilement aux calculs algébriques ainsi qu'aux tests statistiques. Elle est d'autant plus significative que la répartition de la série est symétrique et la dispersion plus faible. Cependant, elle est assez sensible aux valeurs anormalement petites ou grandes. Les paramètres de dispersion (écart-type et variance) permettent de mesurer les écarts des valeurs à la moyenne. Ces paramètres permettent de visualiser la plus ou moins grande dispersion des résultats. Enfin la classe modale est la classe ayant le plus grand effectif. (Il représente le sommet du pic lors d'une représentation graphique effectif = f (caractère étudié) si les valeurs suivent une loi normale).

$$\text{Moyenne } \mu = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \times x_i$$

Ecart types d'un échantillon est t'égala

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{(n - 1)}}$$

Les résultats obtenus au cours de la validation de la méthodologie sont traités par une méthode statistique, évaluant la marge d'erreur entre la méthode normalisée et la nouvelle méthode. Le « test de Student » sera utilisé pour valider ou non la méthode. Ces tests sont de plus en plus utilisés en biologie. Ils reposent sur un principe simple : faire un choix entre plusieurs hypothèses possibles sans disposer d'informations suffisantes pour que le choix soit sûr. Une hypothèse initiale, notée (H_0), est vérifiée. La valeur prise par cette variable aléatoire est calculée à l'issue de l'expérience, en fonction de cette information l'hypothèse est validée ou non. Si le résultat obtenu conduit à accepter (H_0), le risque d'erreur est noté α qui représente la probabilité de se tromper quand (H_0) est écartée. Ce risque est fixé par l'utilisateur du test.

L'hypothèse est la suivante : sous (H_0), si X suit une loi normale alors la variable aléatoire « t » suit la loi de Student au degré de liberté $(n_1+n_2)-2$. Pour valider l'hypothèse, elle est comparée avec la :

Valeur trouvée dans la table de Student, n_1 et s_1 étant la moyenne et l'écart type des résultats de la méthode normée, n_2 et s_2 la moyenne et l'écart type des résultats de la méthode testée.

La valeur commune de l'écart type est estimée par :

$$\sigma = \sqrt{[(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2] / (n_1 + n_2 - 2)}$$

Le « t » de Student se calcule alors :

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

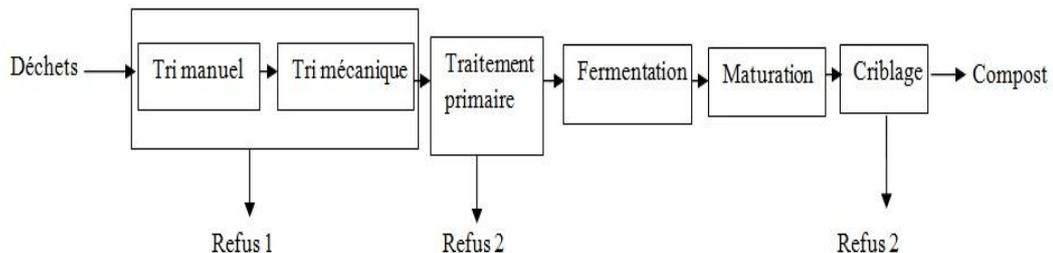
La conclusion dépend de la valeur du « t » ainsi calculée. Si « t » est supérieure au « t » lu sur la table de Student, alors l'hypothèse (H_0) est confirmée pour le risque α égal à 0,05.

Les tests sont réalisés sur une série de 25 mesures. Les valeurs suivent une distribution de Laplace-Gauss ou une loi quelconque si $n > 30$. La valeur du « t » lue dans la table de Student, pour un degré de liberté égal à 48 ($25+25-2$) et pour un risque α de 0,05, est de 2,021. L'hypothèse sera donc validée si la valeur du « t » calculée est inférieure à celle du « t₄₈ » lue dans la table de Student.

IV.5. Schéma proposée

IV.5.1. Schéma du procédé industriel

Un procédé industriel de compostage regroupe plusieurs étapes variant en fonction du type de chaîne de traitement et des usines. Les étapes les plus fréquemment rencontrées sont schématisées dans la figure 2.



FigureIV.2. Schéma général d'un procédé de compostage.

Le tri manuel et le tri mécanique peuvent être regroupés en une seule étape. Le tri mécanique comprend par exemple un crible ou un système de déferrailage ou de séparation de l'aluminium. De même, l'étape du tube rotatif et celle du criblage sont à adapter en fonction du procédé de compostage.

L'examen des étapes particulières du procédé permet d'identifier des dysfonctionnements précis, indiqués dans le Tableau 3

Tableau IV.3. Identification des évaluations à réaliser pour d'éventuels problèmes

ETAPES	PROBLEMES EVENTUELS	EVALUATION
TRI MANUEL	<ul style="list-style-type: none"> - Elimination des toxiques - Influence de la composition des déchets - Perte de rendement - Efficacité 	<ul style="list-style-type: none"> - Bilan pondéral - Bilan M.O - % Recyclage - Consommation énergétique
TRI MECANIQUE	<ul style="list-style-type: none"> - Positionnement dans la filière - Choix de la maille du crible - Elimination des toxiques - Perte en M.O - Séparation des métaux 	<ul style="list-style-type: none"> - Bilan pondéral - Bilan MO - Granulométrie - Consommation énergétique
FERMENTATION & MATURATION	<ul style="list-style-type: none"> - Taille des andains - Durée de fermentation - Durée de maturation - Perte en M.O - Montée en température 	<ul style="list-style-type: none"> - Suivi T, C/N - Bilan M.O - Bilan hydrique - Granulométrie - Fréquence des retournements - Bilan pondéral - Consommation énergétique
CRIBLAGE	<ul style="list-style-type: none"> - Granulométrie - Elimination des toxiques - Positionnement du criblage - choix de la maille du cri 	<ul style="list-style-type: none"> - % Compost - Bilan pondéral - Bilan M.O - Analyse de la valeur agronomique - Consommation énergétique

Ces points souvent délicats sont évalués par des bilans pondéraux, des caractérisations, des bilans hydriques et des analyses physico-chimiques, précisés ci-après.

IV.5.2. Différentes étapes du compostage

Le procédé de compostage est une succession de modifications physico-chimiques qui se réalisent spontanément dans le milieu naturel. L'utilisation d'un tel processus de dégradation dans l'industrie nécessite l'optimisation de tous ces paramètres afin d'obtenir une dégradation complète et rapide dans un minimum de temps. Pour cela, le compostage industriel se divise en plusieurs étapes mécaniques ou non, où chacune

pourra faire l'objet d'optimisation en fonction des demandes et des conditions spécifiques de l'usine.

Les techniques et les filières de traitement des déchets urbains par compostage sont décrites en détail par divers auteurs. Il est difficile de faire une description exhaustive et détaillée de tous les systèmes disponibles sur le marché. En effet, de nombreuses technologies sont employées et adaptées en fonction de la nature du substrat, de la capacité de traitement, des moyens financiers et de la taille de l'exploitation. Une multitude de procédés brevetés existent. Néanmoins les étapes techniques de base se retrouvent toujours, comme schématisées Figure 3.

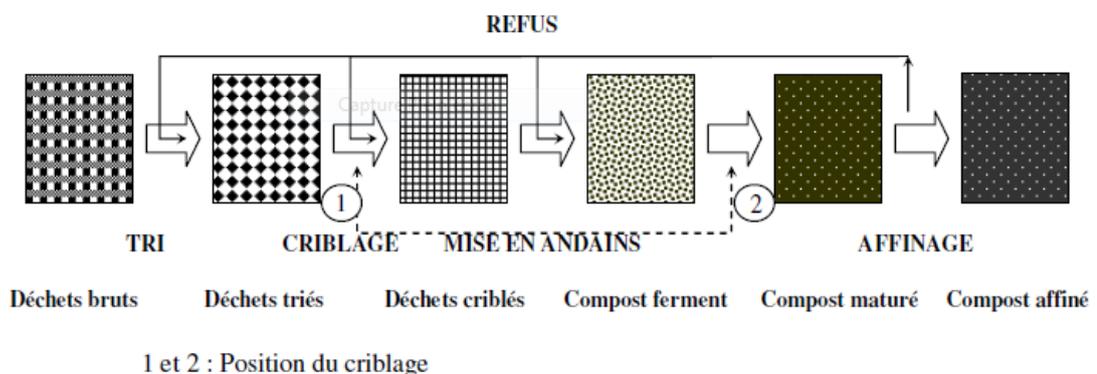


Figure IV.3. Schéma du procédé de compostage classique

Cette schématisation du procédé est indépendante du pays de son application. Plusieurs types de filières existent, le compostage traditionnel à petite échelle, réalisé par les associations de quartiers, les O.N.G, de façon décentralisée, représente la majorité.

Le compostage traditionnel, centralisé et géré par les municipalités, est plus rarement rencontré. Le compostage industriel dans les villes à forte densité de population, où des systèmes de gestion des déchets existent, est plus complexe. La méthodologie d'expertise élaborée est ciblée sur cette dernière catégorie d'usine car leurs fonctionnements font intervenir plus de paramètres, donc plus de risques de dysfonctionnements.

IV.5.2 .1. Préparation du substrat

La qualité des matériaux organiques à composter est une condition indispensable pour un compost de qualité. Les expériences de compostage de déchets urbains en

provenance d'une collecte non sélective ont démontré, qu'il est difficile de produire un compost conforme aux normes, apte à être utilisé sans risque pour l'environnement. Pour cette raison, toute précaution prise par l'exploitant dans le but de réduire ce risque est à encourager. Afin de faciliter le processus de dégradation, une série d'étapes prépare le déchet en fonction du système de traitement appliqué par la suite. En fonction du procédé mis en place, ces opérations de préparation peuvent être effectuées ou non.

IV.5.2 .1.1. Le tube rotatif de compostage

Le tube rotatif est utilisé pour le compostage des déchets ménagers, entre autres, aux Etats Unis et en Europe.

Les OM brutes sont introduites directement en l'état dans un tube rotatif, d'une longueur adaptée au tonnage entrant, simultanément un traitement physique (déchiquetage des ordures), grâce à la rotation permanent du tube, et un traitement biologique (compostage des matières organiques) ont lieu. Le compostage est accéléré à une aération assurée par des ventilateurs et une humidification par arrosage.

Le tube relatif, comme tout équipement de compostage, permet une réduction de la masse et de volume des déchets ménagers. L'effet mécanique créé par la rotation permet une fragmentation et une homogénéisation du produit. La distribution homogène de l'humidité favorise l'activité microbienne et, par conséquent, l'augmentation de la température dans le tube. Cet effet biomécanique se traduit par une perte de la MOT et une évaporation de l'eau.

A l'échelle industrielle, les tubes rotatifs sont utilisés en tête de la chaîne de traitement pour alléger en masse le produit allant vers les autres équipements de compostage, et d'amorcer l'activité microbienne qui se poursuivra ensuite dans un autre équipement.

Le choix de temps de séjour dans les tubes rotatifs est souvent fait par rapport à la quantité des déchets entrant dans l'opération et la capacité de l'équipement de compostage qui reçoit le produit sortant du tube. L'association des tubes au rendement du processus répand à une logique de quantité et de gestion de l'espace dans l'usine. En effet, les dimensions des tubes, leurs formes et leur association avec des cribles moyens (mailles de 20 à 50 mm), qui mettent d'enlever les gros indésirables dans le produit sort.

IV.5.2 .1.2. Tri

Le tri est une opération nécessaire pour séparer, dans un déchet extrêmement hétérogène, les matières organiques fermentescibles, des fractions non valorisables par le biais du compostage. Cette phase vise la séparation des catégories principales de matières recyclables : le verre, les plastiques, les métaux, le carton ou le papier ; elle peut aussi permettre le tri de différentes sous-catégories (verres blancs ou verts, différents plastiques) pour une valorisation. Différentes sortes de tri sont envisageables :

- ❖ Tri à la source : c'est la solution la plus favorable car les déchets sont séparés dans le foyer et ne sont donc pas mélangés et souillés avec d'autres produits. Ce tri réduit et facilite le travail des trieurs sur l'usine de compostage. Le tri à la source n'est pas encore une démarche de gestion des déchets, compte tenu des difficultés de collecte et diverses expériences de collecte sélective se sont avérées inopérantes.

- ❖ Tri par collecte sélective : cette technique permet de récupérer les produits dangereux (peintures, piles...) et de réduire la toxicité dans les déchets à composter.

- ❖ Tri après collecte : il est réalisé sur le site de traitement des déchets. De nombreuses méthodes de séparation des déchets hétérogènes sont envisageables, du tri manuel au tri mécanisé, en fonction du procédé en aval. Selon le type de recyclage envisagé, les déchets peuvent être séparés en produits combustibles ou en matières recyclables suivant l'optique de vente. Les caractéristiques les plus fréquentes de séparation sont : la taille, la densité, le magnétisme, mais aussi la nature même du déchet.

IV.5.2 .1.3. Broyage

La fonction principale du broyage est d'offrir aux micro-organismes un champ d'action aussi large que possible et de réduire le volume des matières de base. Un volume restreint facilite la manipulation des andains et améliore la structure de ce dernier. Cette phase facilite donc la biodégradation des déchets par les micro-organismes et diminue la durée du traitement. Elle correspond à une première attaque « physique » du substrat réduisant ainsi la résistance naturelle à la dégradation.

La phase de broyage peut également servir d'homogénéisation permettant de répartir équitablement les différents composants des déchets afin d'uniformiser toutes les substances nécessaires à la biodégradation dans toute la masse. Le broyage est à recommander uniquement pour les déchets verts. En présence d'éléments toxiques (piles ou médicaments) dans le cas des déchets urbains, le broyage en amont est à

proscrire, car il fractionne ces éléments comme toutes les impuretés nuisant à la qualité du compost final. Il sera alors très difficile d'éliminer ces éléments toxiques pendant le traitement.

IV.5.2.2. Fermentation

Le procédé de fermentation est le cœur du système de l'installation et se divise en deux étapes : l'étape de biodégradation et celle de pré-humification. Les procédés de fermentation « accélérés » interviennent sur cette première étape pour améliorer les performances de la biodégradation et réduire sa durée. L'essentiel est de maintenir l'humidité (40-60%), l'apport d'oxygène et de contrôler la montée en température.

IV.5.2.2.1. Techniques de fermentation

Les techniques de compostage varient selon le type et la quantité de déchets à traiter. Elles sont rustiques dans les systèmes traditionnels utilisés par le secteur informel, modernes et souvent mécanisées à l'échelle industrielle. Le rôle de la technologie dans le compostage est clairement défini : les différents moyens techniques servent à améliorer et à accélérer le processus biologique naturel.

Pour ce faire, on cherche à optimiser l'activité des micro-organismes en régulant les paramètres principaux (température, humidité et aération) et en améliorant la qualité du substrat à composter. Il existe donc différentes techniques de compostage. Le choix du procédé et de la technologie est fonction de la situation locale : nature, quantité et disponibilité des déchets, ainsi que du coût de production incluant main d'œuvre, énergie et eau. Les principaux systèmes de compostage actuellement sur le marché peuvent être séparés en quatre types :

- ❖ Type 1 : fermentation en andains à l'air libre ou sous hangar, avec aération mécanique ou forcée,
- ❖ Type 2 : fermentation accélérée en cellules horizontales closes,
- ❖ Type 3 : fermentation accélérée en cellules verticales closes,
- ❖ Type 4 : fermentation accélérée en tube rotatif.

Le Tableau VI.4 Comptabilise la fréquence d'utilisation de certains procédés tirés d'environ 150 ouvrages.

Tableau IV.4. Fréquence d'apparition à travers la littérature des techniques de compostage

Type	Procédé	Fréquence d'utilisation en %
1	Andains	49.9
1	Andains couverts	13.1
2	Casiers	13.1
2 ou 3	Enceinte close	10.8
Autre	Lombri-compostage	6.5
4	Tube rotatif	6.4

La méthode la plus répandue est le compostage en andains à 60%, couverts ou non. Les autres méthodes correspondent à des systèmes plus sophistiqués. Ces pourcentages correspondent à une recherche effectuée dans la littérature et ne sont donc pas le reflet de la réalité des quantités traitées. Par contre, cette étude révèle les tendances en matière de filière de compostage : un compostage moins sophistiqué est le plus fréquent, dans les P.E.D, qu'il soit informel ou industriel.

❖ Fermentation en andain

Les déchets sont placés en andains, rangés et retournés périodiquement. Cette fermentation de type Bühler, Luchaire, Gondard, Sual, selon les constructeurs, est naturelle et améliorée par des techniques permettant la pérennité du processus de dégradation. La forme de l'andain arrondie, triangulaire ou trapézoïdale est décisive pour l'efficacité du traitement biologique, et fonction du système de compostage choisi. L'andain en couches correspond à une superposition de couches de déchets. En raison des divers véhicules de livraison, tractrice et broyeuse qui passent sur le tas, le matériau est trop comprimé. Ce système s'est révélé non rentable, donc abandonné par la majorité des exploitants.

IV.5.2.3. Dégradation

L'évolution de la température durant le processus de dégradation s'effectue en trois phases.

❖ la température monte rapidement à 40 °C - 45 °C suite à la respiration des micro-organismes mésophiles aérobies. Les composés les plus dégradables tels les sucres et l'amidon sont d'abord consommés.

❖ Une phase préliminaire à cette première phase est parfois décrite. Au cours de cette phase on note, après une courte latence, une légère augmentation de la

température. Elle résulte de l'activité respiratoire endogène de cellules vivantes présentes dans la masse à composter. Cette phase est donc très courte et ne s'observe qu'en laboratoire lorsque le mélange à composter contient une forte proportion de tissus frais.

- ❖ la respiration élève ensuite la température progressivement jusqu'à 60 °C - 70 °C, conduisant au remplacement des micro-organismes mésophiles par des thermophiles et des thermo-tolérants.
- ❖ par leur respiration, les micro-organismes épuisent l'oxygène de la masse en compostage et rendent le milieu anaérobie. Des germes anaérobies se développent alors, conduisant à un abaissement de la température car leur métabolisme est moins thermogène. Ils sont de plus responsables de la libération de composés volatils nauséabonds (méthane, ammoniac, hydrogène sulfuré...).
- ❖ Pour éviter cette putréfaction, il est nécessaire de restaurer les conditions aérobies du milieu (voir aération ci-dessous). Ainsi il sera possible de prolonger la fermentation à haute température. Les pathogènes, parasites et semences de mauvaises herbes seront détruits par la température élevée, les mauvaises odeurs seront évitées, la décomposition sera plus rapide. Dès que la température n'augmente plus après aération, on peut considérer que la dégradation est terminée.

IV.5.2.4. Maturation

À ce moment, la quantité de matière facilement utilisable par la microflore se raréfie et la biosynthèse de composés humiques devient prédominante. On assiste à la disparition des micro-organismes thermophiles au profit d'espèces plus communes et de nouvelles espèces mésophiles au fur et à mesure que la température décroît au cours d'une longue période de mûrissement pour se stabiliser au niveau de la température ambiante.

Il faut encore signaler que la transition entre chacune des phases citées précédemment résulte d'une évolution continue. Il n'y a pas de frontière marquée entre les espèces mésophiles et thermophiles. Chaque espèce possède une gamme de températures vitales avec un optimum au milieu.

IV.5.3. Paramètres techniques du compostage

IV.5.3.1. Bilans pondéraux

La réalisation de bilans pondéraux au cours du procédé de compostage permet de suivre la matière organique, le pourcentage de recyclables, le pourcentage d'impuretés et également celui des toxiques (Figure4). Le suivi de l'eau est également nécessaire

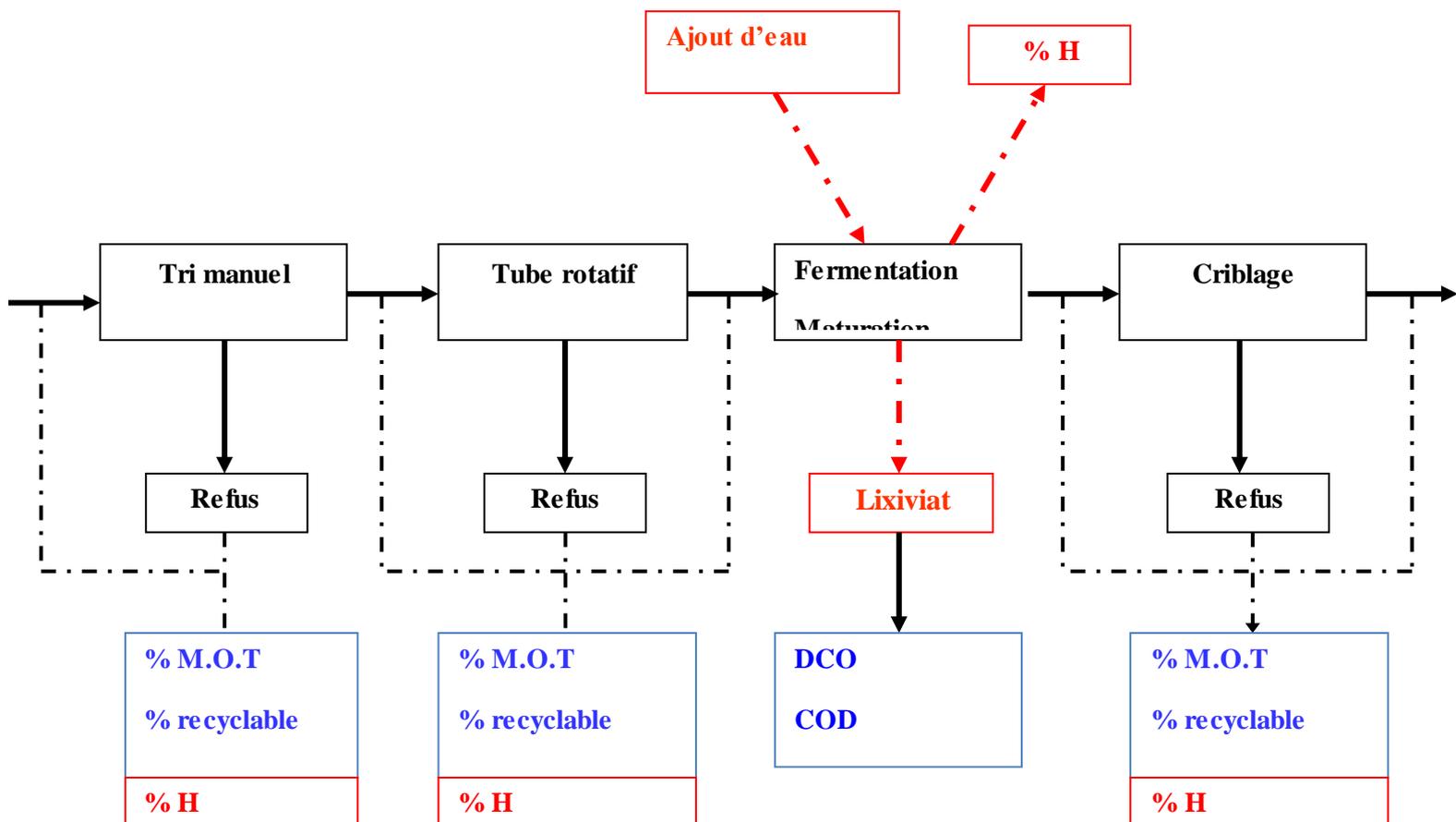


Figure IV.4. Bilans pondéraux sur une usine

La réalisation de bilan massique met en évidence le taux de traitement et le taux de rejet de l'usine.

Ces indicateurs sont les plus simples à évaluer, pour juger de la productivité de l'usine. Au-delà de la productivité, les bilans massiques relatifs aux matériaux séparés mettent également en évidence les performances des équipements ou du personnel.

IV.5.3.2. Echantillonnage

La réalisation de caractérisation des échantillons de déchets ou de compost est délicate et les conditions de prélèvement doivent être rigoureuses, elles sont décrites dans le Tableau 5

Tableau IV.5. Poids d'échantillons à prélever et séchage à réaliser

Type	Quantité à Analyser		Séchage	Identification	Observation
	humide	Sec			
<i>Déchets bruts</i>	500	100	A l'air	X	Séchage alternatif à 80°C en étuve (de 1 m ³) Prélèvements en continus modifiables en fonction des conditions
<i>Tri manuel</i> • <i>Flux</i> • <i>Matériaux</i>	100 -	70 -	A l'air	X	Séchage alternatif à 80°C en étuve (de 1 m ³) Prélèvements en continus modifiables en fonction des conditions
<i>Traitement primaire</i> • <i>Flux</i> • <i>Refus</i>	100 100	50	A l'air	X	Séchage alternatif à 80°C en étuve (de 1 m ³) Prélèvements en continus modifiables en fonction des conditions
<i>Andains Fermentés</i>	50	50	A l'air	X	Séchage alternatif à 80°C en étuve (de 1 m ³) Prélèvements en continus modifiables en fonction des conditions
<i>Andains Maturés</i>	50	50	A l'air	X	Séchage alternatif à 80°C en étuve (de 1 m ³) Prélèvements en continus modifiables en fonction des conditions
<i>Criblage</i> • <i>Compost</i> • <i>Refus</i>	25 25	50 50	A l'air	X	Séchage alternatif à 80°C en étuve (de 1 m ³) Prélèvements en continus modifiables en fonction des conditions

Les analyses physico-chimiques de laboratoire sont réalisées sur des prélèvements provenant de la caractérisation. Un échantillon de déchets doit être prélevé à chaque étape en continu afin de lisser les erreurs de prélèvements sauf pour les déchets mis en andains, ou les prélèvements sont effectués à différentes profondeurs et en plusieurs points de l'andain afin de recueillir un échantillon représentatif.

La quantité de déchets à prélever est dégressive avec l'homogénéisation du substrat et l'avancement du procédé. Pour la caractérisation sur sec, la quantité d'échantillons à prélever dépend de l'humidité du déchet.

Les échantillons doivent être conservés à l'abri de la lumière et si possible à une température la plus proche possible de 4°C, or étant donné le nombre important d'échantillons et leur volume, leur conservation au réfrigérateur est difficile, une pièce climatisée peut alors servir à une température voisine de 20°C.

L'identification de tous les échantillons est essentielle et doit être spécifique au procédé de chaque usine, celle employée dans l'étude du cas B peut servir d'exemple :

XYa, ni-nz, Ci

Avec

- ❖ XY : l'origine du déchet
- ❖ a : le type de caractérisation sur sec (s) ou sur humide (h)
- ❖ -ni-nz : l'intervalle de maille du crible lors de la caractérisation
- ❖ Ci : Catégorie de constituants

IV.5.3.3. Caractérisation

La caractérisation comprend la granulométrie et le classement par catégorie des constituants des déchets. Les dimensions des mailles pour la séparation granulométrique sont 100, 50 et 20 mm. Ce sont les plus communément utilisées mais elles doivent être adaptées en fonction du procédé de compostage, Tableau 6

Tableau IV.6. Types de caractérisation

CARACTERISATION		
GRANULOMETRIE	CATEGORISATION	
	Justifications	Catégories
> 100 mm 100-50 mm 50-20 mm < 20 mm	- Rendement en M.O - Impuretés dans compost + produit valorisable - Toxique dans compost + produit valorisable - Matières valorisables - Composition des déchets - Impuretés dans compost	- Fermentescibles - Plastiques en mélange ou non - Verres - Inertes - Métaux différenciés ou non - Papiers-cartons différenciés ou non - Textiles - Fines
Commentaire : la taille des mailles est fonction du procédé		Commentaire : le nombre de catégories dépend de la composition des déchets urbains

Les résultats obtenus pour les caractérisations sur humide ou sur sec montrent un écart dû à la matière organique fortement chargée en humidité. L'erreur liée au séchage des échantillons compense sans doute celle de la représentativité. La caractérisation sur humide fait un premier bilan, une première approche. Ensuite une caractérisation sur sec permet d'avoir le détail de fonctionnement par s équipement. La caractérisation sur humide est retenue pour sa facilité de mise en œuvre car elle ne nécessite pas de séchage et reflète la réalité du procédé, tandis que la caractérisation sur sec révèle la composition et la granulométrie de l'échantillon à chaque étape et facilite la phase de séparation. Le suivi de la granulométrie permet de vérifier le déroulement du processus de dégradation et le dimensionnement des équipements.

IV.5.3.4. Analyse des paramètres de suivi du procédé

IV.5.3.4.1. Paramètres physiques

Les paramètres physiques évalués sont la densité, la température, l'humidité et les facteurs climatiques intervenant directement sur le procédé comme les précipitations et l'évaporation de l'eau, Tableau 7.

Tableau IV.7. Paramètres physiques à mesurer pendant le procédé

Paramètres	Mesure	Unité	Mesure		Méthode normée	Commentaires
			Quand	Où		
Densité		Kg/L m ³ /T	Immédiate	s/place		Prise de volume suffisant
Température	Temp	°C	Immédiate	s/place	X	Moyenne de 6 à 8 valeurs, tous les 2 jours
Humidité	H %	%	Immédiate	s/place	X	Séchage à 105°C, à 80°C ou à l'air en fonction de l'analyse
Précipitations	P	Mm	Immédiate	s/place		Installation d'un pluviomètre ou d'une station météo
Evaporation	ETR	Mm	Immédiate	s/place		

L'évaluation de la densité fait apparaître quelques difficultés au niveau de la méthodologie notamment pour les déchets bruts très hétérogènes. Si la connaissance de la densité des déchets produits par les ménages est indispensable pour le dimensionnement de la collecte, pendant le déroulement du procédé, cette mesure est utile pour l'évaluation du bilan massique sur les andains.

Le suivi de l'humidité fournit deux indications, dont la première est relative aux performances dans le fonctionnement des équipements et la seconde à l'optimisation du

processus de dégradation. Le pourcentage d'humidité en début de processus de dégradation est recommandée proche de 60% pour les déchets ménagers, puis son maintien lors de la fermentation autour de 50 et 60% afin d'améliorer les conditions de dégradation des micro-organismes. Peu d'usines possèdent des stations météorologiques sur site, alors que le bilan hydrique dépend de ces paramètres nécessaires à l'évaluation dès lors l'installation d'un pluviomètre est recommandée.

IV.5.3.4.2. Paramètres chimiques sur solide

Les paramètres chimiques mesurés sur les solides sont le pH, la M.O.T, le rapport C/N, les métaux et le sel NaCl, Ces analyses doivent être réalisées sur place dans l'enceinte de l'usine ou par le biais d'un laboratoire extérieur.

Les analyses chimiques sont effectuées par un laboratoire sur place ou extérieur sauf pour la mesure du pH, qui peut être effectuée sur place. Le rapport M.O.T/C peut également être suivi et doit être comprise entre 1,8 et 2 pour un compost mature. Cette valeur est employée bien souvent comme approximation pour évaluer la valeur du carbone. Certaines analyses peuvent être réalisées par des méthodes alternatives par exemple les mallettes de terrain pour réaliser le pH, la conductivité, l'azote total.

IV.5.4. Déroulement du procédé

IV.5.4 .1. Sélection du nombre de personnels nécessaires

A chaque étape du procédé de compostage des analyses sont réalisées, nécessitant du personnel et du temps. Le Tableau 8 donne à titre d'indication un exemple de personnel et de temps indispensable à la réalisation de chaque analyse, mais ces besoins sont également fonction de la quantité de l'échantillon à traiter et de la complexité des déchets à trier.

Tableau IV.8. Besoin en personnel et en temps

	Personeel	Temps
Echantillonnage	2	2 h/personne/étape
Bilans pondéraux	2	1 h/ personne/étape
Caractérisations	4	6 h/ personne/étape caractérisation
Analyses physiques	1	1 h/ personne/étape
Analyses chimiques	2	8 h/ personne/étape

IV.5.4 .2. Choix du jour de démarrage

Le jour de démarrage doit correspondre à une journée habituelle : il faut tenir compte du temps écoulé entre la production des déchets et leur arrivée sur le site afin de s'affranchir de déchets exceptionnels provenant de jours fériés ou festifs. De même en fonction des jours ouvrables, l'étude doit débiter suffisamment tôt dans la semaine pour l'envoi des échantillons dans les meilleurs délais aux laboratoires d'analyses.

IV.5.4 .3. Choix du flux initial

Le flux initial doit être représentatif de la collecte journalière arrivant sur le site tant en terme de quantité que de composition des déchets. D'autres conditions de réalisation de l'expertise doivent également être prises en compte comme la durée de traitement dans la chaîne.

IV.5.5. Fin du procédé : bilan et recommandations

La totalité des résultats et leur synthèse sont regroupés dans un cahier de recommandations, qui sera fourni aux exploitants et aux acteurs de la gestion des déchets ayant participé à l'étude. L'analyse des informations et des constatations établies lors de l'expertise aboutit à des préconisations pour améliorer le procédé de compostage et à des propositions de transformations.

IV.5.5.1. Utilisation du compost : marché traditionnel ou marché de rente

L'identification du marché du compost permet de cibler la quantité de produit et sa qualité en fonction des demandes des principaux utilisât. Cependant une remarque s'impose concernant le compostage industriel (fixé à au moins 100 tonnes de déchets/jour) compte tenu des quantités de compost produit le seul marché potentiel des grandes cultures, du maraîchage ou de la sylviculture (marché traditionnel ou « volume market ») qui permet d'écouler du compost de différentes qualités granulométriques. Le marché de rente (« dollar market ») ne permettant d'écouler que de faibles quantités de compost est réservé à des usages très spécifiques.

La qualité du compost produit dans les usines de compostage industriel ou informel, doit respecter les principales normes réglementaires, en termes d'apport organique, de pureté, d'innocuité, vérifiés par les différentes analyses du compost en fin de chaîne (%M.O.T, % inertes, métaux lourds, test de type Solvita®, cresson etc..). Elle

doit être adaptée en terme de granulométrie, de teneurs en fertilisants à son usage agricole [Compost Council of Canada].

Pour cela, des études sur les débouchés et sur le potentiel du marché sont indispensables lors de la construction de l'usine ou de sa réhabilitation, mais aussi des essais sur parcelles agricoles d'amendement de compost produit. En outre ces essais s'insèrent parfaitement dans le cadre de la promotion de la filière compostage dans la gestion des déchets de la ville qui nécessite une campagne de sensibilisation, d'information et de communication pour une image positive du compost auprès de la population et des utilisateurs.

IV.6. Conclusion

Le compostage des déchets ménagers a pour l'objet de la réalisation d'un bilan matière et l'analyse du fonctionnement de la chaîne de traitement. Un bilan matière précis permet de réaliser une analyse économique fine.

La méthode proposée se base sur l'analyse de chaque équipement avant l'établissement du bilan global de l'expertise. Cela permet, en cas de rendement insuffisant, de cribler les interventions et d'améliorer le rendement sans mettre en cause la totalité de la chaîne de traitement.

Durant notre travail, tous les équipements utilisés doivent être testés dans les usines de compostage : l'aire de compostage, les tapis, les criblesetc.

L'hypothèse de la conservation de la matière minérale durant le compostage et la précision de la mesure de la teneur en matière organique totale par perte au feu à 55°C doit être faite.

Une chaîne de traitement des déchets ménagers par compostage est proposée au contexte socioéconomique dans notre ville à cause de l'existence des quantités énormes de matière organique.

*Conclusion
générale*

Conclusion générale

La ville de Chlef contient une grande quantité de matières organiques non utilisés et jetés dans les décharges par contre on peut les utilisés dans d'autres domaines comme des engrais on utilisant la méthode de compostage pour valoriser ces matières organiques.

Les résultats ont montré que le ratio de production varie entre 0,5 et 0,7 kg/hab/j, avec une forte proportion de déchets valorisables, en moyenne 86%, reçus à la décharge de Meknassa, dont 72% de fermentescibles compostables et 14% de recyclables. La teneur en matière organique des fermentescibles varie entre 60 et 70%, les teneurs en eau des putrescibles, des papiers-carton et de la matière fine sont un gage pour une biodégradation de ces substrats par compostage qui s'avère nécessaire pour minimiser les déchets enfouis. Il pourra éviter la pollution de l'atmosphère, des sols et des nappes phréatiques, tout en produisant un compost destiné à l'enrichissement des sols agricoles. Mais, la pérennisation de cette filière dépendra de plusieurs facteurs dont le niveau d'investissement des autorités locales ainsi qu'une adaptation des techniques et des procédés de compostage aux conditions locales. Ce travail présente les différentes phases d'élaboration du compost ainsi que les paramètres principaux régissant le processus de dégradation et leur évolution. La qualité du compost sera évoquée en termes de maturité et de teneur en métaux lourds.

Références Bibliographiques

(1) ALOUEIMINE S.O., MATEJKA G., ZURBRUGG C. & SIDI MOHAMED M.E.O. (2005) "Caractérisation des ordures ménagères a Nouakchott

Partie 1 : méthode d'échantillonnage" Déchets - Sciences et Techniques – soumise.

Partie 2 : Résultats en saison sèche et en saison humide" Déchets - Sciences et Techniques – soumise.

(9) ABOULAM S. (2005). "Recherche d'une méthode d'analyse du fonctionnement des usines de tri-compostage des déchets ménagers. Fiabilité des bilans matière." Rennes, Institut National Polytechnique de Toulouse: 110.

(4) BREWER L.J. & SULLIVAN D.M. (2003). "Maturity and stability evaluation of composted yards trimmings." *Compost Science & Utilization* 11 (2): 96-112. 217

(6) DIOP O. et MAYSTRE L.-Y. (1989). "Méthodologie systématique multicritère appliquée à la gestion des déchets solides urbains de Dakar (Sénégal)." *T.S.Meau*: 187-191

(2) DAS K.C., SMITH M.C., GATTIE D.K. & HALE BOOTHE D.D. (2002). "Stability and quality of municipal solid waste compost from landfill aerobic bioreduction process." *Advances in Environmental Research* 6: 401-409.

(8) FRANCOIS V. (2004). "Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis. Etude de l'impact de la recirculation de lixiviats sur colonnes de déchets". *Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement. Limoges, France, Faculté des Sciences et Techniques*: 185.

(5) GARCIA A.J., ESTEBAN M.B., MARQUEZ M.C. & RAMOS P. (2005). "Biodegradable municipal solid waste: characterization and potential use as animal feedstuffs." *Waste Management* in press.

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

(3) MORVAN B. (2000). "Méthode de caractérisation des déchets ménagers : analyse sur produit sec." *Déchets - Sciences et Techniques* 20: 9-11.

Glossaire et abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation

CET : Centre d'enfouissement Technique

AV : Apport Volontaire

DMA : Déchets Ménagers Assimilés

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PAP : Porte A Porte

Annexe 1

Liste tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : production de déchets par habitant de plusieurs pays (Source : Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement et du Tourisme.	3
Tableau I.2 : Composition des déchets urbains dans plusieurs pays (en % massique sur sec).	5
Tableau I.3 : Teneur en eau des déchets urbains	7
Tableau I.4 : Caractéristiques chimiques moyennes de plusieurs déchets urbains	7
Tableau I.5 : Taux de couverture de la collecte des déchets urbains	9
Tableau I.6 : Comparaison des modes de collectes des déchets urbains	10
Tableau I.7 : Prix de la collecte	11
Tableau I.8 : Les filières de traitement des déchets ménagers dans quelques pays européens 1993 et 2000	13
Tableau I.9 : Evolution des modes de traitement des déchets ménagers en France entre	14
Tableau I.10 : Répartition par secteur des déchets industriels hors Phosphates et secteur minier (en tonne).	15
Tableau I.11 : Composition des déchets solides en Tunisie	16
Tableau I.12 : Caractéristiques des déchets solides au Maroc	18
Tableau I.13: Composition des déchets dans les villes d'Alger et d'Oran	23
Tableau I.14 : Performance technique des déchets ménagers solides en Algérie	24
Tableau I.15 : Projections relatives à la population et aux déchets urbains à l'horizon 2020	26
Tableau I.16 : Projections relatives aux émissions de méthane	26
Tableau I.17: Enfouissement des déchets et torchage du bio-méthane (unité de base: 1 million de tonnes de déchets).	27
Tableau I.18: Enfouissement des déchets et utilisation du bio-méthane (unité de base : 1 million de tonnes de déchets)	27
Tableau I.19 : Compostage et enfouissement des déchets avec récupération et torchage du bio-méthane	28

Tableau I.20: Compostage et enfouissement des déchets avec récupération et utilisation du bio-méthane	29
Tableau II.1 : Déchet solides urbains	36
Tableau III. 1. Zonage et sectorisation de la commune de Chleff	52
Tableau III.2. Composition des déchets de la wilaya de Chleff (Bureau d'hygiène de Chlef au niveau de l'APC, 2016)	54
Tableau III.3. Estimation des taux recyclables entre 2002 et 2020	55
Tableau III.4. Fréquence de la collecte des RSU de la commune de Chlef par engin l'environnement de Chlef, 2016).	58
Tableau III.5. Ratio de production par zone (Direction de l'environnement de Chlef, 2016)	66
Tableau IV.1. Masses prélevée	73
Tableau IV.2. Exemple de la quantité d'échantillon à trier (Kg)	79
Tableau IV.3. Identification des évaluations à réaliser pour d'éventuels Problèmes	89
Tableau IV.4. Fréquence d'apparition à travers la littérature des techniques de Compostage	94
Tableau IV.5. Poids d'échantillons à prélever et séchage à réaliser	97
Tableau IV.6. Types de caractérisation	98
Tableau IV.7. Paramètres physiques à mesurer pendant le procédé	99
Tableau IV.8. Besoin en personnel et en temps	100

Annexe 2

Liste figure

Liste des figures

Figure I.1 : Composition moyenne des déchets des ménagers algériens	6
Figure I.2 : Synoptique des flux de déchets ménagers.	12
Figure I.3 : Traitement des déchets ménagers en France, distribution par filière.	13
Figure I.4 : Unité de compostage en Maroc	19
Figure I.5 : Décharge sauvage d'ordures ménagères sur le littoral Méditerranéen (France)	22
Figure III .1. Carte localisant le CET de Meknassa (Echelle: 1/50000).	53
Figure III.2. Modère prise d'échantillons sur les engins de collecte	56
Figure III.3. Mode de quartage pour obtenir l'échantillon	57
III.4. Schéma descriptif du protocole de caractérisation des déchets	59
Figure III.5. Schéma descriptif du protocole expérimental des mesures et des analyses des paramètres de qualité des composts.	62
Figure IV.1. Points de pesée pour la réalisation du bilan pondéral	76
Figure IV.2. Schéma général d'un procédé de compostage	88
Figure IV.3. Schéma du procédé de compostage classique	90
Figure IV.4. Bilans pondéraux sur une usine de matière organique.	96