



Université d'Oran 2
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat « L.M.D »
En Sécurité Industrielle et Environnement

**Etude des caractéristiques physicochimiques et
bactériologiques des composts de la ville d'Oran**

Présentée et soutenue publiquement par :

Mlle. Derias Fatma Zohra

Le : 19 décembre 2021

Devant le jury composé de :

Hebbar Chafika	Professeur	Université d'Oran 2	Présidente
Mekakia Mehdi Mokhtaria	Maître de conférences A	Université d'Oran 2	Encadrante
Lounis Zoubida	Professeur	Université d'Oran 2	Co-Encadrante
Bendraoua Abdelaziz	Professeur	USTO	Examineur
Bouhadiba Brahim	Maître de conférences A	Université d'Oran 2	Examineur
Boudries Nadia	Maître de conférences A	Ecole Normale Supérieure d'Alger	Examinatrice
Dahmane Sanaa	Cadre responsable	Agence Nationale des Déchets	Invitée

Année 2021/2022

Remerciements

Au terme de ce travail de thèse, je voudrais remercier le seigneur tout puissant pour m'avoir guidé dans mon travail et prodigué de l'aide et la confiance pour accomplir cet humble travail.

Ce travail est l'aboutissement de plusieurs années de recherche au niveau du LISIDD (Laboratoire de l'Ingénierie de la Sécurité Industrielle et du Développement Durable) de IMSI (L'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle), Université Mohamed Ben Ahmed Oran2. En collaboration avec :

- 1) Bioindustry and Environmental Laboratory, Department of Agro-Industrial Technology, Udayana University, Badung, Indonesia.*
- 2) Department of Biosciences, Faculty of Science, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 Johor Bahru, Johor, Malaysia.*

Je suis plus qu'honorée faire partie de ces équipes

Je tiens à remercier de tout mon fond ces grandes dames que sont Dr Mekakia Mehdi Mokhtaria et Pr Lounis Zoubida pour leur assistance permanente en apportant aide, soutien moral et conseil qui m'ont encouragé à parachever ce travail

Honnêtement je considère avoir profité pleinement de leur expérience de chercheuses et également d'encadrantes.

Je tiens aussi à exprimer mes remerciements à Monsieur IDA BAGUS WAYAN GUNAM, Docteur à l'université de Udayana, Indonésie et Professeur FAHRUL ZAMAN BIN HUYOUP de l'UTM, Malaisie pour m'avoir facilité le travail au niveau de leurs laboratoires, pour l'intérêt porté à ce travail sans oublier, toutefois, leur disponibilité et leurs encouragements.

Mes remerciements vont, entre autre, à madame BOUDRIES NADIA, MCA à Ecole Normale Supérieure d'Alger et Monsieur BENDRAOUA ABDELAZIZ, Professeur à l'université des sciences et de la technologie d'Oran, d'avoir accepté de prendre part au jury.

Je remercie aussi Monsieur BOUHADIBA BRAHIM, Docteur à l'université Mohamed Ben Ahmed Oran 2 et Madame HEBBAR CHAFIKA, Professeure à l'université Mohamed Ben Ahmed Oran 2, d'avoir accepté de prendre part au jury.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance et ma haute gratitude envers la SARL EXO-SAFE et l'ensemble des personnes de L'EPIC CET d'Oran particulièrement Mme Dahmane Sanaa et les agents de tri du CET Hassi Bounif.

Je tiens aussi à présenter mes remerciements à Mr Baassou Kamel pour la correction faite au niveau du contenu de mon travail sans oublier, toutefois, toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Mes plus sincères remerciements sont réservés aux personnes les plus importantes de mon univers MA FAMILLE : mes chers parents, mes oncles Hannachi Abdelkader et Derias Abdelmadjid, et je remercie tous les enseignants qui ont contribué à ma formation dès la première année primaire jusqu'à ce jour particulièrement Dr Kaddouri Abdellah.

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que cette thèse soit finie.

Derias Fatma Zohra

Dédicace

A vous, qui aurez l'occasion de découvrir ce travail, je vous le dédie de tout mon être en espérant que vous en tireriez profit et que vous en seriez en mesure de l'améliorer pour l'intérêt et le bien de notre environnement et de notre pays surtout.

Derias Fatma Zohra

Liste des figures

Chapitre I :

Figure 01 : Schéma de gestion des déchets dans les pays développés.....	26
Figure 02 :Schéma de la gestion des déchets dans les PED.....	28
Figure 03 :Schéma de gestion durable des déchets (proposition de Guy Matejka).....	37

Chapitre II :

Figure 04 :Compostage en andains.....	45
Figure 05 :Compostage en tas statique aéré mécaniquement.....	46
Figure 06 : Compostage en cuve fermée.....	47
Figure 07 :Vermicast issu de lombricompostage.....	47
Figure 08 : Bassin de lombricompostage.....	47
Figure 09 :Courbe théorique des différentes phases de compostage.....	56

Chapitre III :

Figure 10 : Evolution de la population de la wilaya d'Oran entre 2008 et 2018(centre des statistiques d'Oran).....	66
Figure 11 : Présentation géographique et administrative de la wilaya d'Oran (Google images).....	67
Figure 12 : CET El Ançor, source Google earth, coordonnées 35°40'48''N 0°54'02''W.....	68
Figure 13 : CET Hassi Bounif, source google earth, coordonnées 35°40'45''N 0°26'47''W.....	69
Figure 14 : CET Arzew, source Google earth, coordonnées 35°50'29''N 0°22'05''W.....	69
Figure 15:Résultat de la modélisation, simulation et optimisation des tables de tri.....	73
Figure 16 : Détails des tables modélisées.....	74
Figure 17 :Caractéristiques du matériau de fabrication des tables de tri.....	74
Figure18 :Réalisation du crible de la table A à l'aide d'une tronçonneuse plasma.....	75
Figure 19 : Découpage de la zone d'étude.....	76
Figure 20 : Mode de prise de l'échantillon d'un camion.....	77
Figure 21 :Schéma d'échantillonnage et caractérisation des déchets pour une saison.....	78
Figure 22 : Séchage des échantillons.....	80
Figure 23 : Incinération des échantillons.....	80
Figure 24 : Points de prélèvement de la température des andains.....	84
Figure 25 : Préparation de l'eau physiologique.....	88
Figure 26 : Dilution des suspensions des substrats.....	90
Figure 27 : Ensemencement et étalement des suspensions dans les boîtes de pétri.....	90

Chapitre IV :

Figure 28 : Occupation des sols de la wilaya d'Oran depuis 1986.....	96
Figure 29 : Images satellitaires de l'occupation des sols à Oran.....	96
Figure 30 : Evolution de la répartition de la population à Oran entre 2008 et 2018. Source : Centre des statistiques d'Oran.....	98
Figure 31 : Quantité annuelle des déchets produits à Bir eldjir.....	99
Figure 32 : Evolution du ratio de production des déchets à Bir eldjir.....	99
Figure 33 : Génération des déchets par mois à Bir eldjir.....	100
Figure 34 : Tri par taille des déchets ménagers.....	101
Figure 35 : Tri par catégorie de la fraction comprise entre 20 et 100 mm.....	104
Figure 36 : Tri par catégorie pour la fraction >100mm.....	107
Figure 37 : Evolution de la composition des déchets de la ville d'Oran 2012-2019.....	108
Figure 38 : Tonnage mensuel des déchets entrants au CET Hassi Bounif pendant le mois de Ramadhan 2015-2020.....	109
Figure 39 : Comparaison de la quantité mensuelle des déchets entrants au CET Hassi Bounif entre 2015-2020.....	110
Figure 40 : Répartition des déchets selon leur taille pendant le mois de Ramadan.....	111
Figure 41 : Répartition des catégories des déchets pendant le mois de Ramadan dans la ville d'Oran.....	111
Figure 42 : Masse volumiques des déchets ménagers de la ville d'Oran au cours des campagnes de caractérisation.....	113
Figure 43 : Masse volumiques moyenne des déchets ménagers de la ville d'Oran.....	114
Figure 44 : pH des déchets ménagers au cours des campagnes de caractérisation.....	115
Figure 45 : Valeurs moyennes du pH des déchets ménagers de la ville d'Oran.....	116
Figure 46 : Teneur en eau des déchets ménagers de la ville d'Oran en fonction des saisons.....	117
Figure 47 : Teneur en eau moyenne des déchets ménagers de la ville d'Oran.....	117
Figure 48 : Teneur en matière organique des déchets ménagers de la ville d'Oran en fonction des saisons.....	119
Figure 49 : Valeur moyenne de la teneur en matière organique des déchets ménagers de la ville d'Oran.....	119
Figure 50 : Valeur moyenne de la teneur en carbone organique des déchets ménagers de la ville d'Oran.....	120
Figure 51 : Estimation des déchets valorisables par compostage.....	121
Figure 52 : Estimation des déchets valorisables par méthanisation.....	122

Figure 53 :Estimation des déchets valorisables par recyclage.....122

Chapitre V :

Figure 54 :Evolution de la température au cours de compostage.....130

Figure 55 :Evolution du pH au cour de compostage.....131

La figure 56 :Evolution de l'humidité au cour de compostage.....132

Figure 57 :Evolution du taux de matière organique au cour de compostage.....134

Figure 58 :Evolution du taux de CO₂ libéré au cour de compostage.....134

Figure 59 :Evolution de la masse volumique au cour de compostage.....135

Figure 60:Effet de la nature du substrat sur l'évolution des bacilles au cours du compostage...139

Figure 61:Effet de la nature du substrat sur l'évolution des mésophiles aérobies totaux au cours du compostage.....139

Figure62 : Effet de la nature de substrat sur l'évolution des levures et moisissures au cours du compostage pour A1, A2 et A4.....140

Figure 63 : Effet de la nature de substrat sur l'évolution des levures et moisissures au cours du compostage pour A3, A5 et A6.....141

Figure 64 : Effet de la nature de substrat sur l'évolution de Salmonella et shigella au cours du compostage.....142

Conclusion :

Figure 65 :Schéma de gestion durable des déchets ménager.....148

Indexe des tableaux

Chapitre I :

Tableau 01 :Classification européenne des déchets.....	23
Tableau02 :Taux de changement de l'urbanisation mondiale par taille de ville.....	29
Tableau03 :Règlementation vis-à-vis de la gestion des déchets dans les PED.....	33
Tableau 04 : Etat des lieux des installations de traitement des déchets.....	36

Chapitre II :

Tableau 05 :Caractéristiques des différents procédés de compostage.....	48
Tableau 06 :Rapport C/N initial de quelques substrats.....	51
Tableau 07 :Microorganismes intervenants lors du compostage.....	58

Chapitre III :

Tableau 08 :Communes desservies par les installations de traitement à Oran.....	68
Tableau 09 :Caractéristiques du CET El Ançor.....	68
Tableau 10 :Caractéristiques du CET Hassi Bounif.....	69
Tableau 11 :Caractéristiques du CE d'Arzew.....	70
Tableau 12:Répartition des opérateurs de gestion des déchets dans la wilaya d'Oran.....	70
Tableau 13 :Estimation de la quantité journalière moyenne des déchets ménagers générés dans la commune de Bir el Djir.....	71
Tableau 14 : Calcul de la masse des déchets à trier.....	71
Tableau 15 :Programme des campagnes de caractérisation.....	76
Tableau 16 :Composition et sources des substrats à composter.....	82
Tableau 17:Récapitulatif des caractéristiques physicochimiques, microbiologiques, méthodes d'analyse et instruments de mesure.....	87
Tableau 18 :Caractéristique su spectrophotomètre.....	88
Tableau 19 :Préparation des milieux nutritifs.....	89

Chapitre IV :

Tableau 20 : Tri par catégorie des déchets ménagers de la daïra de Bir Eldjir.....	102
Tableau 21 :Calendrier du mois de Ramadhan entre 2012-2020.....	109

Chapitre V :

Tableau 22 :Concentration des métaux lourds dans les composts mûrs.....	136
Tableau 23 :Concentration des macronutriments dans les composts mûrs.....	137

Liste des abréviations et glossaire

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise des Energies
AFNOR : Association Française de Normalisation
APC : Assemblée Populaire Communale
CET : Centre d'Enfouissement Technique
CNC : Combustibles Non Classés
DMA : Déchets Ménagers et Assimilés
ETM : Eléments Traces Métalliques
INC : Incombustibles Non Classés
MATE : Ministère d'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
MO : Matière Organique
MODECOM : Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères
NF : Norme Française
NPK : éléments minéraux, Azote, Phosphore et Potassium
ONG : Organisation Non Gouvernementale
ONU : Organisation des Nations Unies
PE : Polyéthylène
PEHD : Polyéthylène Haute Densité
PED : Pays En Développement
PET : Polyéthylène Téréphtalate
PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur
PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur
PD : Pays Développés
PROGDEM : Programme National de Gestion des Déchets Ménagers
PVC : Polychlorure de Vinyle
Kg : Kilogramme
hab. : Habitant
Km² : Kilomètre carré
T : Tonne
% : Pourcentage

Table des matières

Remerciements	2
Dédicace.....	4
Liste des figures.....	5
Indexe des tableaux.....	8
Liste des abréviations et glossaire	8
INTRODUCTION :	15
Contexte général :.....	16
Problématique :.....	16
Objectifs :.....	17
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE :	19
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA GESTION DES DECHETS ET SES OUTILS	20
Introduction :.....	21
1. Définition des déchets :.....	21
1.1 Définition du dictionnaire :	21
1.2 Définition économique :	21
1.3 Définition juridique :.....	21
1.4 Réglementation :	22
2. Classification des déchets :.....	22
3. La gestion des résidus urbains solides dans le monde :	25
3.1 la gestion des déchets dans les pays développés :.....	25
3.2 la gestion des déchets dans les pays en voie de développement :.....	27
3.3 les enjeux de la gestion des déchets dans les pays en voie de développement :.....	28
3.3.1 Accroissement de la population et de l'urbanisation :.....	28
3.3.2 Irrégularités de la collecte et du transport des déchets :	29
3.3.3 Inexistence du tri sélectif et absence de filières de recyclage :	30
3.3.4 Inefficacité de contrôle des décharges et des centres d'enfouissement technique :.....	31
3.3.5 Absence de l'application de la loi :.....	32
4. La législation, la réglementation et les instruments régissant la gestion des déchets en Algérie :	
33	
4.1 Instrument législatifs et règlementaires :.....	33
4.2 Instruments institutionnels :	34
4.3 Instruments économiques :.....	35

5. Démarche pour une gestion durable des déchets :.....	36
5.1 Identification des acteurs :.....	36
5.2 Analyse du gisement des déchets :.....	36
5.3 Proposition des modes d'élimination :.....	37
5.4 Maitrise de la collecte :	37
5.5 Optimisation continue des modes d'élimination :.....	37
6. Les modes d'élimination des déchets :.....	38
6.1 La valorisation :.....	38
6.1.1 La valorisation matérielle :.....	38
6.1.2. La valorisation énergétique :.....	38
6.2 Le stockage :.....	38
Conclusion :.....	39
Liste des références du chapitre I :.....	40
CHAPITRE II : VALORISATION DES DECHETS PAR COMPOSTAGE	42
Introduction :.....	43
1. Définition :.....	43
2. Objectif du compostage :.....	44
3. Effets bénéfiques du compost :.....	44
3.1. Amélioration des propriétés physicochimiques des sols :.....	44
3.2. Amélioration des aspects biologiques des sols amendés :.....	44
3.3. Amélioration du rendement :.....	45
4. Méthodes de compostage :.....	45
4.1. Compostage en andain :.....	45
4.2. Compostage en tas statique :	46
4.3. Compostage en cuve fermée :.....	46
4.4. Lombricompostage :	47
5. Paramètres de compostage :.....	50
5.1. Paramètres liés à la nature de substrat :.....	50
5.1.1. La teneur en eau du substrat :.....	50
5.1.2. La granulométrie :.....	50
5.1.3. Le rapport C/ N :.....	50
5.1.4. L'acidité :.....	51
5.2. Paramètres influant le déroulement du processus :.....	51
5.2.1. L'apport en oxygène :	51

5.2.2 L'humidité :	52
5.2.3 La température :	53
5.2.4 La durée :	54
6. Les phases de compostage :	54
6.1 Phase mésophile :	54
6.3 Phase thermophile :	55
6.4 Phase de refroidissement :	55
6.5 Phase de maturation :	55
7. Microbiologie de compostage :	56
7.1 Les bactéries :	58
7.2 Les champignons :	59
7.3 les levures, moisissures et les protozoaires :	59
Liste des références du chapitre II :	60
MATERIELS ET METHODES ANALYTIQUES :	64
CHAPITRE III : MATERIES ET METHODES ANALYTIQUES	65
Introduction :	66
1. Description de la zone d'étude :	66
1.1 Etat de la gestion des déchets à Oran :	67
1.1.1. Les installations opérationnelles de traitement des déchets à Oran :	67
2. Caractérisation des déchets ménagers et assimilés :	70
2.1. Méthode de caractérisation :	70
2.1.1. Collecte des informations nécessaires à la réalisation d'une campagne de caractérisation :	71
2.1.2. Calcul de la masse à trier :	71
2.1.3. Préparation des tables de tri :	73
I. Conception :	73
II. Modélisation, simulation et optimisation :	73
III. Réalisation :	75
2.2 Organisation des campagnes de caractérisation :	75
2.3. Tri des échantillons :	78
2.4. Analyses physicochimiques au laboratoire :	79
3. Compostage des déchets :	81
3.1. Nature des substrats et préparation de la biomasse :	81
3.1.1. Préparation de la biomasse :	82

3.1.2. Choix de la forme et dimensions des andains :	83
3.2. Suivi des paramètres du compostage et caractéristiques des substrats au cours de la biodégradation :	83
3.2.1. Prélèvement et suivi de la température :	83
3.2.2. Suivi des caractéristiques physicochimiques et microbiologiques :	84
3.2.2.1. Échantillonnage :	84
3.2.2.2. Caractéristiques physicochimiques :	84
3.2.2.2.1. Teneur en humidité :	84
3.2.2.2.2. La masse volumique :	85
3.2.2.2.3. La matière organique :	85
3.2.2.2.4. Carbone organique :	86
3.2.2.2.5. Acidité :	86
3.2.2.2.6. Métaux lourds et Eléments fertilisants :	88
3.2.2.3. Caractéristiques microbiologiques :	88
Liste des références du chapitre III :	91
RESULTATS ET DISCUSSION :	94
CHAPITRE IV : ETUDE ET ANALYSE DU GISEMENT DES DECHETS MENAGERS DE LA VILLE D'ORAN	95
1. Introduction :	96
2. Evolution de la répartition de la population dans la wilaya d'Oran :	96
3. Evolution de la production des déchets à Bir El Djir :	99
4. Caractérisation des déchets :	101
4.1 Tri par taille :	101
4.2 Tri par catégorie :	102
4.3 Caractérisation des déchets pendant le mois de ramadhan :	109
4.3.1 Evolution du tonnage des déchets entrant au CET de Hassi bounif pendant le mois de Ramadhan entre 2015-2020 :	109
4.3.2 Tri par taille –tri par catégorie :	111
4.4. Caractéristiques physicochimiques :	112
4.4.1 La masse volumique :	112
4.4.2 Le pH :	114
4.4.3 La teneur en eau :	116
4.4.4 Le teneur en matière organique :	118
4.4.5 Le taux du carbone organique :	120

4.5 Estimation des déchets valorisables par compostage :.....	120
4.6. Estimation des déchets valorisables par méthanisation :.....	121
4.7 Estimation des déchets valorisables par recyclage :	122
Conclusion :	123
Liste des références du chapitre IV :.....	124
CHAPITRE V : ETUDE EXPERIMENTALE DU COMPOSTAGE DES DECHETS DE LA VILLE D'ORAN	128
Introduction :.....	129
1. Evolution des caractéristiques physicochimiques :.....	129
1.1 La température :.....	129
1.2 Le pH :	130
1.3 L'humidité :	131
1.4 Matière organique et le CO ₂ :.....	133
1.5 La masse volumique :	134
1.6 Métaux lourds et macronutriments :	135
2. Evolution des caractéristiques microbiologiques :.....	137
2.1 Bacilles et mésophiles aérobies totaux :	138
2.2 Levures et moisissures :.....	140
2.3 Les microorganismes pathogènes (Salmonella et shigella) :.....	141
Conclusion :	142
Liste des références du chapitre V :	143
DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION	147
ANNEXES :	152

INTRODUCTION

Contexte général :

La croissance démographique, le développement des activités socio-économiques et les mutations du mode de vie et de consommation, favorisent grandement la production des déchets en milieu urbain. En Algérie 8.5 millions de tonnes de déchets ont été générés en 2010 (Kehila Y 2010) et ce chiffre a augmenté en 2014 à 11 million de tonnes d'où 70 % sont valorisables selon l'agence nationale des déchets. La production des déchets ménagers ne cesse d'augmenter, ce qui nécessite davantage d'efforts pour leur élimination et /ou traitement et provoque la saturation des centres d'enfouissement technique et des décharges publiques, ainsi cela pose des problèmes d'hygiène et de salubrité comme la défaillance d'une unité de valorisation et la saturation des casiers d'enfouissement avant la date prévue de leur fin d'exploitation.

Cette augmentation de la génération des déchets ménagers en milieu urbain, et la diversification en terme de quantité et de qualité engendre d'énormes risques environnementaux et par conséquent des risques sur la santé publique. Ce sont les pays en voie de développement qui sont les plus touchés par cette situation causée par le manque de données, de moyens et d'expertise nécessaires à la maîtrise de la situation (M. P. Aina 2006) (Aloueimine 2006) (Ben Ammar 2006). Face à cette difficulté rencontrée par les pays en voie de développement, les Nations Unis ont intégré une nouvelle approche de gestion des déchets lors de la conférence mondiale sur l'environnement et le développement durable de Rio 1992 (Nations 1992). La gestion des déchets doit faire partie de la stratégie d'un développement durable qui favorise et privilégie un environnement viable, un maintien du capital naturel et une biodiversité.

Devant cette situation, le gouvernement algérien a adopté une stratégie comme instrument de base pour définir et suivre la nouvelle politique environnementale. En 2002 un plan national d'action pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD) a été élaboré pour proposer l'engagement de l'Algérie à s'investir dans le développement écologique et durable qui vise à l'amélioration de la santé publique et à la qualité de vie du citoyen. La mise en place d'un système sain de gestion des déchets doit constituer une priorité en urgence.

Problématique :

Au niveau de la ville d'Oran, 1300 tonnes de déchets sont enfouies chaque jour au CET Hassi Bounif. Malgré les efforts des municipalités pour le traitement et l'élimination de ces déchets, on se voit bien loin de la maîtrise de la situation. Beaucoup de problèmes sont

rencontrés dans le cycle de gestion des déchets à commencer par la défaillance du système de collecte, en passant par la défaillance du système de récupération des déchets recyclables jusqu'à l'enfouissement des déchets qui présente le problème le plus urgent. En effet, les quantités produites et enfouies ne sont pas en proportion avec la conception du centre d'enfouissement : un casier qui est conçu pour durer vingt ans est déjà saturé au bout de cinq ans après son exploitation, cela a engendré le débordement du casier, la production des quantités incontrôlables du biogaz qui ont conduit à une explosion en 2015, la production des quantités importantes du lixiviat par rapport au bassin de récupération de ce dernier. Face aux problèmes cités, on se trouve dans une situation alarmante par rapport à l'environnement et à la santé publique. Sachant que l'Algérie a un climat semi-aride et un faible ratio de terres agricoles, et que les déchets ménagers contiennent des fractions plus ou moins biodégradables, bien de questions se posent :

- *Est-il faisable de composter les déchets ménagers de la ville d'Oran ?*
- *Est-il rentable en terme de gestion des déchets de composter les déchets ménagers de la ville d'Oran ?*
- *Quelles sont les fractions valorisables par compostage des déchets ménagers de la ville d'Oran ?*
- *Quels sont les facteurs qui influent sur le procédé de compostage des déchets ménagers de la ville d'Oran ?*
- *Quelle qualité de compost peut-on produire à partir des déchets ménagers de la ville d'Oran ?*

Objectifs : L'objectif principal de cette recherche est d'étudier le phénomène de compostage des déchets et de déterminer la pertinence et la rentabilité de l'application du procédé de compostage des déchets à l'échelle industrielle pour diminuer le débordement des décharges publiques ainsi les CET.

Hypothèses :

- La croissance démographique effrénée a un impact négatif sur la gestion des déchets ménagers ;

- Le développement industriel et de mode de vie sont à la base de l'augmentation de la production des déchets ménagers ;
- La saisonnalité influe sur la quantité et la qualité des déchets ménagers produits, les habitudes de gaspillage sont doublées pendant le mois sacré de Ramadhan.
- Les déchets ménagers contiennent des quantités importantes de fractions biodégradables et peuvent être compostés ;
- La qualité du compost produit dépend essentiellement de la nature du substrat initial

Méthodes :

Ce travail est réparti en quatre chapitres :

- **Chapitre I** : présente la gestion des déchets et ses outils entre le pôle nord et le pôle sud ;
- **Chapitre II** : présente des généralités sur le compostage et ses paramètres ;
- **Chapitres III** : présente les méthodes et matériels adoptés dans cette recherche ;
- **Chapitre IV et V** : présentent les résultats et les discussions de l'étude ;
- **Conclusion générale** : présente une discussion générale des résultats et réponses aux problématiques et hypothèses posées, ainsi que les perspectives pour les futures études.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

***CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA GESTION DES
DECHETS ET SES OUTILS***

Introduction :

La connaissance de la nomenclature des déchets, de leurs classifications et leurs caractéristiques est un outil très important permettant de construire une base de données utile à la gestion des déchets et au bon fonctionnement des systèmes d'élimination et de traitement.

1. Définition des déchets :

1.1 Définition du dictionnaire : un déchet est défini selon (Larousse) comme étant des:

- Débris, restes d'aliments qui sont impropres à la consommation ou à l'usage.
- Matériaux rejetés comme n'ayant pas une valeur immédiate ou laissés comme résidus d'un processus ou d'une opération. (On nomme déchets industriels ceux qui ne peuvent ni n'être admis en décharge ni être ramassés avec les ordures ménagères en raison de leur quantité ou de leur toxicité.)
- Produits incombustibles et inutiles du métabolisme des cellules vivantes, destinés soit à être rejetés (gaz carbonique, excréta, urine, sueur, urée, acide urique), soit, chez les végétaux surtout, à être accumulés à l'écart de la circulation générale (latex, oléorésines, alcaloïdes, etc.).

1.2 Définition économique : Un déchet est défini comme étant une matière ou une entité dont la valeur économique est nulle ou négative, à un moment donné, et dans un lieu donné, pour son détenteur. Le détenteur devrait payer quelqu'un ou faire le travail lui-même pour se débarrasser de cette entité, par opposition à un bien qui a une valeur économique positive et donc c'est le consommateur qui doit payer les frais pour en avoir.(Marie-Laure ANDRE and Samuel HUBERT 1997).cette définition reste relative tout simplement parce que les déchets des uns peuvent devenir des biens pour d'autres personnes ,et même des matières premières secondaires pour d'autres procédés (Aloueimine 2006).

1.3 Définition juridique : nous entendons, par définition juridique, deux conceptions :

- **Une conception subjective :** lorsqu'une personne a la volonté de se débarrasser d'un bien, ce dernier devient un déchet ; lorsqu'il reste dans le territoire du propriétaire, ce déchet lui appartient toujours, et lorsqu'il est déposé sur la voie publique (poubelle par exemple) il appartient à la municipalité.
- **Une conception objective :** selon cette conception, un déchet est tout objet ou tout bien qui nécessite une gestion contrôlée au profit de la santé publique et de l'environnement sans prendre en considération sa valeur économique ni la volonté de son propriétaire de le garder.(Marie-Laure ANDRE and Samuel HUBERT 1997).

1.4 Réglementation :

Dans la réglementation algérienne, un déchet est défini selon *L'article 3 de la loi du 12 décembre 2001* relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, comme 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.

2. Classification des déchets :

La classification des déchets est un outil pratique qui sert à définir et optimiser leur mode de gestion soit à la source ou bien au niveau du circuit de leur production. Cependant, il existe plusieurs classifications qui dépendent des objectifs recherchés et l'intérêt des informations que nous pouvons extraire d'une classification.

- Selon l'encyclopédie « **les Techniques de l'ingénieur** » nous distinguons six groupes comme suit selon leurs origines (FCQ 1999) :

- **Déchets d'origine biologique** : ils sont définis par le fait que tout cycle de vie produit des métabolites (matière fécale, cadavre...).

- **Déchets d'origine Chimique** : ils sont définis comme tout sous-produit D d'une réaction chimique $A + B \rightarrow C + D$ que nous en n'avons pas l'usage évident et qu'il faut donc gérer.

- **Déchets d'origine technologique** : c'est les rejets inévitables des procédés de production tels que chutes, copeaux, solvants usés, emballage, etc....

- **Déchets d'origine économique** : La durabilité des produits, des objets et des machines a forcément une limite qui conduit, un jour ou l'autre à leur élimination ou leur remplacement.

- **Déchets d'origine écologique** : sont les rejets générés lors des activités de dépollution. Ces derniers nécessitent, eux même, une gestion spécifique.

- **Déchets d'origine accidentelle** : le résultat des inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation.

- En Europe, précisément en France, les déchets sont classés selon leur provenance en 20 catégories comme décrit dans le décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 (JO du 20 avril 2002) et codifié dans le décret du 12 octobre 2007 (JO du 16 octobre 2007) du code de l'environnement. Le tableau suivant résume la classification européenne :

Tableau 01 : classification européenne des déchets.

Code	Désignation
01	Déchets provenant de l'exploration et de l'exploitation des mines et des carrières ainsi que du traitement physique et chimique des minéraux
02	Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche ainsi que de la préparation et de la transformation des aliments.
03	Déchets provenant de la transformation du bois et de la production de panneaux et de meubles, de pâte à papier, de papier et de carton
04	Déchets provenant des industries du cuir, de la fourrure et du textile.
05	Déchets provenant du raffinage du pétrole, de la purification du gaz naturel et du traitement pyrolytique du charbon..
06	Déchets des procédés de la chimie minérale
07	.Déchets des procédés de la chimie organique.
08	Déchets provenant de la fabrication, de la formulation, de la distribution et de l'utilisation (FFDU) de produits de revêtement (peintures, vernis et émaux vitrifiés), mastics et encres d'impression.
09	Déchets provenant de l'industrie photographique.
10	Déchets provenant de procédés thermiques
11	Déchets provenant du traitement chimique de surface et du revêtement des métaux et autres matériaux, et de l'hydrométallurgie des métaux non ferreux.
12	Déchets provenant de la mise en forme et du traitement physique et mécanique de surface des métaux et matières plastiques.
13	Huiles et combustibles liquides usagés (sauf huiles alimentaires et huiles figurant aux chapitres 05, 12 et 19 (annexe II)).
14	Déchets de solvants organiques, d'agents réfrigérants et propulseurs (sauf chapitres 07 et 08 (annexe II))
15	Emballages et déchets d'emballages, absorbants, chiffons d'essuyage, matériaux filtrants et vêtements de protection non spécifiés ailleurs.
16	Déchets non décrits ailleurs dans la liste.
17	Déchets de construction et de démolition (y compris déblais provenant de sites contaminés).

18	Déchets provenant des soins médicaux ou vétérinaires et/ou de la recherche associée (sauf déchets de cuisine et de restauration ne provenant pas directement des soins médicaux).
19	Déchets provenant des installations de gestion des déchets, des stations d'épuration des eaux usées hors site et de la préparation d'eau destinée à la consommation humaine et d'eau à usage industriel
20	Déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations) y compris les fractions collectées séparément. Les normes existant dans les pays européens classent les différents constituants de déchets ménagers en catégories et en sous-catégories.

• En Algérie ; nous distinguons trois classes de déchets selon la description de l'article 03 et l'article 05 de la loi de 12 décembre 2001 :

- **Déchets ménagers et assimilés** y compris les déchets encombrants : tous déchets issus de 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. Tous déchets issus des ménages, qui en raison de leur caractère volumineux, ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés.

- **Déchets spéciaux** y compris les déchets spéciaux dangereux et les déchets des activités de soin : 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. 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. 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 générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement.

3. La gestion des résidus urbains solides dans le monde :

La quantité des déchets générés ne cesse d'augmenter dans le monde entier, avec l'hétérogénéité continue des flux des déchets générés. L'adaptation d'une démarche de gestion des déchets est déterminée par les impératifs sanitaires et environnementaux. Il est donc impossible de généraliser une seule démarche de gestion ou bien une seule filière de traitement pour tous les pays du globe. Cependant, toute stratégie ou technique adaptée doit contribuer à réaliser l'objectif ultime de la gestion des déchets qui est la minimisation du volume des matériaux entrant dans une décharge ou bien dans le centre d'enfouissement final. La réduction des déchets limitent les risques de pollution qu'ils peuvent engendrer par rapport à la santé publique et l'environnement (MBT 2003) (FCQ 1999).

Les principaux points à retenir lors l'élaboration d'une stratégie de gestion des déchets sont par ordre prioritaire :

- La réduction et optimisation des quantités des polluants des procédés de fabrication, par recours aux technologies dites propres ; nous adaptons la technique de dépollution et après la technique de non-pollution.
- La mise en place des filières de valorisation, qui permettent de réutiliser les déchets comme matière première secondaire pour d'autres procédés.
- Tout rejet dans la nature doit être éco-compatible, le terme "retour acceptable" doit être vérifié chaque fois qu'un rejet est retourné à la nature.
- L'enfouissement technique ultime de tout retour inacceptable, de tout déchet qui n'est pas éco-compatible, et cela doit être la dernière étape dans la stratégie de gestion et doit être selon les normes.

3.1 la gestion des déchets dans les pays développés :

La gestion des déchets dans le pôle des pays développés ressort des collectivités locales où, presque, toute la population bénéficie d'un service de collecte des ordures ménagères. Ainsi, une grande partie de la population participe à la collecte sélective des matériaux tel que : le plastique, le verre, les métaux...etc. En plus des services publics de collectes, l'intervention des entreprises privées agréés interviennent soit pour la collecte des ordures ménagères, soit pour la récupération de certains matériaux et cela représente l'une des stratégies utiles capitales pour la bonne gestion des déchets municipaux. Nous pouvons citer : Eco-Emballage en France, Duales System Deutschland (DSD GmbH) en Allemagne, Alts off Recycling Austria en Autriche et Fost Plus en Belgique, qui ont pour objectif principal d'aider les collectivités locales dans leur

politique de recyclage des déchets ménagers, par la réintégration des déchets d'emballage dans le circuit économique, de maîtriser les coûts et de sensibiliser les particuliers.

Les déchets collectés à partir des collectivités locales sont, ensuite, acheminés vers les installations industrielles spécialisées ou centres de tri où les matériaux sont triés et séparés puis acheminés pour être réintroduits dans un circuit de production. Les déchets générés à partir des centres de tri et qui ne peuvent pas être valorisés sont envoyés pour le traitement ou le stockage dans des unités conçues à recevoir et stocker des déchets ultimes, des déchets encombrant des particuliers ou tout autre déchet selon des normes rigoureuses bien définies. Tout cela vient avec un prix. (ADEME 2000) (Douard et al. 2014).

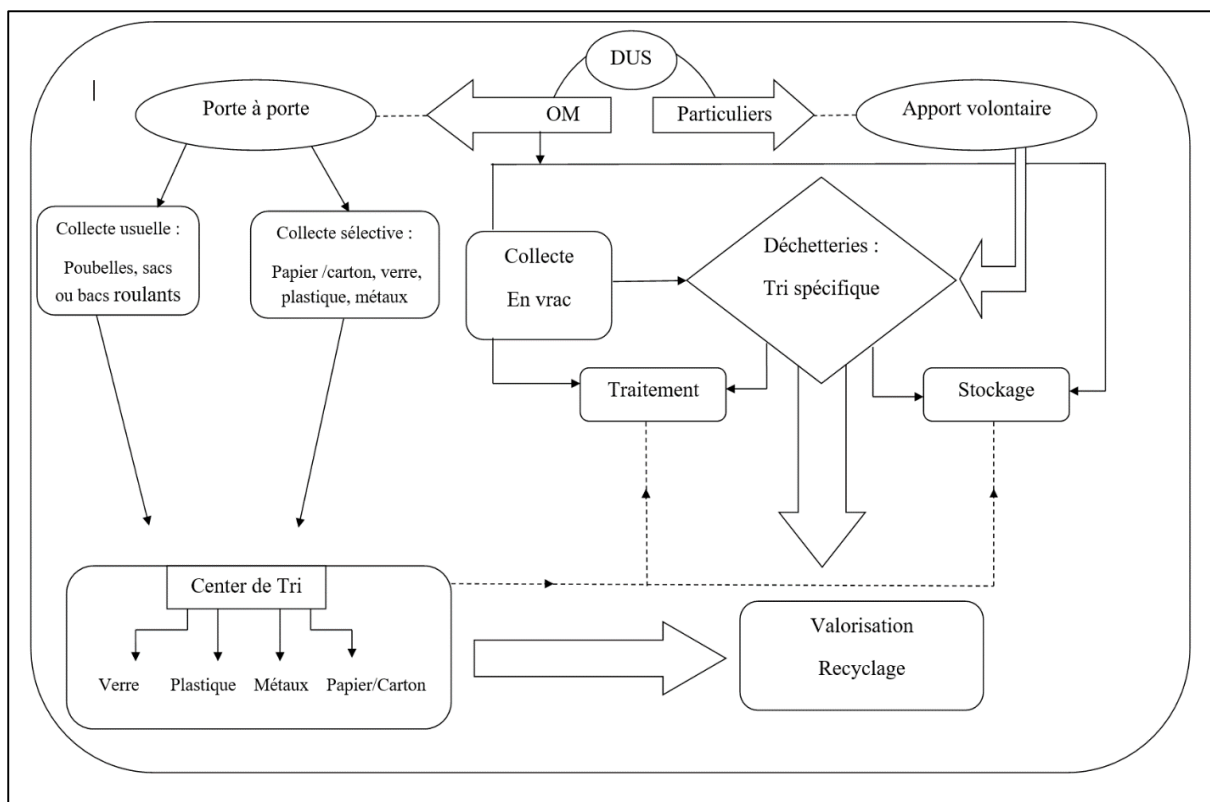


Figure 01 : Schéma de gestion des déchets dans les pays développés

Il faut mentionner que la mise en place des stratégies n'est efficace que quand elles sont accompagnées avec d'outils règlementaires et juridiques. Les pays développés ne pouvaient jamais atteindre un niveau rationnel et sain de gestion des déchets sans avoir mis en place, appliquer, respecter les textes juridiques et sanctionner toute personne dépassant la loi. Parmi les textes juridiques on peut citer :

- Loi du 13 juillet 1992, fondatrice de la modernisation de la gestion des déchets dans le pays
- Loi n° 75- 663 sur l'élimination des déchets et récupération des matériaux et loi-92-663 instituant la suppression des décharges sauvages sur un délai de 10 ans)
- Les directives européennes (n°75 - 442/CEE, n°91/156/CEE) et (1999/31/EC) qui ont envisagé la réduction des résidus urbains solides en 2016 de 35 % de la quantité produite en 1995.

3.2 la gestion des déchets dans les pays en voie de développement :

La gestion des déchets dans les pays en voie de développement est caractérisée par l'irrégularité et l'absence de l'organisation.

La collecte des déchets ménagers et assimilés commence par la pré-collecte par des informels à l'aide de tricycles ou de charrettes à traction humaine ou animale et dans le meilleur des cas des camionnettes. Ces derniers peuvent accéder facilement à des endroits que les camions des services communaux responsables de la gestion ne peuvent pas atteindre.

Les informels bénéficieront d'une fraction importante des résidus valorisables et recyclables tels que les plastiques et les métaux avant d'acheminer les déchets collectés, sans la fraction organique valorisée en général au niveau des ménages, vers des points de regroupement ou de transit. Les points de transit sont situés, le plus souvent, dans un terrain vague, sans protection et au milieu des résidences des populations. Les déchets ainsi déposés dans ces terrains peuvent y rester quelque heure, voir quelques jours avant d'être transportés par les collectivités locales vers la décharge finale. Pendant leur séjour au niveau du point de regroupement ou de transit, certaines fractions peuvent être récupérées par d'autres personnes informelles, ou consommées par des animaux. Après avoir repéré les déchets au point de regroupement, la municipalité transporte ces derniers aux décharges définitive caractérisées par l'absence de clôture, de voies de circulation, de gardiennage sans aucun dispositif pour lutter contre la pollution des eaux souterraines, et réduire l'impact de la pollution sur l'environnement. Cet état de fait entraîne une dégradation environnementale alarmante.(Aloueimine 2006).

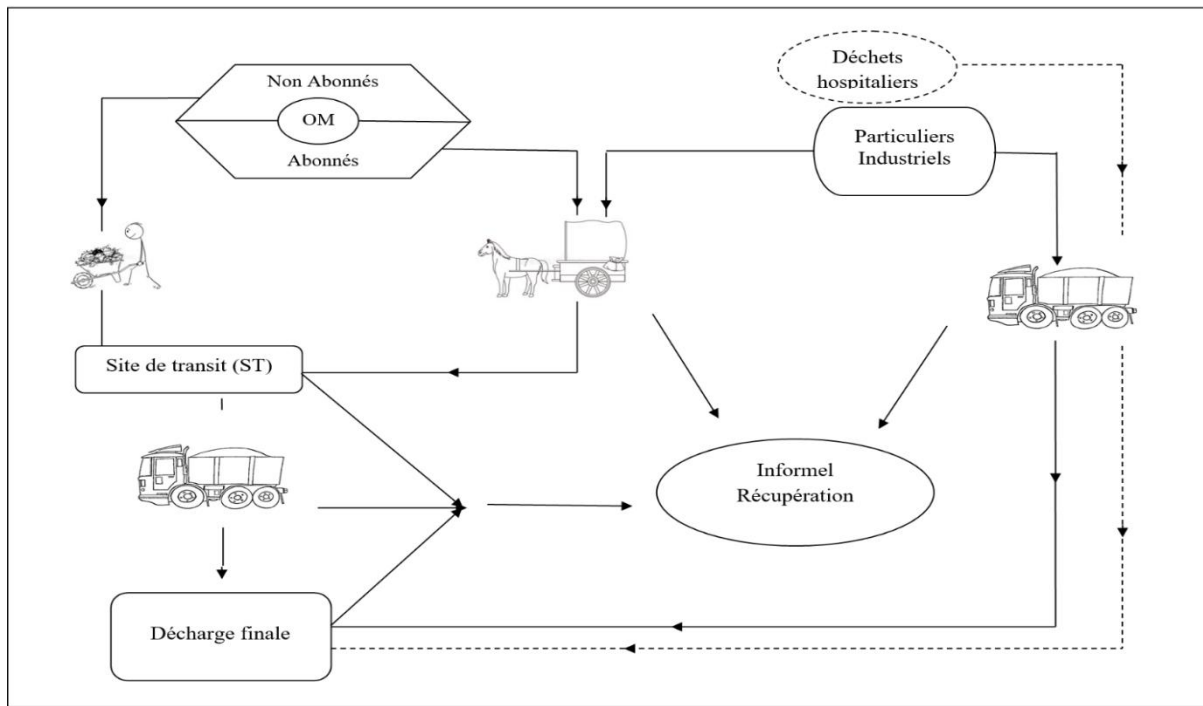


Figure 02 : Schéma de la gestion des déchets dans les PED

3.3 les enjeux de la gestion des déchets dans les pays en voie de développement :

Nous pouvons dire que la gestion des résidus solides urbains est défaillante dans ces pays. Malgré les efforts des autorités responsables, les défaillances du système de gestion ne cessent d'augmenter, et sont une conséquence inévitable des facteurs suivants :

3.3.1 Accroissement de la population et de l'urbanisation :

Le taux de génération des déchets a une relation directe avec l'augmentation de la population. En fait, plus nous n'avons de personne et plus nous avons une production de déchets. D'autre part, (Beede and Bloom 1995) ont indiqué qu'une augmentation de 1% de revenu pour un habitant correspond à une augmentation de 0,34% de génération de déchets, l'augmentation des revenus est en relation directe avec l'urbanisation. Entre 1950 et 2003, la population des pays en voie développement a augmenté de 1.71 milliards à 5.10 milliards avec un saut d'urbanisation de 17.9 % à 42.1%.

Tableau 02 : Taux de changement de l'urbanisation mondiale par taille de ville(source ONU 2007).

Taille de ville	Taux de changement moyen en %				
	1975	1985	1995	2005	2015
10 millions ou plus	3	5	7	9	9.5
5 à 10 millions	8	8	7	6	6
1 à 5 millions	21	21	22	23	24
500k à 1 millions	11	11	10.5	10	9
Moins de 500k	58	57	54	51	50.5

3.3.2 Irrégularités de la collecte et du transport des déchets :

Contrairement aux pays développés où l'enlèvement des déchets ménagers se fait porte à porte, l'enlèvement de ces derniers, dans les pays en développement se subdivise en trois étapes :

- **La pré-collecte** : c'est la phase qui consiste à amener les déchets, par le citoyen ou l'éboueur, de leur lieu de production au lieu de prise en charge par le service public (Ngnikam and Tanawa 2006). Elle est comme une défaillance du système de gestion des déchets, vu qu'elle est considérée comme un apport volontaire du citoyen de ses déchets au point de collecte (Hamza Cheniti 2014), au temps qu'il veut, sans prendre pour autant, en considération les horaires de collecte et sans avoir besoin de payer les taxes de l'enlèvement. Ce mode de gestion est adopté dans tous les quartiers publics, sociaux.....etc

- **La collecte** : la municipalité prend en charge les déchets déposés aux niveaux points spécifiques. Ou bien à la demande d'un client pour collecter ses déchets. Nous distinguons aussi deux types de collecte : une collecte traditionnelle et une collecte sélective.

- La collecte concerne les cités universitaires, les unités militaires, les sites industriels...etc. Elle est organisée et facturée.

- **Le transport** : est la phase pendant laquelle les déchets sont acheminés vers un endroit approprié : décharge, centre de tri, unité de traitement...etc. Le choix du matériel de collecte dépend des caractéristiques de la ville desservie et des ressources financières de la municipalité. Le camion-benne par exemple et la benne tasseuse sont les véhicules les plus fréquents dans la

ville d'Oran. L'entreprise privée de collecte des déchets urbains EPIC Oran Propreté aménage 12 bennes tasseuses pour gérer les déchets urbains du secteur de Bir el Djir.

La cause principale de la défaillance du système de collecte est l'absence de l'organisation et l'irrégularité de collecte en d'autre terme la pré-collecte entraînant aussi l'augmentation de dépotoirs, la formation des décharges sauvages au milieu des quartiers et la multiplication des zones d'insalubrité publique avec des conséquences fatales.

L'efficacité du système d'enlèvement des résidus urbains solides est mesurée par le taux de collecte des déchets ,qui est défini comme le rapport entre la quantité enlevée et celle produite (Tahraoui Douma 2013). Il varie entre 10% à 80 % dans les quartiers populaires et pauvres et entre 50 % à 70 % dans les quartiers de haut standing et les centres commerciaux (Charnay 2005).

3.3.3 Inexistence du tri sélectif et absence de filières de recyclage :

L'absence de l'implication du citoyen dans le tri sélectif, le manque des moyens matériels et techniques, l'absence de la sensibilisation entraîne une collecte traditionnelle des déchets et oblige le transport à tout le mélange sans qu'il y ait une séparation au préalable au niveau des points de traitement. Ces points sont en général des décharges publiques et dans les meilleurs cas des centres d'enfouissement technique. La valorisation par recyclage est assurée généralement par les informels et ne dépasse pas 10 % dans la plupart des pays en voie développement (Tahraoui Douma 2013).

L'absence des unités et filières de valorisation, provoque la saturation rapide des décharges et des centres d'enfouissement en matières valorisables. Il y a lieu de mentionner que dans la plupart du temps, les déchets des activités de soins notamment ceux des cabinets médicaux et dentaires sont enlevés au même titre que les déchets ménagers et assimilés. Entraînant ainsi la dégradation de la santé publique et environnementale.

L'étude de différents modes de valorisation et de techniques d'élimination demeure indispensable et doit se faire par des unités de recherche afin de trouver des solutions locales appropriées selon les caractéristiques de chaque ville. La mise en place en parallèle, des systèmes formels de récupération et de recyclage de déchets dans la stratégie de gestion avec les systèmes informels va créer une concurrence au profit du citoyen, de l'environnement et aux autorités.

Cette démarche consiste à intégrer le secteur informel dans la planification de la gestion des déchets, par la création d'un cadre légal et formalisé qui garantit de vendre leur produit au prix du marché sans être exploités. Elle permet également à améliorer l'efficacité et les

conditions de vie et de travail des personnes impliquées concernées par la sensibilisation et la formation des personnes concernées (Medina 2007 ;Wilson et al 2006).

Les expériences des autres pays peuvent être bénéfique également dans ce contexte. Par exemple en Malaisie, un nouveau concept appelé e-money reward system a été intégré dans certains quartiers et a montré une efficacité de 3.4% de réduction à la source des déchets par les citoyens. Le concept consiste à désigner chaque citoyen par un code-barres, le citoyen n'a donc qu'à trier ces déchets et mettre ceux recyclables dans des sacs poubelle différents de non recyclable .Le citoyen est donc ainsi récompensé selon la quantité des déchets recyclables triés (Ariffin et al. 2020).

3.3.4 Inefficacité de contrôle des décharges et des centres d'enfouissement technique :

La mise en décharge semble la fin de cycle de vie des déchets, mais en réalité c'est le début d'une autre chaîne de problèmes sanitaires et environnementaux. La fermentation des déchets provoque la production du lixiviat et du biogaz, en présence des métaux et par réactions chimiques et biologiques, d'autres gaz sont générés tels que H₂S, NH₃, CO₂... etc. Et d'autres composés toxiques selon la composition des déchets. Tous ces problèmes environnementaux doivent ressortir dans une étude d'impact relative à la conception d'une décharge ou d'un centre d'enfouissement avant sa mise en marche. Pour qu'une décharge soit bien contrôlée, il existe un certain nombre de ces points doivent être bien étudiés tels que :

- Les casiers doivent être bien étanches pour éviter tout risque de contamination des nappes phréatiques ou souterraines par le lixiviat ou tout autre produit toxique.
- Le lixiviat doit être collecté puis évacué vers une unité de traitement pour l'élimination de toute matière toxique et indésirable.
- Les gaz doivent être captés et évacués vers une unité de valorisation ou de traitement, dans le mauvais cas brûlé dans une torche pour éviter la pollution atmosphérique.
- La préparation d'un nouveau casier quand le dernier qui est en exploitation est à 50 pour cent saturé pour éviter le débordement.
- La couverture et hygiénisation de chaque casier en fin d'exploitation.
- La clôture et le gardiennage du site sont très importants pour empêcher les informels et les animaux de s'introduire dans les casiers et disperser les déchets.

Les principaux problèmes rencontrés dans les PED sont des problèmes techniques et des problèmes de gestion. La défaillance des décharges et des centres d'enfouissement commence dès leurs conceptions, cela revient à l'absence des données fiables et précises sur les

caractéristiques physicochimiques, la composition et la qualité des déchets produits. La conception et la réalisation des centres d'enfouissement et leurs unités de traitement ne sont pas basées, dans la plupart des cas, sur des données scientifiques précises et bien étudiées, mais sur des prévisions et des estimations. (Ben Ammar 2006) a signalé que la négligence du taux élevé de matière organique et d'eau dans les déchets est la principale cause de défaillance des décharges et des centres d'enfouissement dans les PED. La négligence de l'importance des données initiales dans le contrôle et le bon fonctionnement des décharges et des centres d'enfouissement engendre des sérieux problèmes qui durent toute une vie de fonctionnement de la décharge. On peut citer comme problème :

- Production du lixiviat plus importante que prévue, et par conséquent, défaillance du système de drainage, de stockage et de traitement du lixiviat. C'est le cas de la Tunisie (Ben Ammar 2006), et de l'Algérie. (Kehila Y et al. 2007; Mezouari-Sandjakdine 2011).
- Production des quantités importantes du biogaz, et par conséquent défaillance du système de traitement, c'est le cas du centre d'enfouissement de Hassi Bounif, ou un incendie suivi d'une explosion importante au niveau du casier en 2015.
- Défaillance des mini centres de tri au niveau des centres d'enfouissement, le cas du centre de Hassi Bounif qui tri dans les meilleurs cas 10 tonnes par jour pour une quantité journalière totale de 1400 tonnes des déchets entrant le centre d'enfouissement.

3.3.5 Absence de l'application de la loi :

L'une des caractéristiques les plus marquantes dans la gestion des déchets dans les PED, est l'absence des textes réglementaires vis-à-vis des pratiques de la gestion des déchets. Quand ce n'est pas le cas, c'est l'absence partielle ou parfois totale de l'application de la loi vis-à-vis la collecte, le transport et le traitement des déchets. En fait, ce ne sont pas les textes règlementaires qui manquent, mais plutôt leur application qui est confrontée à diverses difficultés. Celles-ci sont liées au manque de moyens techniques et matériels d'une part, et au non suivi d'autre part. L'inefficacité du contrôle, de la pénalisation ou de la sanction de tout dépassement de la loi compliquent la mise en application des lois réglementaires.

En réalité, mettre en place une loi sans assurer son application, celle-ci ne sera guère efficaces sur le terrain. Le tableau 03 résume les lois concernant la gestion des déchets dans quelques pays en voie de développement. Aucun de ces pays ni un autre PED a mis des outils réglementaires ni des efforts pour assurer l'application de ces textes réglementaires.

Tableau 03 : Règlementation vis-à-vis de la gestion des déchets dans les PED ((Tahraoui Douma 2013)

Pays	Lois	Date	contenu
Togo	n° 2008-005	30 mai 2008	La contribution des collectivités territoriales à la gestion des déchets ménagers et à l'amélioration de la gouvernance environnementale
Maroc	n° 28-00 Décret n° 2-07-253	2006	Organisation de la collecte, du transport, du stockage, du traitement des déchets et leur élimination de façon définitive. La valorisation des déchets par le réemploi, le recyclage ou toute autre opération visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie
		18 juillet 2008	Classification des déchets dangereux

4. La législation, la réglementation et les instruments régissant la gestion des déchets en Algérie :

L'Algérie, à l'instar des pays voisins africains et de tous les PED connaît les mêmes problèmes de gestion des déchets ; mais à degrés différents.

L'augmentation des quantités des déchets et la variation de la composition de ces derniers est relative à la croissance démographique et la hausse du niveau de vie. Ainsi, les problèmes liés à la gestion des déchets ne posent pas de priorité par rapport à d'autres problèmes tels que l'éducation et la santé ... etc. (Adepoju G 2000). Globalement, la gestion des déchets en Algérie est basée sur trois types d'instrument :

4.1 Instrument législatifs et réglementaires :

Depuis 1984, l'Algérie a adopté toute une panoplie de textes juridiques sous forme de lois et décrets dans le domaine de l'environnement. Notamment la gestion des déchets qui était concernée par les textes suivants :

➤ Le décret n°84-378 du 1984 relatif aux conditions de nettoyage d'enlèvement et de traitement des déchets solides urbains ;

- Loi n°01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets ;
- Loi n°02-02 du 05 février 2002, relative à la protection et la valorisation du littoral ;
- Décret exécutif n° 02-175 du 20 mai 2002 portant sur la création de l'Agence Nationale des Déchets ;
- Décret exécutif n° 02-372 du 11 novembre 2002 relatif aux déchets d'emballage ;
- Loi n°03-10 du 19 juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- Décret exécutif n° 04-199 du 19 juillet 2004 fixant les modalités de création, d'organisation, de fonctionnement et de financement du système public de traitement et de valorisation des déchets d'emballages « ECO-JEM ».
- Décret exécutif n° 04-410 du 14 décembre 2004 fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations ;
- Décret exécutif n° 07-205 du 30 juin 2007 fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés ;

4.2 Instruments institutionnels :

Dans le cadre de la protection de l'environnement, l'Algérie a commencé par la mise en place *du ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire(MATE)* en l'an 2000. Depuis sa création, cette institution est chargée d'élaborer un plan de gestion intégrée des déchets et une politique efficace du développement durable. Cela devrait être réalisé par la mise en place et l'application des mesures visant à :

- Réduire et gérer sainement les déchets en prenant en considération le contexte environnemental et économique ;
- L'élaboration d'une gestion globale et intégrée du secteur des déchets solides ;
- Rechercher une répartition optimale entre les secteurs publics et privés visant à une efficacité maximale et en préservant l'équilibre social du secteur ;
- Décentraliser les responsabilités vers le plus bas niveau susceptible de les assumer.

L'Algérie a opté pour la création d'autres institutions pour optimiser et renforcer l'efficacité des activités du MATE, les institutions les plus remarquables vis-à-vis de la gestion des déchets et la protection de l'environnement sont :

➤ **Les directions de l'environnement de wilaya (DEW)** : leurs créations ont commencé en 1996 et ont pour missions principales la coordination et la mise en liaison des organes de l'état avec les wilayas et les communes. Ces directions ont pour but d'établir de bons programmes de protection de l'environnement sur l'ensemble du territoire de la wilaya et de lutter contre toute forme de dégradation de l'environnement.

L'autre activité de la direction de l'environnement est de contrôler la délivrance de permis, des autorisations des visa ...etc. qui ont une relation avec le domaine de l'environnement tout en respectant la législation. La dernière mission des DEW concerne le volet de l'information qui consiste à promouvoir des actions de sensibilisation en matière de l'environnement.

➤ **Les inspections régionales de l'environnement** : créées depuis 1988 et ayant pour activité principale de rechercher, constater et signaler toute infraction en matière de non-respect de la réglementation en vigueur. Les performances des inspections de l'environnement restent faibles et inefficaces par rapport à l'activité des autres organes institutionnels. Cela est lié principalement au manque des moyens humains et techniques nécessaires aux tâches, ainsi que le manque de formation du personnel. Sans oublier la limitation des activités des inspections aux signalisation des problèmes et non pas les résoudre. Il n'existe jusqu'à ce jour aucun texte réglementaire qui pénalise les dépassements des lois en matière de la gestion des déchets.

➤ **L'agence nationale des déchets (AND)** : créée en 2002, elle joue le rôle le plus important dans le système de gestion des déchets en Algérie. C'est l'institution responsable de mettre en place des instruments adéquats en matière de politique nationale de gestion des déchets. Elle aide à promouvoir les activités liées à la gestion des déchets notamment le tri, la collecte le transport et le traitement. D'autre part, elle est chargée de la recherche et de la réalisation des études, des programmes, des formations et des projets en matière de gestion des déchets en collaboration avec EPIC, CET d'Oran et l'ONG R20 med pour la réalisation d'une unité pilote de valorisation par compostage des déchets verts. Ainsi l'AND aide les micro-entreprises à se développer dans leur domaine de recyclage et valorisation des déchets par le support technique et financier.

4.3 Instruments économiques : caractérisé par la création des EPIC en matière de la collecte, de transport et de traitement des déchets. Nous pouvons citer les EPIC, CET, EPIC Oran-propreté qui sont chargées de la collecte des déchets ménagers, EPIC Oran vert qui est chargée de la gestion des déchets verts. EPIC AND est chargée de faire des études en matière de gestion des déchets pour les tiers, ainsi la taxation des particuliers pour toute élimination ou traitement des

déchets tels que les frais d'incinération des déchets hospitaliers, les frais de collecte et d'élimination des déchets des aéroports, ports, industriels ...etc.

Tableau 04 : Etat des lieux des installations de traitement des déchets (source Agence nationale des déchets)

Année	Evolution des équipements de traitement	Evolution des Quantités de DMA produites (millions de tonne/an)	Taux de valorisation des DMA)
2014	71 CET et 70 décharges contrôlées	10,7	Pas d'informations
2015	75 CET et 82 décharges contrôlées	11,2	
2016	89 CET et 87 décharges contrôlées	11,7	
2017	91 CET et 82 décharges contrôlées	12,1	
2018	95 CET et 85 décharges contrôlées	12,6	9,83 %
2019	99 CET et 87 décharges contrôlées	13,1	

5. Démarche pour une gestion durable des déchets :

Pour la mise en place et l'application d'une démarche de gestion durable des déchets, Guy Matejka, à travers ses recherches, a proposé un bilan à analyser pour identifier et maîtriser tous les points en matière de gestion des déchets urbains. La compréhension et la maîtrise de chaque étape du processus de gestion va promouvoir l'efficacité de la démarche à long terme.

5.1 Identification des acteurs : cette étape a pour objectif d'acquérir toutes les informations nécessaires qui vont servir comme outil pour construire et optimiser une stratégie de gestion des déchets en matière des acteurs impliqués dans le système tels que les citoyens et les habitants concernés par la stratégie, le secteur public concernés, le secteur privé, les ONG, les associations...etc.

5.2 Analyse du gisement des déchets : elle doit se faire sur des bases scientifiques et doit être bien étudiée avec la prise en considération et l'application d'un coefficient de sécurité pour éviter tout problème imprévu ; lors de la proposition des modes de traitement sur terrain. L'analyse doit

aussi consister à définir les flux des déchets, les caractériser à l'aide des outils scientifiques, définir la quantité, la composition, les caractéristiques physicochimiques...etc.

5.3 Proposition des modes d'élimination : une fois les acteurs et les gisements bien maîtrisés, l'élaboration des modes de traitement doit se faire par des experts selon le cas de chaque municipalité et de chaque secteur. L'implication des acteurs joue un rôle important ici, cela permettra d'améliorer et d'optimiser le processus pour mettre chaque acteur dans sa zone de devoir et d'expertise. Cette étape commencera t par les producteurs des déchets par exemple, leur implication se fait en appliquant l'un des principes : précaution, correction et pollueur-payeur. L'implication des acteurs publics et privés consiste à appliquer l'un des principes : prévention et proximité. Les ONG et les associations jouent le rôle de sensibilisation et d'information en appliquant les principes d'équité et de solidarité.

5.4 Maîtrise de la collecte : se fera en définissant le mode de collecte (PAP, AV) avec l'élimination à long terme de la pré-collecte. Elle définira définir les horaires de la collecte, l'optimisation du taux de collecte, l'implication du matériel nécessaire à la collecte, et la maîtrise des coûts ...etc.

5.5 Optimisation continue des modes d'élimination : la proposition des modes d'élimination n'est qu'une contribution à la démarche de gestion des déchets. L'efficacité de cette dernière n'aura lieu que quand l'optimisation continue est réalisée. En fait à chaque fois qu'une nouvelle donnée apparaisse, elle doit être prise en considération et ne pas être négligée.

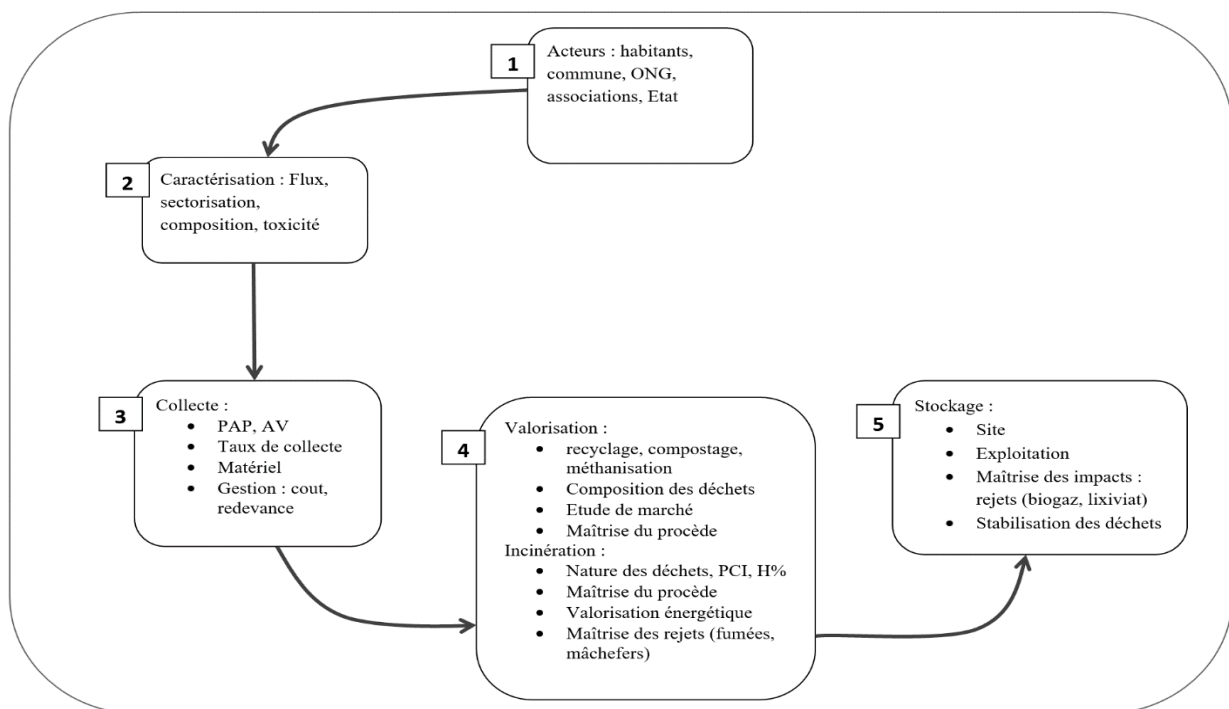


Figure 03 : Schéma de gestion durable des déchets (proposition de Guy Matejka).

6. Les modes d'élimination des déchets :

Le choix du mode ou bien de la technique d'élimination des déchets ne peut résulter que d'une étude technique et économique approfondie. Il n'est jamais pratique ni pertinent de donner des règles précises pour l'application d'un tel ou tel mode d'élimination. En général, on distingue deux familles d'élimination des déchets : La valorisation et le stockage.

6.1 La valorisation : la valorisation consiste à donner un autre cycle de vie aux déchets en l'impliquant dans un autre circuit de production. Nous entendons par cela la production d'un autre matériau ou produit, ou bien de l'énergie.

6.1.1 La valorisation matérielle : nous distinguons trois modes remarquables de valorisation :

- **La réutilisation :** où le même matériau est utilisé pour les mêmes fins. Elle consiste à la réutilisation des bouteilles en verre destinées aux boissons. Le matériau doit subir un procédé de nettoyage, de stérilisation avant d'être réutilisé mais il ne doit subir aucune transformation et ne doit rentrer dans aucun circuit de production.

- **Le recyclage :** le déchet doit passer par un autre circuit de production avant d'avoir un nouveau cycle de vie similaire à sa première utilisation. C'est le cas du recyclage des plastiques ou des métaux. Le produit ainsi recyclé n'aura jamais les mêmes qualités qu'un produit initial mais il sera utilisé comme un produit alternatif moins coûteux et aussi utile.

- **Le compostage :** c'est la technique la plus répandue pour la valorisation des déchets fermentescibles et biodégradables. Cette technique sera développée dans le chapitre 02.

6.1.2. La valorisation énergétique : comme le sens du terme l'indique, la valorisation énergétique consiste à produire de l'énergie à partir des déchets. Les deux techniques les plus connues sont l'incinération et la méthanisation.

6.2 Le stockage : le recours au stockage des déchets ne doit être envisageable que dans le cas où aucune autre solution n'est faisable. La mise en décharge demeure donc la solution ultime et inévitable pour l'élimination des déchets. Cependant, la pertinence d'une filière de stockage, soit une décharge soit un centre d'enfouissement, doit prendre en considération certains points pour que la filière ne perde pas son objectif principal qui est l'élimination des déchets et la protection de l'environnement et devienne elle-même une source de pollution pour l'environnement. (Gachet 2005) a cité les étapes à considérer pour la mise en place d'une filière de stockage des déchets :

- Choix du site et sa conception ;
- Les règles d'exploitation et du suivi du site ;
- Fermeture des casiers et suivi poste-exploitation ;

- Réhabilitation du site.

Conclusion :

La gestion des déchets diffère d'un pôle à un autre dans le monde, et d'un pays à un autre. L'élaboration d'une stratégie de gestion doit tenir compte des grandes variations des conditions socio-économiques pour assurer la durabilité de la stratégie. La valorisation des déchets présente une solution à double effet, elle permet la réduction des déchets destinés à l'enfouissement d'une part, et d'autre part, constitue un profit économique et écologique de ces déchets. La meilleure méthode de valorisation des déchets biodégradables est bien le compostage.

Liste des références du chapitre I :

1. ADEME. (2000, b). Chiffres clés. ADEME. <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/chiffres-cles-observation/chiffres-cles>
2. Adepoju G. Onibokun. (2000). La gestion des déchets urbains : Des solutions pour l’Afrique. CRDI - Centre de recherches pour le développement international. <https://www.idrc.ca/fr/livres/la-gestion-des-dechets-urbains-des-solutions-pour-lafrique>
3. Aloueimine, S. (2006). Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie): Contribution à la gestion des déchets et outils d’aide à la décision [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2006LIMO0004>
4. Ariffin, F. B., Ishii, K., Sato, M., & Ochiai, S. (2020). The effectiveness of the e-money incentive mechanism in promoting separation of recyclables at source in Malaysia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01107-1>
5. Beede, D. N., & Bloom, D. E. (1995). THE ECONOMICS OF MUNICIPAL SOLID WASTE. *The World Bank Research Observer*, 10(2), 113–150. <https://doi.org/10.1093/wbro/10.2.113>
6. Ben Ammar, S. (2006). Les enjeux de la caractérisation des déchets ménagers pour le choix des traitements adaptés dans les pays en développement: Résultats de la caractérisation dans le grand Tunis : mise au point d’une méthode adaptée [These de doctorat, Vandoeuvre-les-Nancy, INPL]. <http://www.theses.fr/2006INPL065N>
7. Charnay, F. (2005). Compostage des déchets urbains dans les pays en développement: Élaboration d’une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2005LIMO0035>
8. Douard, P., Campana, M., Fournel, J., Fareniaux, B., Chapelle, M.-C., & Bazin, P. (2014). La gestion des déchets par les collectivités territoriales. 534.
9. FCQ. (1999). Front Commun Québécois. Mémoire du Front commun québécois pour une gestion écologique des déchets sur la consultation publique sur la gestion de l’eau au (p. 33).
10. Gachet, C. (2005). Evolution bio-physico-chimique des déchets enfouis au Centre de Stackage de Déchets Ultimes du SYDOM du Jura sous l’effet de la recirculation des lixiviats [These de doctorat, Lyon, INSA]. <http://www.theses.fr/2005ISAL0022>

11. Hamza CHENITI. (2014). La Gestion Des Dechets Urbains Solides: Cas De La Ville D'annaba. <https://catalog.ihsn.org/index.php/citations/82957>
12. Kehila Y, AINA M, MEZOURI F, MATEJKA G, & MAMMA D. (2007). (11) (PDF) Quelles perspectives pour l'enfouissement technique et le stockage éco-compatible des résidus solides dans les PED vis-à-vis des impacts sur l'hydrosphère urbaine ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/273953993_Quelles_perspectives_pour_l'enfouissement_technique_et_le_stockage_eco-compatible_des_residus_solides_dans_les_PED_vis-a-vis_des_impacts_sur_l'hydrosphere_urbaine
13. Larousse, É. Définitions: Déchets - Dictionnaire de français Larousse. Retrieved September 7, 2020, from <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/d%C3%A9chets/22143>
14. Marie-Laure ANDRE & Samuel HUBERT. (1997). Dechets solides hospitaliers. http://www.utc.fr/master-qualite/public/publications/qualite_et_biomedical/UTC/dess_tbh/96-97/Projets/DS/DS.htm#DEFINITION
15. MBT. (2003). Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste. 57.
16. Medina, M. (2007). Waste picker cooperatives in developing countries. In C. Richards, M. Chen, R. Kanbur, & R. Jhabvala, Membership Based Organizations of the Poor (Vol. 20070537, pp. 105–121). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203934074.pt4>
17. Mezouari-Sandjakdine, F. (2011). Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2011LIMO4015>
18. Ngnikam, E., & Tanawa, É. (2006). Les villes d'Afrique face à leurs déchets. Université de technologie de Belfort-Montbéliard.
19. Pop_mondiale_2007.pdf. (n.d.). Retrieved September 17, 2020, from https://ise.unige.ch/isdd/IMG/pdf/pop_mondiale_2007.pdf
20. Tahraoui Douma, N. (2013). Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef, Algérie [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2013LIMO4038>
21. Wilson, D. C., Velis, C., & Cheeseman, C. (2006). Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. *Habitat International*, 30(4), 797–808. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2005.09.005>

***CHAPITRE II : VALORISATION DES DECHETS PAR
COMPOSTAGE***

Introduction :

La plupart des déchets peuvent être valorisés par compostage, ainsi que les fractions fermentescibles et biodégradables des déchets ménagers, les déchets agricoles, les boues des stations d'épuration des eaux usées et quelques déchets industriels aussi font l'objet.

La compréhension du fonctionnement de ce processus de traitement biologique est essentielle pour la bonne maîtrise et la gestion de la valorisation des déchets par compostage. Ce chapitre présente la revue de la littérature sur le procédé de compostage.

1. Définition :

Plusieurs définitions ont été données au compostage selon la discipline, il est défini comme étant une transformation d'une matière organique très instable et fortement biodégradable en une autre matière stable (Blaise LECLERC 2001).

(MUSTIN 1987) donne la définition suivante du compostage : C'est un procédé biologique contrôlé de conversion et de valorisation des substrats organiques (sous-produits de la biomasse, déchets organique d'origine biologique ...) en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composés humiques : *le compost*.

C'est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques, d'origine végétale ou animale par des communautés microbiennes et sous conditions aérobies, qui accélère la transformation de la matière organique conduisant à la production d'une matière organique humifiée qu'on appelle le compost (Cédric FRANCOU 2003)(Antizar-Ladislao, Lopez-Real, and Beck 2006). C'est un phénomène similaire à celui de l'humification naturelle des substances organiques en substance humiques dans le sol (Albrecht 2007).

C'est le résultat direct de l'action des microorganismes diversifiés, principalement des bactéries, des champignons et protozoaires (Mustin 1999), (Tuomela 2000) (Hassen et al. 2001), qui évoluent en milieu aérobie (Sharma et al. 1997). En terme de gestion des déchets, il est défini comme un mode de traitement biologique aérobie des déchets(Charnay 2005).

On peut définir le compostage comme un phénomène naturel accéléré de transformation de la matière organique instable d'origine végétale ou certaines matières organiques d'origine animale en présence de plusieurs communautés microbiennes et sous conditions contrôlées. C'est un processus bio-oxydatif, où l'oxydation de la matière organique se fait par les microorganismes en présence de l'oxygène et qui produit du CO₂, de la chaleur, de l'eau et d'une matière minéralisée plus stable et bénéfique pour le sol.

Equation biochimique de compostage :

MO instable + Microorganismes + O₂ → CO₂ + H₂O + chaleur + MO minéralisée stable

2. Objectif du compostage :

L'objectif principal du compostage est la valorisation des substrats biodégradables et leur donner une nouvelle utilisation bénéfique au lieu d'être enfouies ou déposées aux décharges ou aux centre d'enfouissement technique, cela permet de :

- Stabiliser les déchets et minimiser les pollutions résultantes de leur évolution biologique ;
- Réduire le gisement des déchets par diminution de la masse des déchets destinés à l'enfouissement ;
- Produire des amendements organiques bios et dans le cas le plus échéant des engrais bio destinés à la fertilisation des sols agricoles.

3. Effets bénéfiques du compost :

3.1. Amélioration des propriétés physicochimiques des sols :

Le compost améliore la porosité de sols et augmente la capacité de rétention de l'eau pluviale ou d'arrosage, l'amendement continu de sols en compost de bonne qualité augmente le taux de matière humique dans ce dernier, (Charnay 2005) a indiqué qu'une augmentation de 2 % pourcent de matière humique dans le sol accroitra sa capacité de rétention d'eau de 0.5% pourcent et sa porosité de 1% .Ainsi l'incorporation de compost dans le sol permet d'augmenter sa conductivité hydrique et de diminuer sa densité, et de lutter contre la dégradation de la surface de sol (Bresson et al. 2001), d'augmenter son pouvoir tampon et sa capacité d'échange ce qui est nécessaire pour la nutrition des plantes (Mustin 1999).Et, en plus de ça, le compost permet de réduire l'acidité du sol et de diminuer les risques d'exportation des métaux vers les plantes (Bolan et al. 2003).

3.2. Amélioration des aspects biologiques des sols amendés :

L'ajout d'amendements organiques dans les sols stimule l'activité enzymatique dans ces derniers (Serra-Wittling, Houot, and Alabouvette 1996) (Vinhai-Freitas et al. 2010) (Crecchio et al. 2004). Cette activité enzymatique est liée directement à la maturité de compost ajouté au sol, selon (Pascual et al. 1998) cette relation est proportionnelle. L'addition de compost mature dans un sol améliore sa qualité et favorise le développement végétal, aussi, il réduit le nombre de maladies occasionnées par les pathogènes issues du sol. (Cotxarrera et al. 2002) ont constaté

que l'ajout de compost mûr à un sol a une grande incidence sur les activités enzymatiques sans affecter la structure de la communauté microbienne, c'est-à-dire que le sol est conservé comme une entité vivante avec ses bactéries qui peuvent jouer un rôle dans la dépollution des retombées polluantes sèches ou humides.

3.3. Amélioration du rendement :

Un compost mûr de bonne qualité et, qui, ne contient pas des traces de polluants est un bon engrais aux cultures maraichères, il permet de fournir les nutriments nécessaires à la plante tels que le phosphore, le potassium et l'azote, ainsi, il facilite le transfert des oligo-éléments du sol à la plante. (M. Zhang et al. 2006)(Soumaré, Tack, and Verloo 2003).

4. Méthodes de compostage : les méthodes les plus fréquentes de compostage sont :

4.1. Compostage en andain :

Le compostage en andain est l'une des techniques de compostage les plus utilisées. Il s'agit de former de longues piles de compostage, appelées "andains" et de les aérer périodiquement soit manuellement soit mécaniquement. La hauteur idéale des andains varie de 1,50 à 2,00 m et la largeur de 4,00 à 4,50 m (Leslie Cooperband 2002). La taille de la pile détermine également la température intérieure de la pile, c'est-à-dire que si la pile est trop petite, il n'y aura pas suffisamment de chaleur générée en raison d'une surface plus élevée et inhibera l'activité des bactéries thermophylique. Il s'agit de mélanger les pieux à l'aide de tracteurs et de basculeurs. C'est une méthode à forte intensité de main-d'œuvre. En cas de température atmosphérique plus élevée, les andains sont préparés sous abri pour éviter un excès d'humidité. La hauteur de la pile dépend également de la taille des basculeurs. En raison de sa simplicité et de son efficacité.



Figure 04 : Compostage en andains

4.2. Compostage en tas statique :



Figure 05 : Compostage en tas statique aéré mécaniquement

Il nécessite une matière première homogène et produit du compost à un rythme plus rapide. Dans ce procédé, les déchets organiques sont mélangés en gros tas et l'aération est effectuée de manière passive ou mécanique. Dans l'aération passive, des agents gonflants à comme les copeaux de bois, des journaux déchiquetés sont utilisés pour assurer le mouvement de l'air du bas du tas vers le haut et dans l'aération mécanique des tuyaux perforés sont posés sous le tas de compost et, à travers les compresseurs, l'air est forcé dans le tas. Pour contrôler l'odeur, du compost mûr est étalé sur le dessus du tas. Dans cette méthode, il n'y aura pas de retournement de la pile de compostage et, par conséquent, la préparation de la pile doit être effectuée avec soin pour avoir des pourcentages plus élevés de vides, ce qui aide à maintenir un pourcentage optimal d'oxygène (Byakodi 2016)

4.3. Compostage en cuve fermée :

Il est principalement utilisé pour la production commerciale de compost organique. Pour un processus de compostage plus rapide, un meilleur contrôle des facteurs environnementaux est nécessaire et la même chose peut être obtenue en utilisant un récipient fermé. Certains des facteurs environnementaux comprennent la température, l'humidité, la teneur en oxygène, etc. Le récipient fermé peut être un tambour, un silo, une tranchée revêtue de béton ou un bâtiment entier qui est fermé (Leslie Cooperband 2002). Le récipient peut être tourné mécaniquement pour l'aération du matériau de compostage. Cette méthode produit du compost en quelques semaines et un peu plus de temps est nécessaire pour refroidir et inhiber l'activité des micro-organismes.



Figure 06 : Compostage en cuve fermée

4.4. Lombricompostage :

Les vers de terre sont les organismes les plus importants du sol pour la formation du sol. Le lombricompostage est un processus mésophilique et comprend l'ingestion, la digestion et l'absorption des déchets organiques effectuées par les vers de terre. Au fur et à mesure que les vers de terre ingèrent la matière organique, les microorganismes contenus dans le ver de terre se digèrent partiellement et par excrétion du « vermicast » se forme. Le vermicast est riche en micro-organismes et en matière organique partiellement digérée, qui subissent un processus de digestion complet. L'humidité est un autre facteur important qui contrôle le processus de lombricompostage (Byakodi 2016) . Des conditions favorables doivent être maintenues pour la survie et la croissance des vers de terre. Le processus de compostage complet prend environ 3 à 4 mois et le produit final sera de la plus haute qualité.



Figure 07 : Vermicompost issu de lombricompostage



Figure 08 : Bassin de lombricompostage

Tableau 05 : caractéristiques des différents procédés de compostage(Tahraoui Douma 2013)

Procédé et durée du processus	Capacité (T/an)	Avantages	Inconvénient
Bioréacteur-stabilisateur -1 à 3 jours dans le réacteur et 3 à 6 mois de fermentation et maturation	9 à 25 000	-déchets entrants : ordures ménagères brutes -préparation du flux en un à trois jours -pas d'odeurs	-nombreuses étapes pour obtenir un flux de qualité ; - collecte en amont des déchets toxiques et des déchets d'emballages ménagers ; -ne permet pas la récupération de toute la fraction organique ; -qualité aléatoire en raison des entrants.
Compostage en andains à air libre -3 à 6 mois selon le degré de maturation souhaité et la fréquence des retournements	quelques tonnes à plus de 100000	-faibles besoins techniques - Faible coût -exploitation aisée de l'unité - capacité de traitement élevée -utilisation de matériel mobile -extension facile si place disponible	-émission éventuelles d'odeurs et de composés organiques volatils -Impact visuel -besoin d'un lieu d'implantation sans voisinage (ou voisinage industriel) -problème de bruit -besoin de grandes aires de stockage -besoin d'une infrastructure de récupération de lixiviat
-Compostage avec aération forcée et retournement sous bâtiment -4 semaines de fermentation et 3 mois de maturation	6000 à 20000	-aspect esthétique - pas ou peu d'odeurs - pas ou peu de bruit - automatisation du procédé -faible besoin d'espace -accélération du procédé et donc réduction du stockage	-agrandissement nécessitant des travaux et modification du bâtiment -coût supérieur à un procédé de compostage en andains à l'air libre -entretien important de la partie mécanique
-Co-compostage en plein air avec retournement -1 à	Environ 25000	-Traitement de plusieurs flux de déchets organiques différents -Faible coût - Impact	-Si un flux est pollué, les deux le deviennent -Emission d'odeurs

Chapitre II : valorisation des déchets par compostage

2 mois de fermentation puis 3 mois de maturation		environnemental presque nul -Besoin de peu de moyens techniques -Rapport C/N idéal	
-Compostage en sac ventilé -environ 11 semaines	25000 à plus de 75000	-absence d'odeurs -absence de lixiviat -insensible aux aléas climatiques -coût réduit -matériel mobile -main d'œuvre réduite (pas de retournement, ...)	-peu de retour d'expériences en France -préparation préalable du mélange -aucune manipulation ne peut être faite une fois le substrat dans le sac
-Compostage avec aération forcée sous bâtiment ou compostage en casier -4 à 5 semaines de fermentation puis 8 semaines de maturation	40000	-absence d'odeur -absence de lixiviat -aspect esthétique - technologie simple -traçabilité facile par informatisation	-plus long qu'un procédé avec retournement accéléré -présence d'insectes
-Compostage individuel - environ 9 mois	0.3 - 0.6	-facile à mettre en place -faible coût -dévie une partie des ordures ménagères brutes -implique l'habitant	-odeurs et insectes si le suivi n'est pas régulier -procédé pour les personnes possédant un jardin

5. Paramètres de compostage :

On distingue deux principales familles de paramètres lors du compostage ; des paramètres liés à la nature de substrats, et des paramètres influant le déroulement du processus de biodégradation.

5.1. Paramètres liés à la nature de substrat :

5.1.1. La teneur en eau du substrat :

L'eau est un facteur important pour l'activité des micro-organismes. Ainsi, l'humidité contenue dans les déchets mis en compostage est nécessaire à la vie des micro-organismes (MUSTIN 1987). Au début de compostage, le substrat doit être suffisamment humide pour répondre aux besoins des microorganismes responsables de la biodégradation, un substrat trop humide peut favoriser une digestion anaérobie, et un substrat sec ne permettra pas l'activation de la biodégradation aérobie par les microorganismes (Tiquia and Tam 1998) (Tahraoui Douma 2013).un substrat idéalement humide est celui ayant un taux d'humidité compris entre 50 et 60% (Barrington 2002).

5.1.2. La granulométrie :

On entend par granulométrie les dimensions des particules d'un mélange. Pour le compostage, elle joue un rôle important pour la biodégradation du substrat, si la granulométrie du substrat est très fine au départ, la circulation de l'air à l'intérieur sera diminuée et par conséquent il y'aura création des conditions anaérobies, dans le cas contraire, c'est-à-dire une granulométrie très élevée, la surface de contact entre les microorganismes et le substrat sera très petite ce qui empêchera le déroulement du processus en meilleures conditions.(Mustin 1999) (Nadia Ramdani 2015).La granulométrie d'un substrat de grande dimensions peut être ajustée à l'aide d'un broyeur, et pour un substrat de petite granulométrie l'ajustement se fait par l'incorporation avec d'autre substrat plus volumineux.

5.1.3. Le rapport C/ N :

Le rapport C/N du substrat à son état initial est un paramètre essentiel qui caractérise la valeur nutritive et énergétique nécessaires aux micro-organismes, (Larsen and McCartney 2000).Les micro-organismes hétérotrophes consomment grossièrement 25 à 30 fois plus de carbone que d'azote, le rapport C/N optimal est donc de l'ordre de 25/1 à 30/1 en masse (Gotaas 1959) (MUSTIN 1987). Un rapport C/N Inférieur à 25 favorise la perte de l'azote sous forme d'ammoniac volatile, et un rapport C/N supérieur à 30 ralenti la biodégradation (Tahraoui Douma 2013) (MUSTIN 1987). Ainsi le rapport C/N peut être maintenu à sa valeur optimale par l'ajout d'autre matériaux selon le besoin.

Tableau 06: Rapport C/N initial de quelques substrats (Mustin 1999)

Substrat	C/N
Urine	0.8
Gazon coupé	12
Tabac	13
Légumes	12-30
Ordures ménagères	25
Papier-carton	70
Branches d'arbres	70
Sciure de bois	200

5.1.4. L'acidité :

L'acidité du substrat est un indicateur de biodégradation. Selon, (Zorpas, Arapoglou, and Panagiotis 2003), l'évolution théorique du pH varie entre 5,5 et 8,0 au cours de compostage. Le pH au départ du compostage doit être neutre à légèrement acide, compte tenu la composition du substrat. Un substrat très acide ou très basique à son état initial indique la présence d'un polluant qui empêchera le déroulement du processus de biodégradation. Ainsi, l'évolution du pH au cours du compostage dépend de sa composition initiale(Ekling and Kirchmann 2000).

5.2. Paramètres influant le déroulement du processus :

5.2.1. L'apport en oxygène :

La disponibilité de l'oxygène pendant le processus de compostage est importante. Ce dernier est utilisé par les micro-organismes pour leur respiration aérobie et pour l'oxydation des substances organiques présentes dans le tas de compost. Dans le cas de processus industriels, l'aération de la biomasse doit être assurée de telle sorte que la concentration en O₂ circulant dans l'air ne soit pas inférieure à 18% (Bertoldi M., De,Vallini G. andPera A., (1983). Dans ces conditions, le compostage peut se dérouler très rapidement. Dans le cas du compostage en andain, l'aération est assurée par le retournement ou par une ventilation forcée. Dans le premier cas, il existe un temps optimum entre deux retournements, en prenant en compte le bon déroulement du compostage (maintien d'une température élevée) et la limitation des effluents gazeux polluants. Cette durée dépend de la structure des tas, de leur masse et de leur température. Néanmoins les conditions régnant à l'intérieur de l'andain ne fournissent pas aux microorganismes une oxygénation optimum à un compostage aussi rapide que dans un processus industriel. Il y a une relation entre la température, l'aération et la consommation microbienne de l'oxygène pendant le compostage. A

une température située entre 30 et 55°C, la consommation de l'oxygène par les microorganismes est maximale. L'aération peut donc être utilisée comme facteur de régulation de la température tout en favorisant l'activité microbienne (Yulipriyanto 2001).

5.2.2 L'humidité :

Pendant le processus du compostage, la teneur en eau peut augmenter à cause des réactions chimiques d'oxydation et de combustion, elle peut diminuer simultanément par évaporation à cause de l'augmentation de la température pendant les deux premières phases du compostage ou par l'aération (retournement) (Tahraoui Douma 2013). Il est recommandé d'éviter une forte humidité car, l'excès d'eau chasse l'air des espaces lacunaires, ce qui déclenche des conditions d'anaérobiose et une mauvaise circulation d'air à l'intérieur de l'andain (Yulipriyanto 2001).

Le compostage optimal dans les premières phases est obtenu pour des valeurs de 30 à 36 % d'espaces lacunaires dans la masse (MUSTIN 1987). Ainsi le taux optimal d'humidité pour un substrat donné est déterminé par le pourcentage d'espaces lacunaires qui n'entrave pas la circulation de l'air nécessaire à l'activité des microorganismes. L'expérience a montré que, pour la plupart des mélanges, les taux d'humidité initiaux doivent être compris entre 40% et 65% (Bertoldi M., De, Vallini G. and Pera A., (1983)(Tahraoui Douma 2013) (MUSTIN 1987).

Les conditions d'anaérobiose localisées commencent à se produire au-delà de 65-70%. Remarque : le taux maximal d'humidité pour un substrat donné est déterminé par le taux maximal d'espaces lacunaires qui n'entraînent pas d'inhibition des micro-organismes. L'espace lacunaire sera d'autant plus élevé que la teneur en matériaux structurants (ligno-cellulosiques) sera élevée (MUSTIN 1987).

Pendant le compostage, la teneur en eau a tendance à augmenter par libération d'eau métabolique par les microorganismes qui dégradent les matières organiques en présence d'oxygène, et à diminuer sous l'action conjuguée de la montée en température et de l'aération forcée ou du retournement, qui entraînent des pertes sous forme de vapeur d'eau. De plus, l'humidité optimale varie et dépend essentiellement de la structure physique et de la granulométrie des particules qui évoluent au cours du compostage et donc l'absorbance de l'eau s'augmente, l'humidité et l'aération étant étroitement liées. La maintenance d'une valeur optimale d'humidité pendant le compostage est donc compliquée. En pratique, ce problème est souvent résolu grâce à un suivi de température auquel on assujettit soit un retournement de l'andain, soit une modification de l'aération, soit un arrosage. L'humidité est aussi l'un des principaux facteurs de l'environnement qui joue un rôle important comme moyen de transport de nourriture pour l'activité métabolique et physiologique des micro-organismes (Tiquia et al., 1998).

5.2 .3 La température :

La température est un paramètre critique pour le compostage. Les températures élevées ont souvent été considérées comme une condition nécessaire pour un bon compostage, les températures optimales étant celles qui permettent d'atteindre les objectifs recherchés : hygiénisation, dégradation rapide, évaporation de l'eau, humification. Les températures trop élevées sont à éviter, puisqu'elles ralentissent l'activité biologique et engendrent des modifications chimiques indésirables des substrats, les températures trop basses également à éviter, car elles ne permettent pas d'atteindre les objectifs assignés. En ce sens, il est ambigu de parler de compostage lorsque les substrats évoluent à basse température (compostage dans le sol, traitement microbien, traitement du lisier avec faible quantité de paille sans phase de fermentation associée) (MUSTIN 1987).

Les températures élevées sont dues à l'activité biologique, la chaleur étant fournie par la respiration des micro-organismes décomposant la matière organique. Le flux calorifique est alors un indicateur du bon déroulement du compostage. Dans les tas pour lesquels la dispersion de la chaleur est faible, la température s'élève. Elle peut être régulée par action sur l'aération (élimination de la chaleur par convection). Généralement la génération de la chaleur métabolique, de la température, de la ventilation et de l'humidité sont 4 facteurs interconnectés lors du processus de compostage (Strom 1985).

La température a un effet important sur la structure de la communauté microbienne. De toute manière l'écosystème constitué par le compost a des limites en raison du facteur inhibant de la température excessive due à la chaleur accumulée. Les températures excessivement élevées inhibent la croissance de la majorité des micro-organismes présents, et de ce fait ralentissent la décomposition de la matière organique.

Les études de (McKinley and Vestal 1985) sur le compostage de déchets municipaux montrent que la température est le facteur principal qui affecte le métabolisme microbien. L'optimum de température pendant le compostage de ce substrat se situe en dessous de 55°C, et l'activité microbienne est à son niveau le plus élevé lorsque les déchets municipaux sont compostés à une température inférieure à 58°C. Cependant, la température du compostage doit s'élever à un certain niveau qui assure la réduction des pathogènes, généralement 55°C maintenus pendant 3 jours. Un contrôle précis de la température est nécessaire pour éliminer les pathogènes tout en gardant la communauté microbienne du compostage en bonne condition. Pour un compostage rapide, les températures élevées pendant de longues périodes doivent être évitées. Une première phase thermophile peut être utile pour neutraliser les microbes pathogènes thermosensibles. Après cette étape, il est préférable de ramener les températures à des niveaux qui permettent le développement des eumycètes et des actinomycètes, principaux agents de la décomposition des polymères à chaîne

longue, de la cellulose et de la lignine. Les températures optimales varient de 45 à 55°C (Bertoldi M., De, Vallini G. and Pera A., (1983).

La température optimale du compostage, sera celle qui permet :

- Une bonne hygiénisation du compost, $T_e > 60$ °C pendant au moins 4 jours
- Une vitesse de dégradation rapide, $T_e > 40$ °C
- Une humification active en évitant les trop fortes températures qui aboutissent à la réduction des micro-organismes et à la « cuisson » du compost. (Tahraoui Douma 2013)

5.2.4 La durée :

La durée du compostage fait appel à un ensemble de conditions et de paramètres physiques et chimiques au cours du compostage. Elle dépend, de la nature des matériaux à composter, des conditions du processus, du degré d'aération, du rapport C/N, de l'humidité, de la durée de l'ensemble des réactions microbiennes de minéralisation et d'humification des substances organiques. La durée du compostage dépend des cycles biologiques des micro-organismes impliqués. D'après (Rynk et al. 1992), la durée de compostage est courte si le rapport C/N et l'aération des andains sont favorables. Mais, si l'humidité est faible, la température est basse, le rapport C/N élevé, l'aération est insuffisante et le matériel est résistant, la durée de compostage est lente. Pour (Tuomela 2000) , la durée de compostage dépend de la nature de la matière organique, de l'efficacité du processus et du degré d'aération et d'agitation. Dans le cas d'un compostage d'andain mené avec retournement, une durée raisonnable de compostage peut être de l'ordre de 4 mois pour la fermentation suivis de 3 mois pour la maturation (Yulipriyanto 2001).

6. Les phases de compostage :

En termes d'activité microbienne, le compostage se déroule en deux phases principales : la biodégradation et le ralentissement et maturation ; La première phase se caractérise par l'activité microbienne qui conduit à la décomposition des matières biodégradables et à la stabilité du résidu organique. La deuxième phase se caractérise par la conversion d'une partie de la matière organique restante en substances humiques (Adani, Genevini, and Tambone 1995).

En terme d'évolution de la température, le compostage passe par trois à quatre phases selon la littérature :

6.1 Phase mésophile :

Pendant cette phase, la température augmente progressivement par rapport à la température ambiante, et le pH diminue à cause des acides organiques produits par la dégradation des glucides et des lipides par les micro-organismes (MUSTIN 1987) (Tuomela 2000). La température moyenne de cette phase est comprise entre 30 et 40°C. Les microorganismes dégradent les composés simples

(sucres, protéines, hémicellulose) en gaz et produits minéraux (CO_2 , H_2O , NO_3). A partir de 40°C , les micro-organismes mésophiles sont progressivement remplacés par des micro-organismes thermophiles (bactéries, champignons et actinomycètes). La production de la chaleur est supérieure à la perte de cette dernière.

6.3 Phase thermophile :

Cette phase se caractérise par une température comprise le plus souvent entre 40 et 60°C et parfois jusqu'à 70°C (Bertoldi M., De,Vallini G. andPera A., (1983). 1983). Dans cette phase, les champignons thermophiles poursuivent le processus (Albrecht 2007), le pH remonte car, les microorganismes consomment les acides organiques. Au-dessus de 60°C , la dégradation de la matière organique se fait par les bactéries thermophiles, et après 70°C , elle se fait par les enzymes secrétés dans les phases précédentes. Pendant cette phase, l'azote minéralisé (NH_4^+) peut être volatilisé en fonction du pH en forme ammoniacale (NH_3) (MUSTIN 1987). Une part importante de la matière organique est perdue par oxydation sous forme de CO_2 (environ 50%) et l'assèchement du compost est lié à l'évaporation de l'eau.il est très important de maintenir l'humidité et l'apport en oxygène pendant cette phase.

6.4 Phase de refroidissement :

Cette phase se caractérise par une diminution importante de la quantité de matières organiques ce qui provoque un ralentissement de l'activité microbienne. Ceci favorise le refroidissement du compost. Cette phase de refroidissement peut être très progressive ou au contraire très rapide selon la nature du substrat, des conditions climatiques ou de la taille du tas de compost (isolation). Au cours de cette phase, des microorganismes mésophiles colonisent à nouveau le compost (Francou,2003.). La production de chaleur est inférieure à la perte de chaleur.

6.5 Phase de maturation :

Au cours de la maturation, des réactions secondaires de condensation et de polymérisation rentrent en jeu conduisant à la formation d'humus avec les acides humiques particulièrement résistants à la dégradation. Les trois premières phases sont relativement rapides par rapport à la phase de maturation. Leur durée de variation dépend des matériaux de départ et de procédé de compostage. Le produit obtenu atteint la maturité quand sa température n'augmente pas lors du retournement, ne devient pas anaérobie lors du stockage, et ne prend pas d'azote à son incorporation au sol. (Mustin 1999) (Tahraoui Douma 2013).

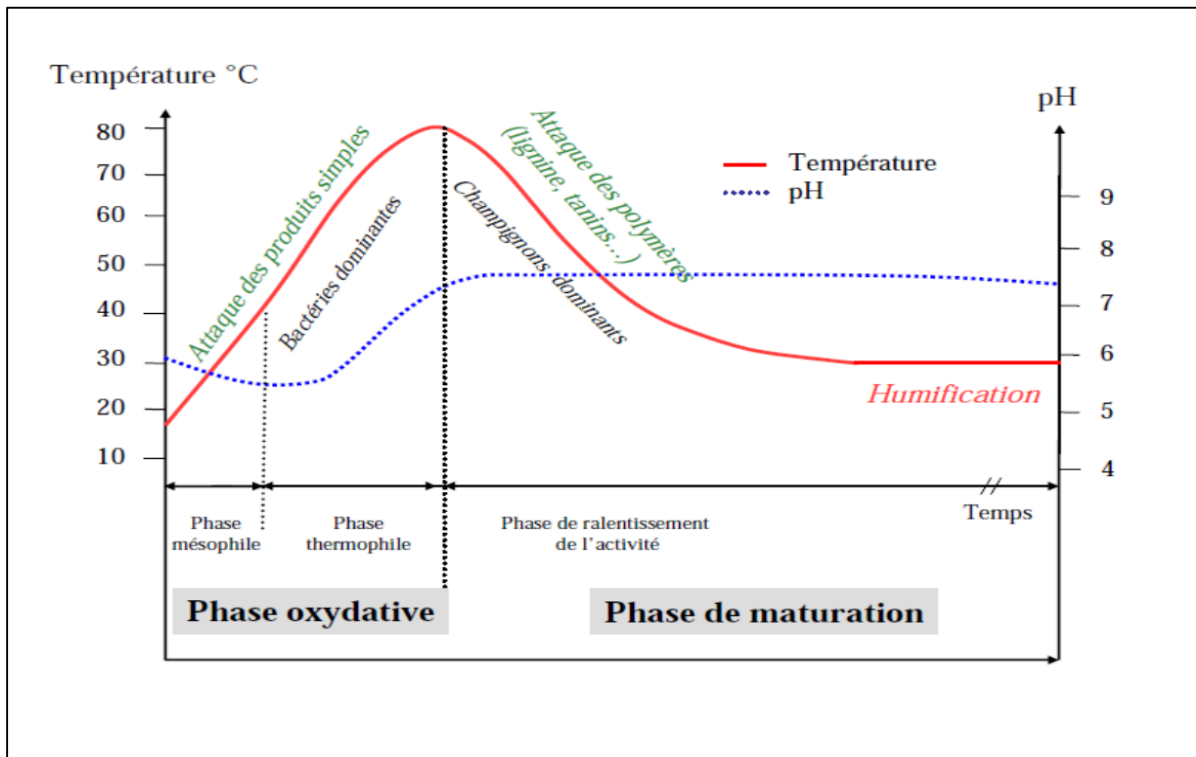


Figure 09: Courbe théorique des différentes phases de compostage(MUSTIN 1987)

7. Microbiologie de compostage :

Le compostage est considéré comme l'une des biotechnologies les plus complexes où plusieurs espèces rentrent en jeu, (Mustin 1999) (Albrecht 2007). Les principaux microorganismes qui interviennent lors du compostage sont les bactéries, les champignons, les protozoaires et les algues. Les microorganismes les plus dominants sont les bactéries, elles sont responsables de la dégradation des composés facilement biodégradables (glucides, protéides et lipides) pendant la phase mésotherme, et elles interviennent aussi pendant la phase thermophile vu leur résistance à la chaleur et aux températures élevées. (Tuomela 2000) (Mustin 1999).

Les bactéries, les actinomycètes, les champignons, les protozoaires et les algues d'origine tellurique produisent une variété d'enzymes qui dégradent à leur part la matière organique durant le processus de compostage. Les principaux paramètres d'un andain au cours du compostage sont la nature et la granulométrie de la matière première, l'espace lacunaire (porosité), l'apport en oxygène, la température, l'humidité et le pH. La bonne maîtrise de ces paramètres est la clé pour obtenir un compost de qualité. Ces paramètres sont modifiés par l'activité des microorganismes au cours de compostage. Ce qui aboutit à une sélection de nouvelles populations des microorganismes ayant des caractéristiques enzymatiques capables de s'adapter avec les nouvelles conditions de l'andain.

L'augmentation observée des températures au cours de compostage est le résultat d'oxydation de la matière organique par une population microbienne aérobie. Cette activité est importante au début du compostage, elle est reflétée par l'augmentation de la température. Le suivi de la température permet donc une mesure indirecte de l'intensité des dégradations aérobies.

Au-dessous de 20 °C, ce sont les microorganismes psychrotrophes qui sont actifs. Entre 20 et 40 °C, c'est le tour des mésophiles. Les thermophiles ne sont actifs qu'à des températures situées entre 40 et 70 °C (MUSTIN 1987). Au début du compostage, l'activité biologique s'installe grâce aux microorganismes mésophiles. Cette activité fait monter rapidement la température dans les andains grâce à la dominance des bactéries qui dégradent les composés facilement dégradables comme les sucres, les protéines et les lipides (Bertoldi M., De, Vallini G. and Pera A., (1983). L'évolution de la température au cours du compostage dépend de la richesse du substrat en composés fermentescibles.

Les actinomycètes, les champignons et les bactéries thermophiles sont actifs pendant la phase thermophile de compostage. Ils sont les plus attendus pour deux raisons principales : ils accélèrent le processus de décomposition et assurent l'assainissement du compost par suppression des germes pathogènes véhiculés par les sous-produits. Les actinomycètes et les champignons thermophiles dégradent les sources de carbone complexe comme la cellulose et l'hémicellulose (MUSTIN 1987).

Une estimation par espèces de ces micro-organismes contribuant au compostage et leur action est répertoriée dans le tableau suivant :

Tableau 07 : Microorganismes intervenants lors du compostage (Tahraoui Douma 2013)

Groupes	Caractéristiques et commentaires	Nombre d'espèces
bactéries	- toujours présente dans les composts et largement dominantes en qualité et en quantité. - forte croissance si C/N est faible et l'humidité est élevée. - large spectre d'activité sur une large gamme de pH.	800 à 1000 espèces au minimum.
champignons	- dominants si C/N est élevé (dégradation de la cellulose et de la lignine) - capable de croître avec des taux d'humidité plus bas. - tolérance d'une large gamme de pH (2-9).	Plusieurs dizaines de milliers d'espèces.
actinomycètes	- attaquent des substances non dégradées par les bactéries et les champignons. - neutrophiles - développement dans les phases finales du compost	plusieurs dizaines d'espèces.
algues	- organismes chlorophylliens - retrouvés en surface et dans les premiers centimètres de la couche superficielle. - utilisant des sels minéraux	plusieurs dizaines d'espèces.
protozoaires	- grand groupe hétérogène d'unicellulaires mobiles de petites tailles. - procaryotes proches des bactéries. - abondance avec une activité des bactéries.	plusieurs dizaines.

7.1 Les bactéries :

Se sont parmi les micro-organismes principaux présents dans les composts. Ils peuvent être psychrophiles, c'est-à-dire qu'ils préfèrent des températures inférieures à 20°C, mésophiles, thermo tolérantes ou thermophiles, préférant respectivement des températures de 20 à 40, de 40 à 60 ou de 60 à 75°C (Yulipriyanto 2001). Les principaux groupes physiologiques de bactéries qui se retrouvent dans les composts : bactéries ammonifiantes, protéolytiques, fixatrices d'azote, cellulolytiques aérobies et anaérobies, amylolytiques, hémicellulolytiques, pectinolytiques. Dans une expérience de dégradation de fumier de cheval, (Kane and Mullins 1973) montrent qu'à 75°C, seuls certains types de bactéries sporulantes, décomposant l'hémicellulose, sont actives, le nombre et la diversité spécifique des actinomycètes et des bactéries thermophiles sont importants entre 50 et 60°C (Insam and de Bertoldi 2007). Elles décomposent activement l'hémicellulose et une grande variété de composés organiques. Lors des phases de refroidissement et de maturation, à des températures allant de 50 à 20°C, le nombre de bactéries thermo tolérantes et mésophiles s'accroît considérablement (MUSTIN 1987)

7.2 Les champignons :

Ce sont les premiers colonisateurs des composts, ils dégradent plus de carbone organique que les bactéries et les actinomycètes. Sont présents dans la biomasse au début du processus (Kaiser, 1983). Les champignons et les bactéries acidophiles sont dominants et actifs dans les déchets organiques frais et aux premiers stages du compostage, de 20 à 40°C. Les champignons thermo tolérants et thermophiles ont un optimum de température de 40 à 50°C,

7.3 Les levures, moisissures et les protozoaires :

ces microorganismes ont été globalement peu étudiés, ils ont été identifiés pendant la première et la dernière phase de compostage(Andrews, Lee, and Trevors 1994). Elles interviennent dans la dégradation des tannins (Deshamps et Leuliliette, 1984) et concurrents aux champignons thermophiles (Campbell et McHardy, 1994).

Liste des références du chapitre II :

1. Adani, F., Genevini, P. L., & Tambone, F. (1995). A New Index of Organic Matter Stability. *Compost Science & Utilization*, 3(2), 25–37. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1995.10701779>
2. Albrecht, R. (2007). Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique [Phdthesis, Université de droit, d'économie et des sciences - Aix-Marseille III]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00174775>
3. Andrews, S. A., Lee, H., & Trevors, J. T. (1994). Bacterial species in raw and cured compost from a large-scale urban composter. *Journal of Industrial Microbiology*, 13(3), 177–182. <https://doi.org/10.1007/BF01584004>
4. Antizar-Ladislao, B., Lopez-Real, J., & Beck, A. J. (2006). Investigation of organic matter dynamics during in-vessel composting of an aged coal–tar contaminated soil using fluorescence excitation–emission spectroscopy. *Chemosphere*, 64(5), 839–847. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.10.036>
5. Barrington, S. (2002). Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresource Technology*, 83(3), 189–194. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00229-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00229-2)
6. Bertoldi M., De,Vallini G. andPera A., (1983). (1983). "The biology of composting: A review". *WasteManagement &Research* 1: 157-176.
7. Blaise LECLERC. (2001). Guide des matières organiques Tome 2. Unithèque. <https://www.unitheque.com/guide-des-matieres-organiques-tome/guide-technique/itab/Livre/20365>
8. Bolan, N. S., Adriano, D. C., Natesan, R., & Koo, B.-J. (2003). Effects of Organic Amendments on the Reduction and Phytoavailability of Chromate in Mineral Soil. *Journal of Environmental Quality*, 32(1), 120–128. <https://doi.org/10.2134/jeq2003.1200>
9. Bresson, L. M., Koch, C., Le Bissonnais, Y., Barriuso, E., & Lecomte, V. (2001). Soil Surface Structure Stabilization by Municipal Waste Compost Application. *Soil Science Society of America Journal*, 65(6), 1804–1811. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.1804>
10. Byakodi, A. S. (2016). A Review on Different Composting Techniques using Waste Sugar Cane and Pressmud Mixtures. *IJSDR*, 1(6), 5. <https://www.ijedr.org/papers/IJSDR1606031.pdf>

11. Cédric FRANCOU. (2003). STABILISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE AU COURS DU COMPOSTAGE DE DECHETS URBAINS : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage—Recherche d'indicateurs pertinents [INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON]. https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00000788/file/These-Cedric_Francou.pdf
12. Charnay, F. (2005). Compostage des déchets urbains dans les pays en développement: Élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2005LIMO0035>
13. Cotxarrera, L., Trillas-Gay, M. I., Steinberg, C., & Alabouvette, C. (2002). Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress *Fusarium* wilt of tomato. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(4), 467–476. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00205-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00205-X)
14. Crecchio, C., Curci, M., Pizzigallo, M. D. R., Ricciuti, P., & Ruggiero, P. (2004). Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(10), 1595–1605. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.016>
15. Eklind, Y., & Kirchmann, H. (2000). Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. I: Carbon turnover. *Bioresource Technology*, 74(2), 115–124. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00004-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00004-3)
16. Francou, C. (n.d.). Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage—Recherche d'indicateurs pertinents. 290.
17. Gotaas, H. B. (1959). Compostage et assainissement. Genève : Organisation mondiale de la Santé. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41086>
18. Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, N., Cherif, A., Cherif, M., & Boudabous, A. (2001). Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 80(3), 217–225. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00065-7)
19. Insam, H., & de Bertoldi, M. (2007). Chapter 3 Microbiology of the composting process. In *Waste Management Series* (Vol. 8, pp. 25–48). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1478-7482\(07\)80006-6](https://doi.org/10.1016/S1478-7482(07)80006-6)

20. Kane, B. E., & Mullins, J. T. (1973). Thermophilic Fungi in a Municipal Waste Compost System. *Mycologia*, 65(5), 1087. <https://doi.org/10.2307/3758290>
21. Larsen, K. L., & McCartney, D. M. (2000). Effect of C:N Ratio on Microbial Activity and N Retention: Bench-scale Study Using Pulp and Paper Biosolids. *Compost Science & Utilization*, 8(2), 147–159. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2000.10701760>
22. Leslie Cooperband. (2002). The Art and Science of Composting—A resource for farmers and compost producers. Center for Integrated Agricultural system. <https://www.iowadnr.gov/Portals/idnr/uploads/waste/artandscienceofcomposting.pdf>
23. McKinley, V. L., & Vestal, J. R. (1985). Effects of different temperature regimes on microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge. *Canadian Journal of Microbiology*, 31(10), 919–925. <https://doi.org/10.1139/m85-172>
24. MUSTIN, M. (1987). Le compost : Gestion de la matière organique / Michel Mustin. Editions François Dubusc. Paris. <http://www.citet.nat.tn/Portail/doc/SYRACUSE/5321/le-compost-gestion-de-la-matiere-organique-michel-mustin>
25. Mustin, M. (1999). Le compost : Gestion de la matière organique. Editions François Dubusc.
26. Nadia Ramdani. (2015). Transformation de la matière organique au cour du co-compostage de boues des stations d'épuration et des déchets verts [Université d'Oran,Ahmed Ben Bella]. <https://theses.univ-oran1.dz/document/11201550t.pdf>
27. Pascual, J. A., Hernandez, T., Garcia, C., & Ayuso, M. (1998). Enzymatic activities in an arid soil amended with urban organic wastes: Laboratory experiment. *Bioresource Technology*, 64(2), 131–138. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00171-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00171-5)
28. Rynk, R., Kamp, M., Willson, G., Singley, M., Richard, T., Kolega, J., Gouin, F., Laliberty, L., Kay, D., Murphy, D., Hoitink, H., & Brinton, W. (1992). On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, NRAES-54, Ithaca, New York., https://www.researchgate.net/publication/238283750_On-Farm_Composting_Handbook#fullTextFileContent
29. Serra-Wittling, C., Houot, S., & Alabouvette, C. (1996). Increased soil suppressiveness to Fusarium wilt of flax after addition of municipal solid waste compost. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(9), 1207–1214. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(96\)00126-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(96)00126-5)

30. Sharma, V. K., Canditelli, M., Fortuna, F., & Cornacchia, G. (1997). Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: Review. *Energy Conversion and Management*, 38(5), 453–478. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(96\)00068-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(96)00068-4)
31. Soumaré, M., Tack, F. M. G., & Verloo, M. G. (2003). Characterisation of Malian and Belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application. *Waste Management*, 23(6), 517–522. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00067-9)
32. Strom, P. F. (1985). Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. *Applied and Environmental Microbiology*, 50(4), 899–905. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC291766/>
33. Tahraoui Douma, N. (2013). Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef, Algérie [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2013LIMO4038>
34. Tiquia, S. M., & Tam, N. F. Y. (1998). Composting of spent pig litter in turned and forced-aerated piles. *Environmental Pollution*, 99(3), 329–337. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00024-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00024-4)
35. Tuomela, M. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: A review. *Bioresource Technology*, 72(2), 169–183. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00104-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00104-2)
36. Vinhal-Freitas, I. C., Wangen, D. R. B., Ferreira, A. de S., Corrêa, G. F., & Wendling, B. (2010). Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 34(3), 757–764. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300017>
37. Yulipriyanto, H. (2001). Emission d'effluents gazeux lors du compostage de substrats organiques en relation avec l'activité microbiologique (nitrification/dénitrification) [Phdthesis, Université Rennes 1]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00654701>
38. Zhang, M., Heaney, D., Henriquez, B., Solberg, E., & Bittner, E. (2006). A Four-Year Study on Influence of Biosolids/MSW Cocompost Application in Less Productive Soils In Alberta: Nutrient Dynamics. *Compost Science & Utilization*, 14(1), 68–80. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2006.10702265>
39. Zorpas, A. A., Arapoglou, D., & Panagiotis, K. (2003). Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production. *Waste Management*, 23(1), 27–35. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00042-9)

MATERIELS ET METHODES ANALYTIQUES

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES ANALYTIQUES

Introduction :

Les expériences de valorisation des déchets dans les PED (pays en voie de développement) ont toujours été des échecs. Cela est dû principalement à l'absence des bases de données sur les déchets, la mauvaise conception et le mauvais choix des techniques de valorisation et la mauvaise gérance des unités de traitement des déchets. En outre, la réussite de la gestion et la valorisation des déchets nécessite la maîtrise des conditions de fonctionnement des procédés de valorisation, cela doit se faire par l'étude de tous les paramètres mis en jeu ; malheureusement ceci est ignoré très souvent par les exploitants. Cette étude a pour but de vérifier la faisabilité et la rentabilité de la valorisation des déchets ménagers par compostage, en prenant en compte tous les facteurs influents : telles que la répartition de la population, la productivité des déchets et leur qualité ...etc.

1. Description de la zone d'étude :

La wilaya d'Oran est un district régional algérien situé dans le nord-ouest du pays avec une superficie totale de 2.114 km² et une population de 1.454.078 en 2008. La wilaya bénéficie d'un climat méditerranéen avec une température moyenne de 34 ° C. Oran est considérée comme le centre économique de l'Algérie, en raison de sa position stratégique importante et des ressources qu'elle détient. La wilaya comprend deux barrages en fonctionnement, un terminal à conteneurs, un terminal pétrolier, 13 cliniques, quatre grande zones industrielles, trois universités et autres. La population d'Oran a connu une augmentation remarquable de 1 454 078 personnes en 2008 à 1 778 824 personnes en 2018(centre des statistiques d'Oran). Cette augmentation est liée à deux facteurs : augmentation du taux de reproduction et augmentation du taux de mutation des gens en raison de diverses activités socio-économiques à Oran.

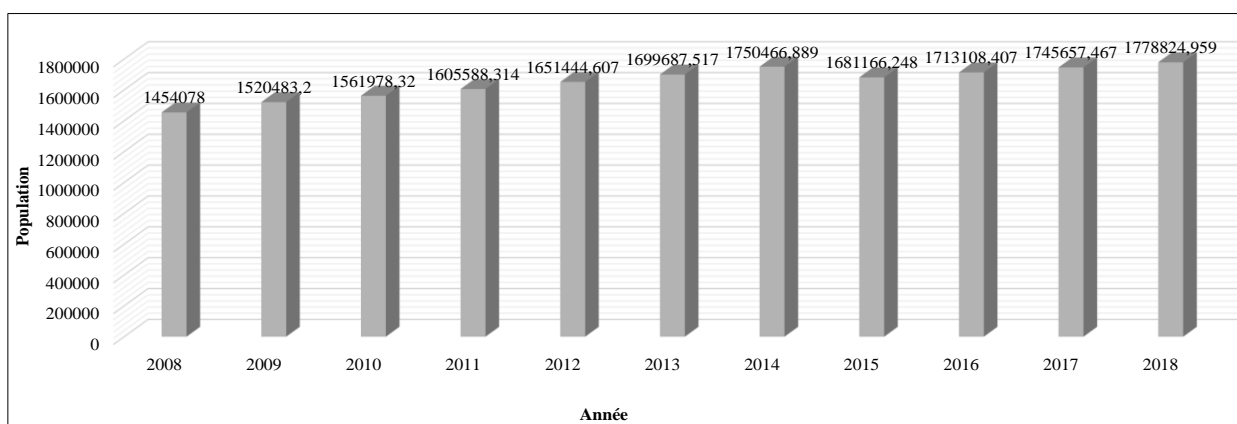


Figure 10 : Evolution de la population de la wilaya d'Oran entre 2008 et 2018(centre des statistiques d'Oran)

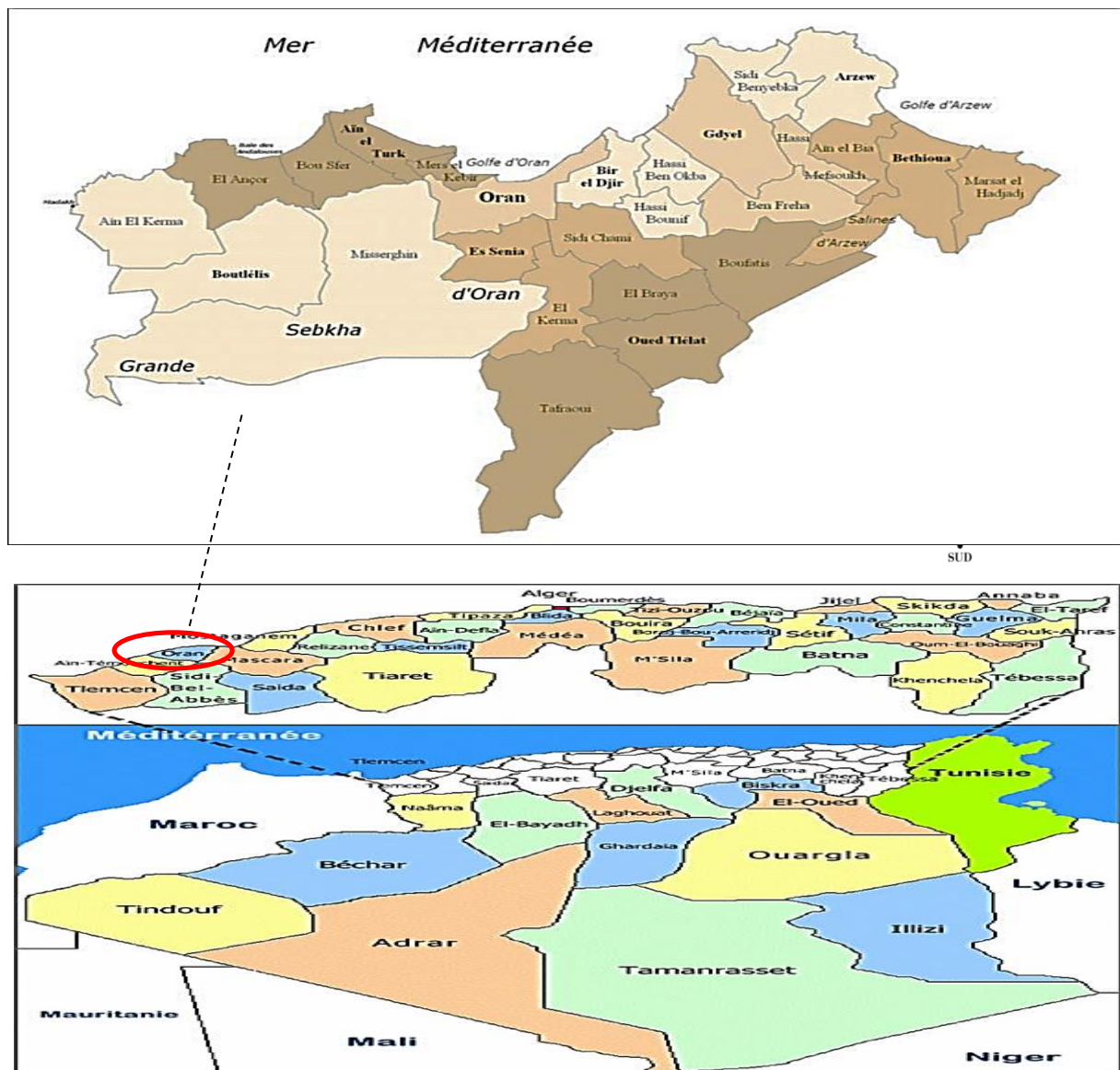


Figure 11 : Présentation géographique et administrative de la wilaya d'Oran (Google images)

1.1 Etat de la gestion des déchets à Oran :

1.1.1. Les installations opérationnelles de traitement des déchets à Oran :

La gestion des déchets à Oran est passée des décharges publiques aux centres d'enfouissement technique en 2011, par l'ouverture et l'exploitation du centre d'enfouissement technique d'el-Ançor, pour les déchets urbains solides, puis le CET de Hassi Bounif en 2012 et ensuite le CET d'Arzew en 2016 pour la même classe des déchets. Les communes desservies par chaque Installation de traitement sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 08 : Communes desservies par les installations de traitement à Oran.

Installation de traitement	Communes desservies
CET El ançor	Ain El Turck, Boutlelis, El Ancor, Mersa El Kebir, Misserghine, Bousfer, Ain El Kerma,
CET Hassi bounif	Oran ,Bir El Djir, Es-Senia, Sidi Chami, El Kerma, HassiBounif, Boufatis, Benfreha, Tafraoui, Oued Tlilat
CET Arzew	Arzew, Sidi Benyebka, Bethioua, Mers El Hadjadj, Ain El Bya, Gdyl, Hassi Mefsoukh

➤ **Centre d'enfouissement d'El Ançor:**



Figure 12 : CET El Ançor, source Google earth, coordonnées 35°40'48''N 0°54'02''W

Tableau 09 : Caractéristiques du CET El Ançor

Superficie	30 hectares
Nombre de casiers	(01) Un seul casier de 300 000 m ³
Date d'exploitation	Mars 2011
Taux de saturation	85%

➤ Centre l'enfouissement de Hassi Bounif:

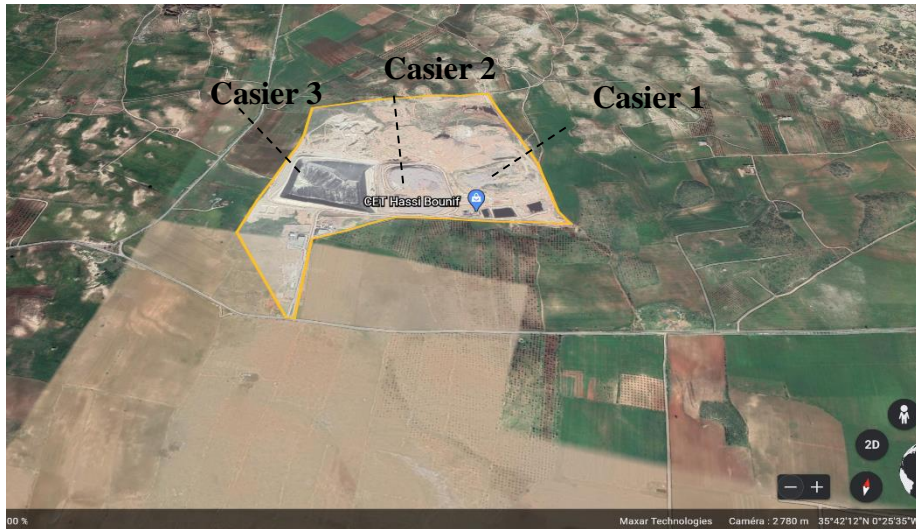


Figure 13 : CET Hassi Bounif, source google earth, coordonnées 35°40'45''N 0°26'47''W

Tableau 10 : Caractéristiques du CET Hassi Bounif

Superficie	85 HA
Nombre de casiers :03	Casier 1 : capacité 1253 896 tonnes , taux de saturation 100% .
	Casier 2 : capacité 540 250 m ³ ,taux de saturation 100%
	Casier 3 : capacité 2109 199 m ³ ,mis en exploitation de 10 février 2021.
Date d'exploitation	2012
Quantité enfouie	Environ 1 674 500 tonnes

Centre d'enfouissement d'Arzew:

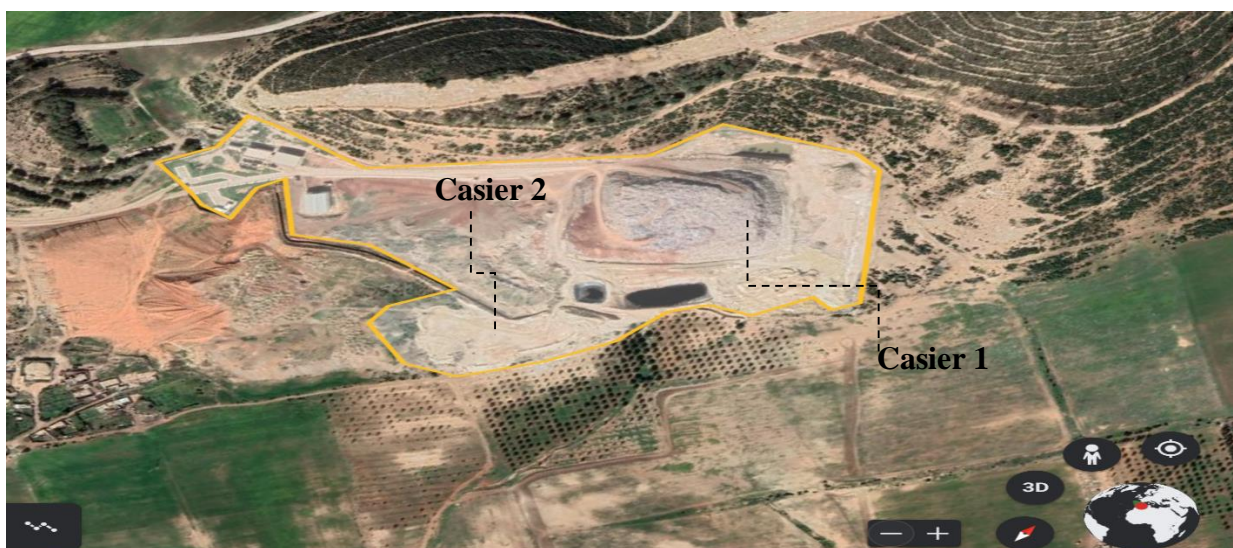


Figure 14 : CET d'Arzew, source Google earth, coordonnées 35°50'29''N 0°22'05''W

Tableau 11 : Caractéristiques du CET d'Arzew

Superficie	08 HA
Nombre de casiers :02	Casier 1 :capacité 96500 m ³ , taux de saturation 100%
	Casier 2 : capacité 540 250 m ³ ,taux de saturation 60 %
Date d'exploitation	Mars 2016
Quantité enfouie	Environ 90 500 tonnes

1.1.2. Les opérateurs de gestions des déchets à Oran :

Tableau 12 : Répartition des opérateurs de gestion des déchets dans la wilaya d'Oran

Activité	Opérateurs	Communes desservie	Coût de la prestation(hors taxes)
Collecte	Services communaux	20 Communes plus des secteurs dans les communes de Bir Eldjir, Oran, Senia, Marsa Elkbir, Sidi Chahmi et El Karma	Non applicable
	EPIC Oran propreté	Des secteurs dans les communes de Bir Eldjir, Oran, Senia, Marsa Elkbir, Sidi Chahmi et El Karma	2400 DA par tonne
Récupération et recyclage	256 opérateurs *	Toute la wilaya	Non applicable
Traitement(enfouissement)	EPIC CET	Communes	800 DA par tonne
		Privé	1000 DA par tonne

* : le nombre des opérateurs de récupération et de collecte présente le nombre total des opérateurs ayant un registre de commerce, principalement pour la récupération des plastiques, des métaux, des verres et des cartons. Toutefois, le nombre exact des opérateurs en activité est inconnu.

2. Caractérisation des déchets ménagers et assimilés :

2.1. Méthode de caractérisation :

La caractérisation des déchets urbains solides est une étape très importante dans le processus global de gestion des déchets, elle permet de construire une base de données qui contient des informations très utiles et un outil efficace pour choisir tel ou tel procédé de valorisation, ainsi que le dimensionnement des unités de traitement et de valorisation. Le choix de la méthode de caractérisation dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont les moyens de l'étude et

les objectifs souhaités. Pour les pays en développement, la méthode la plus répandue est le MODECOM (MODE de Caractérisation des Ordures Ménagères). Ce dernier a été élaboré par l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) en 1993, et actualisé et validé plusieurs fois, il a même donné lieu à des normes AFNOR telle que la norme AFNOR XP X30-411 pour la caractérisation des échantillons. Le MODECOM consiste à trier les déchets d'un échantillon selon leurs tailles et selon leurs catégories. La campagne de caractérisation des déchets selon le MODECOM se déroule en six étapes principales :

2.1.1. Collecte des informations nécessaires à la réalisation d'une campagne de caractérisation : avant de procéder à l'application du MODECOM sur terrain, il faut d'abord recueillir des informations très essentielles pour cibler une zone d'échantillonnage et calculer la masse à trier. L'évolution et la répartition de la population, la quantité des déchets produits, l'impact de la saisonnalité sur le taux de production des déchets, l'organisation de la collecte sont les paramètres les plus importants à analyser.

2.1.2. Calcul de la masse à trier : différentes études ont été faites pour l'identification de la taille de l'échantillon à trier, une masse de 50 kg de déchets compactés peut être représentative pour la caractérisation des déchets enfouis selon (François 2004), par contre (Mohee 2002), (Kathirvale et al. 2004), (M. P. Aina 2006) proposent des échantillons de 120 kg à 300 kg pour avoir des résultats représentatifs et fiables. De même, le MODECOM recommande une masse de 500 kg de déchets secs ou une masse de 200 kg de déchets humides MODECOM, 1993 et ADEME, 2005-b. (Dahmane Sanaâ and Hadjel 2012) proposent l'application de la formule de Bernoulli pour pouvoir calculer la masse de l'échantillon pour une bonne représentativité et fiabilité des résultats obtenus.

$$n = \frac{[(1,96)^2 * N]}{[(1,96)^2 + L^2 * (N-1)]}$$

n : masse de l'échantillon en kg

N : taille de l'univers considéré ici masse totale quotidienne de déchets entrants en kg

L : largeur de la fourchette exprimant la marge d'erreur

Tableau 13 : Estimation de la quantité journalière moyenne des déchets ménagers générés dans la commune de Bir el Djir

Année	Quantité totale des déchets(en tonne)	Population	Quantité journalière par habitant(en kg/j/habitant)	Quantité journalière (en kg/j)
2012(8mois)	26 590,98	216725	0,500794226	108534,6286
2013	56935,86	233630	0,667673918	155988,6575
2014	61666,412	251853	0,670824147	168949,0739

2015	63642,949	271497	0,642232672	174364,2437
2016	59309,76	292674	0,555199619	162492,4933
2017(4 mois)	20322,88	315503	0,536785176	169357,3334
Quantité journalière moyenne des déchets ménagers générés (kg par jour)				156614,4051

Après avoir recueillis toutes les informations nécessaires, la masse à trier a été calculée à l'aide du logiciel Excel en changeant la valeur de L de 0.1 jusqu'à 1, à cause du manque d'informations sur la valeur exacte de la marge d'erreur à prendre en considération.

Tableau 14 : Calcul de la masse des déchets à trier.

Quantité journalière (en kg/j)	L	masse à traiter	masse après quartage kg
156614,4	0,01	30851,72015	7712,930038
156614,4	0,02	9049,358859	2262,339715
156614,4	0,03	4155,268465	1038,817116
156614,4	0,04	2364,776651	591,1941626
156614,4	0,05	1521,725357	380,4313394
156614,4	0,06	1059,899138	264,9747846
156614,4	0,07	780,1014796	195,0253699
156614,4	0,08	597,9629842	149,4907461
156614,4	0,09	472,8433216	118,2108304
156614,4	0,1	383,2228307	95,80570768
156614,4	0,2	95,98177908	23,99544477
156614,4	0,3	42,67309153	10,66827288
156614,4	0,4	24,00647452	6,001618631
156614,4	0,5	15,36499122	3,841247804
156614,4	0,6	10,67045253	2,667613132
156614,4	0,7	7,839657791	1,959914448
156614,4	0,8	6,002308387	1,500577097
156614,4	0,9	4,742602783	1,185650696
156614,4	1	3,841530348	0,960382587

La masse des déchets à trier est 380.5 kg.

2.1.3. Préparation des tables de tri : la préparation des tables de tri a été faite en collaboration avec l'entreprise EXO-SAFE, la réalisation des tables de tri est passée par trois étapes :

I. Conception : en respectant les directives du MODECOM pour la caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les pays en développement, les tables de tri ont été conçues pour trier les déchets sélectionnés selon leurs tailles à travers trois cribles de dimensions différentes, et selon la catégorie des déchets comme décrit par le MODECOM et la guideline de AFNOR XP X30-411 (figure 15 et 16).

II. Modélisation, simulation et optimisation : à l'aide de l'outil SolidWorks, cette étape consistait principalement à choisir la meilleure forme, les meilleures dimensions et la tôle utilisée pour pouvoir construire des tables de tri qui peuvent résister à un poids de 500 kg. Cette étape a démontré que la meilleure forme est la forme rectangulaire de trois tables et un récupérateur superposés de deux (02) mètres de long et un (01) mètre de large comme représenté dans la figure 15 et la figure 16. Avec la tôle en acier allié ayant les caractéristiques indiquées dans la (figure 17).

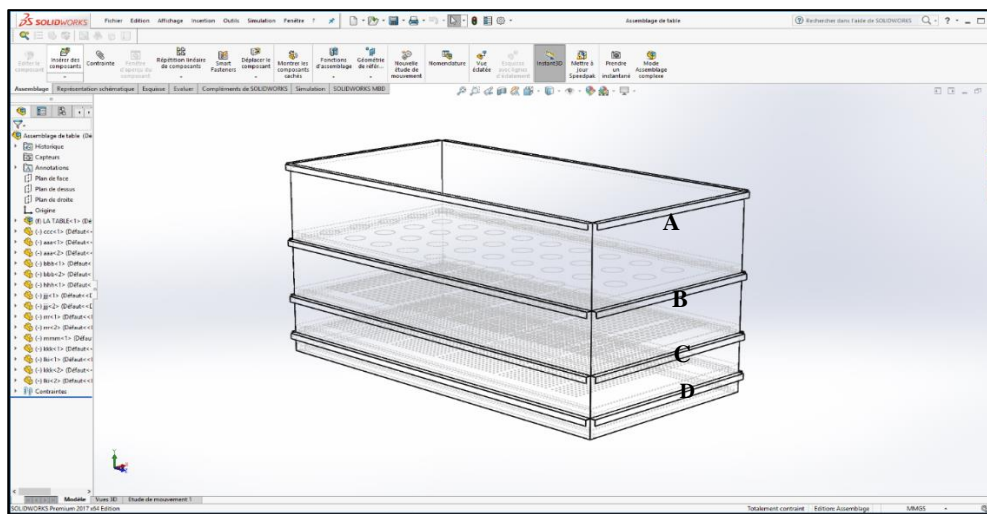


Figure 15 : Résultat de la modélisation, simulation et optimisation des tables de tri

A : table à crible de 100 mm

B : table à crible de 20 mm

C : table à crible e 08 mm

D : récupérateur des déchets inférieurs à 08 mm

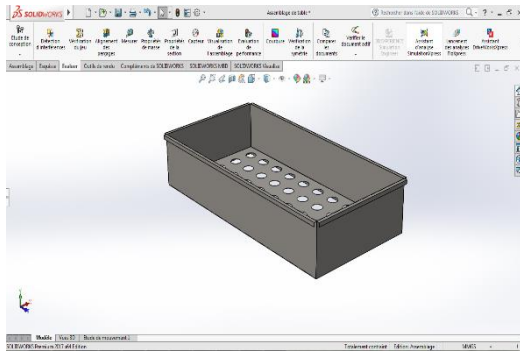


Table A (100 mm)

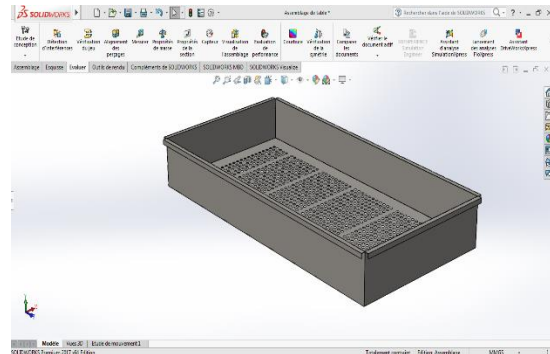


Table B (20 mm)

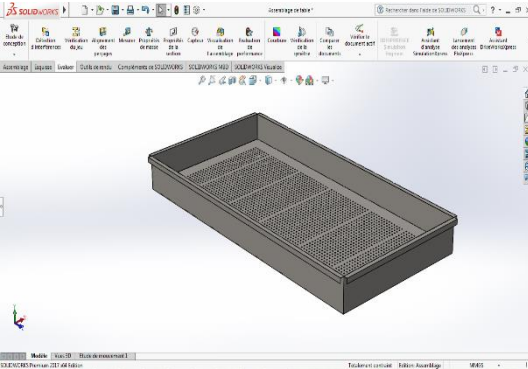
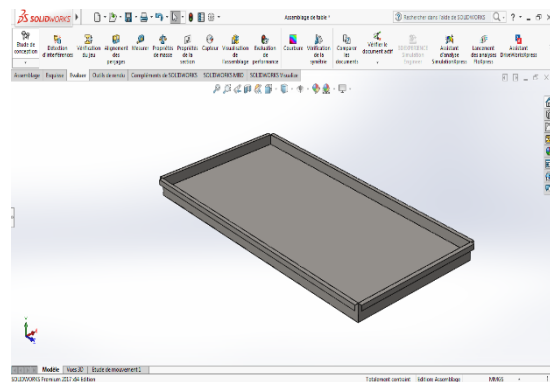


Table C (08 mm)



Récupérateur

Figure 16 : Détails des tables modélisées

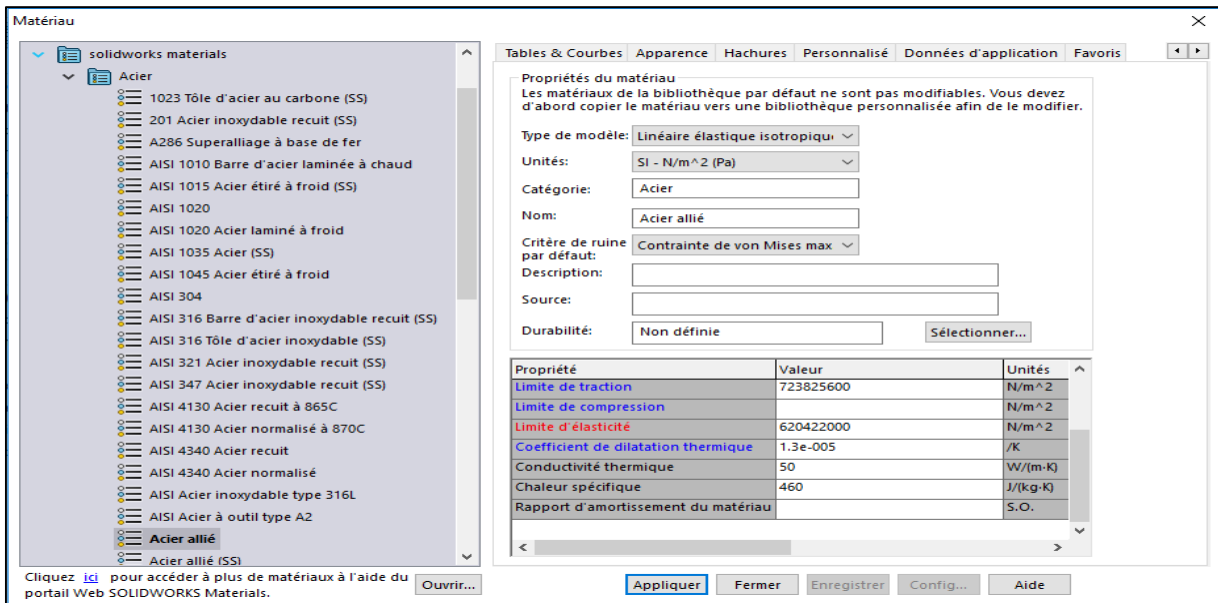


Figure 17 : Caractéristiques du matériau de fabrication des tables de tri.

III. Réalisation : la réalisation des tables de tri a été faite au sein de l'atelier de fabrication de l'usine EXO-SAFE, les trous des cribles des tables B et C ont été fait avec une tronçonneuse simple avec deux mèches, l'une de 20 mm et l'autre de 08 mm. Les trous du crible de la table A ont été fait à l'aide d'une tronçonneuse plasma 1800 °C (figure 18) ; pour plus de précision et de perfection.



Figure 18 : Réalisation du crible de la table A à l'aide d'une tronçonneuse plasma

2.2 Organisation des campagnes de caractérisation : cette étape consiste à faciliter le déroulement de la caractérisation à partir des informations recueillies précédemment essentiellement par : découpage de la zone d'étude, choix des périodes d'échantillonnage, détermination du nombre d'échantillons à prélever et choix des bennes-tasseuses de collecte à échantillonner. Pour avoir des résultats représentatifs, la caractérisation des déchets doit se faire pendant deux années successives (Tahraoui Douma 2013).

L'enquête réalisée sur les circuits de collecte des déchets et la participation à un circuit de collecte ont permis de choisir les camions sources des échantillons, ainsi que leur temps d'arrivée au du CET de Hassi Bounif où les campagnes de caractérisation ont été faites. La zone d'étude est la commune de Bir el Djir ; elle a été découpée en trois régions (figure 19) : est, centre et ouest. Pour chaque région un camion est choisi, en appliquant le critère de choix, qui est de servir un secteur polyvalent : collectivités, activité commerciale, types d'habitants et modes de vie multiple pour avoir un échantillon représentatif. Les camions choisis pour l'étude arrivent tous avant midi et ont tous une capacité de 12 tonnes.



Figure 19 : Découpage de la zone d'étude

Après avoir découpé la zone d'étude et choisi les camions d'échantillonnage, quatre double campagnes ont été programmées, deux campagnes pour chaque saison, et se sont déroulées comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Programme des campagnes de caractérisation.

Campagne	Période
C1	Hiver 2017/2018/2019
C2	Printemps 2018 /2019
C3	Eté 2018*
C4	Automne 2018/2019

* : la troisième campagne a été faite pendant et après le mois de Ramadhan.

Lors de leur arrivée au CET de Hassi Bounif, l'échantillonnage est prélevé de trois zones de chaque camion comme indiqué dans la figure 20 :

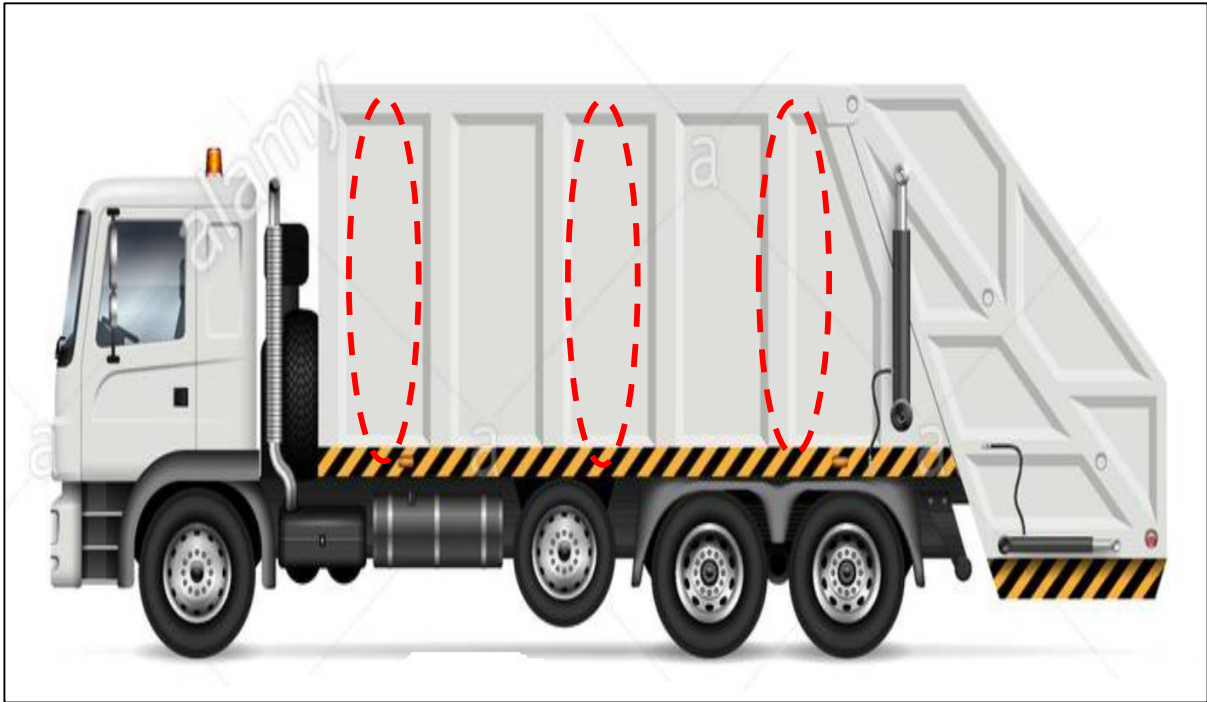


Figure 20 : Mode de prise d'échantillon d'un camion

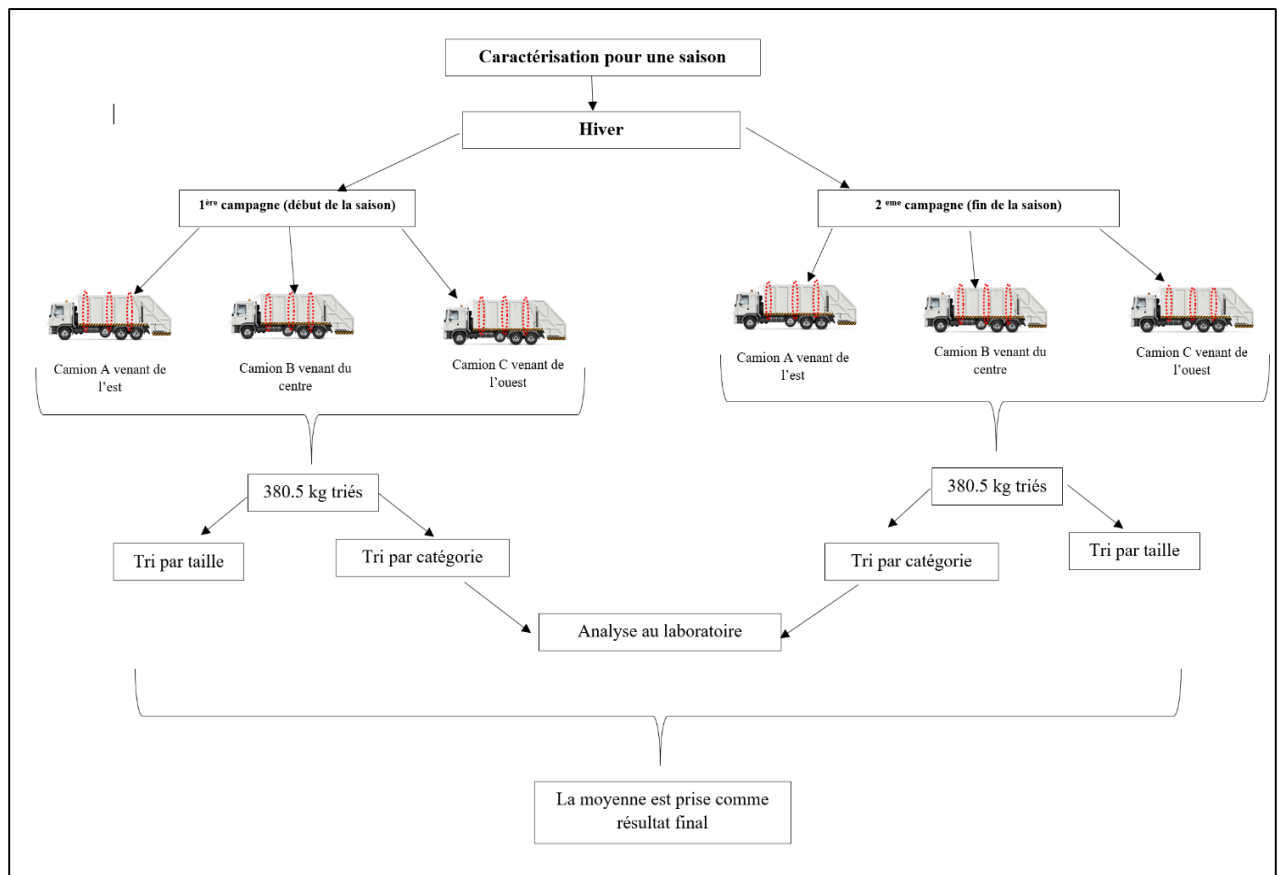


Figure 21 : Schéma d'échantillonnage et caractérisation des déchets pour une saison

Les quatre campagnes de caractérisation ont permis de constituer un total de 24 échantillons d'une masse de 380.5 kg chacun avant le quartage, et huit (08) échantillons après le quartage d'où la taille de l'échantillon trié pour chaque campagne est 380.5 kg calculée précédemment (figure 21).

Pour la campagne de caractérisation du mois de *Ramadhan*, une quantité de 200 kg a été triée, vu la difficulté et la particularité de la saison. Le jeûne et les conditions climatiques et les conditions de travail ont rendu difficile le tri de toute la quantité calculée. Cependant, la littérature confirme la représentativité des résultats de tri de 200 kg de déchets.

2.3. Tri des échantillons : le tri peut être effectué selon deux modes : soit sur place par tri des échantillons bruts selon les normes NF XP X30-408 et NF XP X 30 416, à condition de disposer d'un local couvert et propre (bétonné), soit après séchage à 80 °C selon la norme NF XP X30-466.

Le tri par taille est réalisé par criblage d'une masse de 20 kg à travers les cribles des tables de tri (figure 15 et 16). La répartition de la granulométrie est calculée après avoir terminé le criblage de la totalité de la masse de l'échantillon.

Le tri par catégorie selon le MODECOM vise à déterminer la composition des déchets ménagers bruts par leur classement en 13 catégories suivantes : déchets putrescibles, papiers, cartons, composites, textile, textiles sanitaires, plastiques, CNC (combustibles non classés), verres, métaux, INC (incombustibles non classés), déchets ménagers spéciaux, déchets fins (8mm<diamètre <20mm), et déchets ménagers ultra fins (diamètre <8mm).

2.4. Analyses physicochimiques au laboratoire : la connaissance des caractéristiques physicochimiques est primordiale au cours de la caractérisation des déchets, non seulement pour connaître leurs pouvoirs polluants, mais aussi pour choisir la filière de traitement adéquate.

- **La masse volumique :** la connaissance de la masse volumique des déchets est essentielle pour optimiser le choix des moyens de collecte, ainsi que le dimensionnement des unités de traitements (Aloueimine 2006), (Dahmane Sanaâ and Hadjel 2012) , (Tahraoui Douma 2013). Sa valeur est plus élevée dans les pays en développement que dans les pays industrialisés, cela est lié à l'abondance de la fraction fermentescible par rapport aux autres fractions dans le gisement des déchets (Charnay 2005).

Contrairement aux autres caractéristiques analysées au laboratoire, la masse volumique est mesurée directement sur site par pesage de la masse d'un seau de 50 litres en tenant compte de la masse du seau vide. La masse volumique est le rapport de la masse du seau rempli moins la masse du seau vide et le volume du seau :

$$\text{Masse volumique (kg/l)} = (\text{masse du seau rempli} - \text{masse du seau vide}) / 50$$

- **Le taux d'humidité :** il représente le taux de l'eau libre contenue dans les déchets, c'est une caractéristique très importante pour connaître le pouvoir de lixiviation des déchets. Ainsi il permet d'estimer la possibilité de valorisation énergétique sans avoir besoin de calculer le pouvoir calorifique des déchets (Ngnikam and Tanawa 2006), (Hiligsmann et al. 2002a), il permet aussi de déterminer le bilan hydrique des centres de stockage (Mezouari-Sandjakdine 2011).

Le taux d'humidité est déterminé après le séchage d'une masse de 100 g à 105 °C selon la norme Afnor NF U 44-171. La masse nette de 100g est placée dans un récipient préalablement pesé puis l'ensemble est placé dans l'étuve à la température indiquée.

Le taux d'humidité est déterminé grâce à la formule suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{\text{Masse initiale (barquette + déchet)} - \text{masse finale (barquette + déchets)}}{\text{Masse initiale (barquette + déchet)} - \text{masse (barquette)}} * 100$$

• **La teneur en matière organique** : La connaissance de la teneur en matière organique permet d'estimer la rentabilité de la valorisation par biodégradation des déchets, soit pour la production du biogaz ou bien pour la production du compost (Dahmane Sanaâ and Hadjel 2012). Toutefois, la teneur en matière organique obtenue par calcination ne représente pas 100 % de molécules organiques biodégradables, la perte au feu peut mesurer les composés organiques réfractaires à la biodégradation comme les polymères, les agents lessiviels, le bois, le cuir etc (Tahraoui Douma 2013).

Cette caractéristique est déterminée après calcination des déchets à 550 °C comme décrit par la norme Afnor NF U 44-160. Une masse de 50 g de chaque catégorie est découpée en petits morceaux puis placée dans un creuset en céramique préalablement pesé. L'ensemble (creuset+déchet) est ensuite pesé puis placé dans le four. Après calcination à 550 °C, les creusets sont sortis du four et placés au dessiccateur avant d'être de nouveau pesés. La teneur en matière organique est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$\text{MO (\%)} = \frac{\text{masse initiale (creuset+déchet)} - \text{masse finale (creuset +déchets)}}{\text{masse initiale (creuset +déchet)} - \text{masse (creuset)}} * 100$$



Figure 22 : Séchage des échantillons



Figure 23 : Incinération des échantillons

• **Le pH** : la connaissance de la valeur du pH permet de connaître le degré d'acidité des déchets, c'est donc est un paramètre clé pour le choix du mode de traitement, ainsi que la conception des casiers en cas de leur enfouissement. Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH mètre selon la méthode EPA 9045D. ("9045d.Pdf" n.d.)

Une quantité de 20 g d'échantillon de déchets a été découpée en petits morceaux puis placée dans un bécher de 50 ml, 20 ml d'eau distillée ont été rajoutées, le bécher a été couvert puis placé sur une plaque chauffante à 30 °C, muni d'un agitateur magnétique pendant 5 minutes. Des

dilutions supplémentaires ont été réalisées au besoin. La suspension a été laissée au repos pendant environ

15 minutes pour permettre à la plupart des déchets en suspension de se décanter dans la suspension pour la mesure du pH.

3. Compostage des déchets :

Suite à l'étude bibliographique, la technique utilisée pour le compostage des déchets est le compostage en andains triangulaires avec aération et retournement systématique. Les recherches réalisées par (Souabi et al. 2005), (M. Aina et al. 2012), (Tahraoui Douma 2013) ont montré que c'est la technique la plus répandue dans le monde pour le compostage des différents types de déchets. Ainsi, il est nécessaire d'étudier les différentes conditions de compostage tels que : la nature et la composition du substrat, la fréquence des retournements et les apports en eau. La revue de la littérature indique que pendant la phase thermophile, le retournement est essentiel non seulement pour l'apport en oxygène mais aussi pour maintenir la température et refroidir le substrat afin d'éviter la surchauffe (Mustin 1999) , (Awasthi et al. 2015), (Wang et al. 2017), (Ince et al. 2020). Pour cela, nous avons opté pour une fréquence de retournement journalière au début du processus et au cours de la phase thermophile, puis hebdomadaire pendant la phase de refroidissement et de maturation.

3.1. Nature des substrats et préparation de la biomasse :

Les substrats utilisés dans cette étude se composaient de différents types de déchets, chacun venant d'une source différente. L'objectif était d'étudier le procédé de biodégradation de plusieurs types de déchets et plus particulièrement les déchets ménagers qui sont les plus générés en Algérie ; ceci nous permettra de mieux comprendre le phénomène de compostage, et de vérifier la faisabilité de la valorisation par compostage de tous ces types de déchets.

Le tableau 16 résume la composition et la source de chaque type de déchets :

Tableau 16 : Composition et sources des substrats à composter.

SUBSTRAT	COMPOSITION	SOURCE
A1	Déchets verts	Marché de gros (fruits et légumes) d'el Karma, Oran
A2	Marc du café	Cafeterias et salons de thé à Bir-el-Djir, Oran
A3	Humus	Pépinière de Hassi Bounif, Oran
A4	Déchets ménagers	fraction putrescible issue de la caractérisation des déchets ménagers et ayant des dimensions supérieurs à 20mm.
A5	Déchets fins $8 < f < 20$	Fraction des déchets issue de la caractérisation des déchets ménagers et ayant des dimension entre 8mm et 20mm .
A6	Déchets très fins $f < 8\text{mm}$	Fraction des déchets issue de la caractérisation des déchets ménagers et ayant des dimension inferieures 8mm

3.1.1. Préparation de la biomasse :

Pour les substrats A4, A5 et A6, les biomasses ont été préparées directement après avoir terminé la caractérisation des déchets au niveau du CET Hassi Bounif, les substrats ont été récupérés, puis acheminés vers la pépinière de Hassi Bounif située à six (06) km à l'ouest du CET suscité. Chaque substrat a été bien mélangé, puis mis en forme d'un andain triangulaire sur une plateforme en terre couverte d'une bâche en plastique.

Une quantité de 30 kg du substrat A2 a été récupérée des cafeterias de la commune de Bir el Djir, criblée pour éliminer les impuretés et les indésirables, mélangée avec une quantité de 10 kg d'herbe broyé pour maintenir le ratio C/N nécessaire, puis mis en andains.

L'humus (A3) a été récupéré de la pépinière et mis en andain sur place sans rien y ajouter.

Les déchets verts (A1) ont été compostés en collaboration avec le marché de gros d'el Karma qui produit le compost des déchets verts, cette étape consistait principalement à les aider à étudier le phénomène de compostage des déchets verts produits au niveau du marché dans le but d'optimiser le processus. Contrairement aux autres substrats qui ont été tous préparés et compostés au même endroit, les déchets verts ont fait l'objet d'une étude séparée au niveau de la plateforme du parking du marché de gros d'el karma. Le substrat a été préparé à base des déchets verts issus de l'activité du marché ; 5.5 tonnes de déchets issus de marché ont été mélangés avec 4.5 tonnes de déchets issus des activités de jardinage soit un total de 10 tonnes de déchets. Les déchets sont ensuite broyés puis mis en andain sur l'aire de compostage.

3.1.2. Choix de la forme et dimensions des andains :

Les dimensions en hauteur et en largeur des andains ont été choisies en fonction des caractéristiques du retourneur. Pour le substrat A1, la hauteur de l'andain ne devait pas dépasser la hauteur de l'espace de travail du retourneur, qui est de 1,40m de haut et de 2,40 m de large.

Pour les autres substrats, le retournement se fait manuellement à l'aide d'une pelle et un râteau, vu que la quantité est maintenable et manipulable manuellement, les andains ont donc été formés en petites dimensions de forme triangulaire d'un (01) mètre de largeur et (0.6) mètre de hauteur. Le substrat A6 a été composté en forme d'andain statique, vu que sa petite quantité n'a pas permis de former un andain triangulaire.

3.2. Suivi des paramètres du compostage et caractéristiques des substrats au cours de la biodégradation :

3.2.1. Prélèvement et suivi de la température : La température est considérée comme un paramètre principal de suivi de la biodégradation aérobie des substrats. La température a été mesurée par prélèvement direct à l'aide d'un thermomètre électronique, tous les vingt (20) jours à trois endroits différents (le front, le milieu et l'arrière) de chaque andain et à différentes profondeurs (le haut, le milieu et le bas) (Figure 24). La valeur retenue est la moyenne de 9 mesures effectuées pour chaque andain.

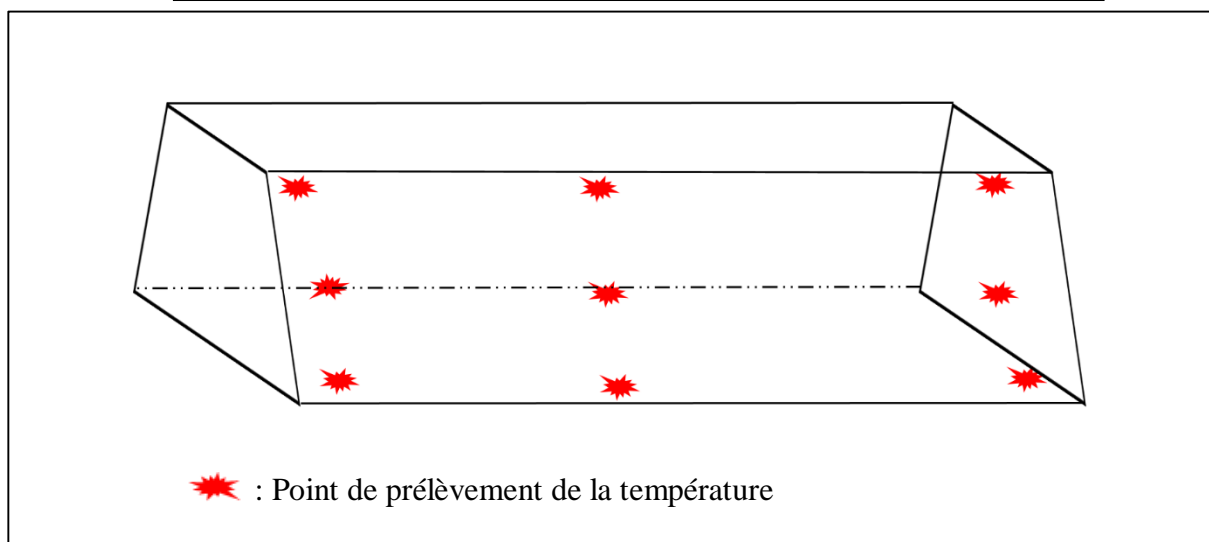


Figure 24 : Points de prélèvement de la température des andains.

3.2.2. Suivi des caractéristiques physicochimiques et microbiologiques :

3.2.2.1. Échantillonnage :

Le suivi du processus de biodégradation consistait à déterminer un certain nombre de caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques mentionnées dans (tableau 17).

Ces caractéristiques ont été déterminées à partir des substrats dans leur état initial, des andains au cours du compostage et à partir des produits finis à la fin du processus du compostage. Des prélèvements pour chaque andain au cours du compostage ont été effectués sur trois zones ; l'avant, le milieu et l'arrière, afin de garantir une meilleure représentativité des résultats,

Pour plus de précision pour chaque prélèvement, trois autres sous-échantillons ont été prélevés et analysés.

Les valeurs moyennes ont été utilisées pour l'analyse finale faite à l'aide de l'EXCEL 2010.

3.2.2.2. Caractéristiques physicochimiques :

3.2.2.2.1. Teneur en humidité :

La teneur en humidité est une caractéristique très importante de suivi du processus de biodégradation, selon la littérature, elle est jugée correcte entre 40% et 60% pendant la phase mésophile et thermophile. Ainsi, c'est un indice de maturité du compost où le substrat devient plus sec. La détermination de la teneur en humidité est faite par deux méthodes : test in-situ et test in-vitro.

• **Test in-situ** : Ce test consiste à presser entre les mains un échantillon de substrat prélevé au cœur de l'andain. En effet, si l'eau coule entre les doigts, l'humidité dépasse sensiblement 50%. Elle est jugée correcte si la main est légèrement mouillée. En revanche, si elle est quasi sèche, la teneur en eau est insuffisante et un arrosage est recommandé (Chenni, Maghlouche, and Bekdouche 2013).

• **Test in-vitro** : la teneur en humidité est déterminée après le séchage d'une masse de 100 g à 105 °C selon la norme ISO 11465 :1993. La masse nette de 100g est placée dans un récipient préalablement pesé, puis l'ensemble est placé dans l'étuve à la température indiquée pendant 24 heures.

Le taux d'humidité est déterminé grâce à la formule suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{\text{Masse initiale (barquette + substrat)} - \text{masse finale (barquette + substrat)}}{\text{Masse initiale (barquette + substrat)} - \text{masse (barquette)}} * 100$$

3.2.2.2. La masse volumique : la masse volumique est déterminée par pesage de la masse d'un bécher de 100 ml rempli en tenant compte de la masse du bécher vide. La masse volumique est le rapport de la masse du bécher rempli moins la masse du bécher vide et le volume du bécher :

$$\text{Masse volumique (kg/l)} = \frac{\text{Masse initiale (barquette + substrat)} - \text{masse finale (barquette + substrat)}}{0.1}$$

3.2.2.2.3. La matière organique : La teneur en matière organique représente le pourcentage total des composés organiques ;biodégradables et synthétiques ; (Tahraoui Douma 2013). Le taux de la matière organique est déterminé après le séchage de l'échantillon. Il est obtenu par calcination d'un échantillon de 10 g à 550°C pendant six heures selon les directives de la norme Afnor NF U 44-160. 10 g du substrat sont placés dans un creuset en céramique préalablement pesé. L'ensemble (creuset +substrat) est ensuite pesé puis placé dans le four. Après calcination à 550 °C, les creusets sont sortis du four et placés au dessiccateur avant d'être de nouveau pesés. La teneur en matière organique est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$\text{MO (\%)} = \frac{\text{masse initiale (creuset+ substrat)} - \text{masse finale (creuset + substrat)}}{\text{masse initiale (creuset +substrat)} - \text{masse (creuset)}} * 100$$

3.2.2.2.4. Carbone organique : sa détermination permet d'estimer la teneur en matière organique biodégradable des engrais et amendements (Giroux 2004). Le carbone organique a été déterminé à partir de la teneur en matière organique avec l'application de facteur 0,2 comme recommandé par ("Composts - BNQ" 1996) , (Chakroune, Bouakka, and Hakkou 2005).

Le carbone organique est égal donc à la moitié de la teneur en matière organique total :

$$C.O (\%)= MO (\%)/2$$

3.2.2.2.5. Acidité : Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH mètre selon la méthode EPA 9045D.('9045d. 2004'). Une quantité de 20 g d'échantillon de chaque substrat a été placée dans un bécher de 50 ml, 20 ml d'eau distillée a été rajoutée, le bécher a été couvert puis placé sur une plaque chauffante à 30 °C muni d'un agitateur magnétique pendant 30 minutes. La suspension a été laissée reposer pendant environ une heure pour permettre à la plupart des particules en suspension de décanter de la suspension pour la mesure du pH qui a été faite directement sur un pH-mètre à électrode combinée.

Tableau 17 :Récapitulatif des caractéristiques physicochimiques, microbiologiques , méthodes d'analyse et instruments de mesure

<i>Caractéristiques physicochimiques</i>				
<i>Paramètres</i>	Source de l'échantillon	Instrument de mesure	Méthode	Unité
<i>Temperature</i>	- Substrat initial -au cours du compostage - produit fini	Thermomètre digital	-----	°C
<i>Teneur en eau</i>		Étuve	ISO 11465:1993	Pourcentage massique %
<i>pH</i>		pH mètre digital	EPA 9045D	-----
<i>Matière organique (MO)</i>		Four	Afnor NF U 44-160	Pourcentage massique %
<i>Masse volumique</i>		Balance électronique	Pesage	kg/l
<i>Métaux lourds</i>	- Produit fini	Spectrophotomètre	NF X 31-151	ppm
<i>Macronutriments</i>		Spectrophotomètre	Sspectroscopie d' absorption atomique	mg/kg échantillon sec
<i>Caractéristiques microbiologiques</i>				
<i>Microorganisme</i>	Source de l'échantillon	Conditions : milieu de culture, temps et température d'incubation (Ahmed et al., 2007)		Unité
<i>Aérobic bacilli</i>	Substrat initial -Au cours du compostage - Produit fini	Plate count agar incubation pendant 10 min à 80°C puis 72hours at 30 °c		(CFU/g échantillon sec)
<i>Total aérobic mesophiles</i>		Pate count agar incubation pendant 72hours à 30 °c		
<i>Yeast and molds</i>		Potato dextrose agar incubation pendant 72hours à 30 °c		
<i>Salmonella and shigella</i>		Lactose broth incubation pendant 72hours à 30 °c		

3.2.2.2.6. Métaux lourds et Eléments fertilisants : les métaux lourds et les éléments fertilisants ont été analysés dans un laboratoire étranger par spectrométrie d'absorption atomique. Les résultats ont été obtenus directement du laboratoire sans y avoir participé à la manipulation. Les caractéristiques de l'équipements sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 18 : caractéristique su spectrophotomètre

Instrument	ICPE-9000
Fréquence de sortie Radio	2.1(KW)
Débit de gaz plasma	14 (l/min)
Débit de gaz auxiliaire	1.2 (l/min)
Débit de gaz vecteur	0.7 (l/min)
Exemple de présentation	Nébuliseur coaxial
Chambre de nébulisation	Chambre cyclonique
Torche à plasma	Torche pour haute concentration en sel
Orientation de la vue	Axial/ radial

3.2.2.3. Caractéristiques microbiologiques :

3.2.2.3.1 Préparation de l'eau physiologique : l'eau physiologique a été préparée à 90% ; pour permettre aux microorganismes de se déplacer vers la solution salée ; pour cela, 9g de NaCl ont été dissous dans un (01) litre d'eau distillée, la solution a été ensuite agitée pendant 10 min à température ambiante. Des tubes à essais en verre de 10 ml préalablement lavés et séchés ont été remplis à 9 ml avec la solution, fermés et stérilisés dans un autoclave à 125 °C pendant 20 minutes (figure 25).

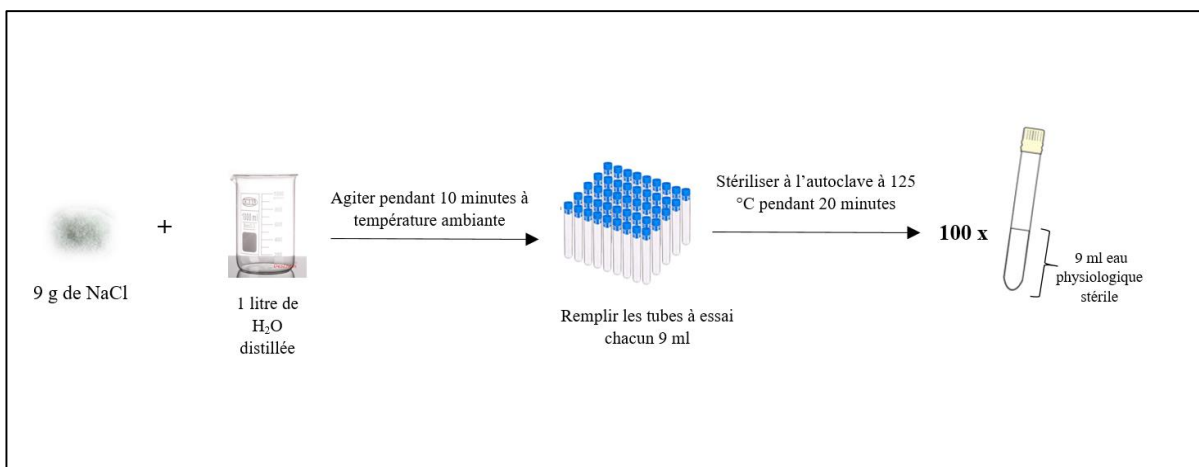


Figure 25 : Préparation de l'eau physiologique

3.2.2.3.2 Préparation des milieux nutritifs :

Les milieux nutritifs ont été préparés par dissoudre une quantité de l'agar dans 100 ml d'eau distillée comme indiqué par le fournisseur, le mélange a été porté à l'ébullition sur une plaque chauffante munie d'un agitateur magnétique, puis stérilisé à la température indiquée pendant 15 minutes (tableau 18). Le milieu stérile est ensuite versé et étalé sur des boîtes de pétri jetables à l'aide d'un étaloir sous une hotte à flux laminaire et laissé pendant 24 heures sous la hotte.

Tableau 19 : Préparation des milieux nutritifs.

Milieu	Quantité de l'agar (g)	Température de stérilisation °C
Gélose pour comptage de plaques	1.7	115
Gélose pomme de terre	3.9	115
Bouillon au lactose	1.3	121

3.2.2.3.3 Réalisation des dilutions et incubation :

Un (01) mg de chaque substrat a été déposé dans un tube à essai contenant 9 ml d'eau physiologique stérile, puis, à l'aide d'une micropipette de 1ml, des dilutions ont été faites sous la hotte à flux laminaire avec précautions et avec agitation avant prélèvement et changement de l'embout de la micropipette à chaque fois ; comme expliqué dans la (figure 26). Un prélèvement de 0.1ml a été fait pour chaque tube à l'aide d'une micropipette de 0.1ml, puis étalé sur une boîte de pétri à l'aide d'un râteau d'étalement contenant un milieu nutritif spécifique. Ce qui correspond à 36 boîtes de pétri pour chaque substrat, soit un total de 216 boîtes de pétri, chacune contenant un milieu nutritif et 1ml de suspension diluée (figure 27), puis ont été incubés pendant le temps nécessaire pour chaque microorganisme. (Tableau 17).

Après l'incubation, le dénombrement a été fait pour calculer le nombre de colonie de chaque microorganisme et le multiplier par le facteur de dilution correspondant.

Constatations et difficultés rencontrées : manque de galerie pour réaliser des tests biochimiques, manque d'équipement de profiling, la crise de covid-19 et fermeture des laboratoires,

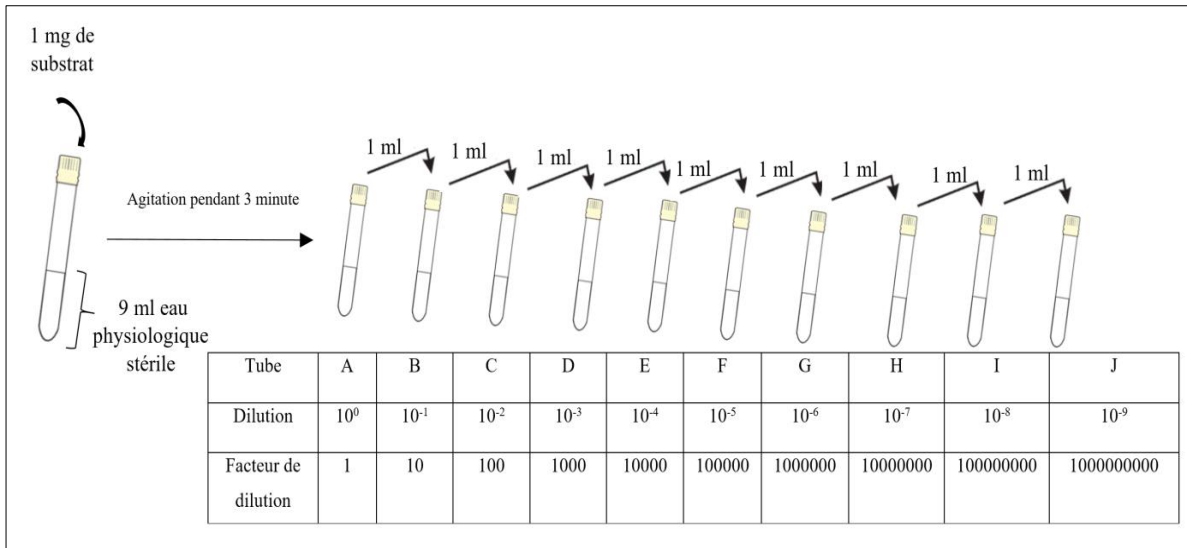


Figure 26 : Dilution des suspensions des substrats

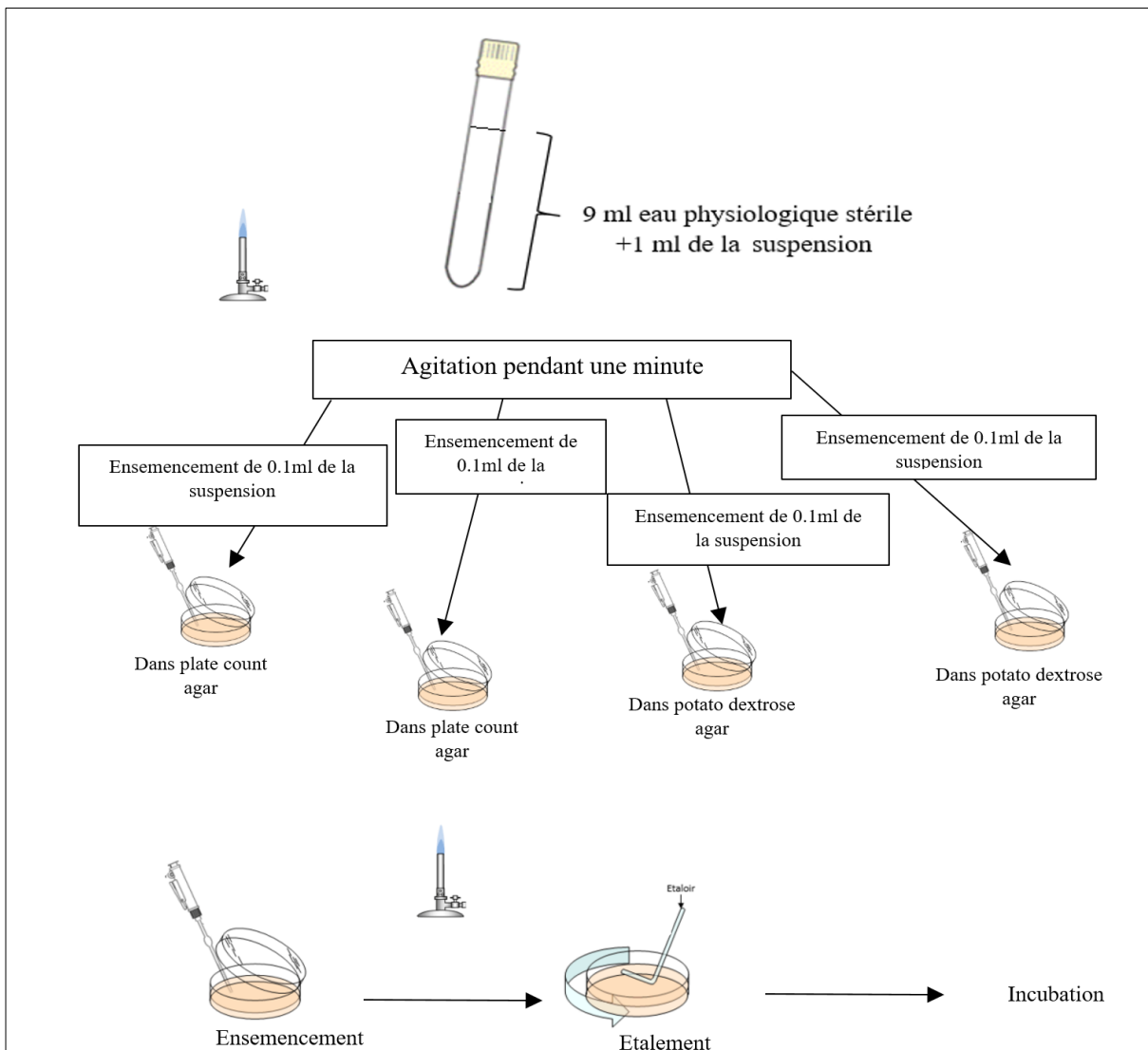


Figure 27 : Ensemencement et étalement des suspensions dans les boites de pétri.

Liste des références du chapitre III :

1. 9045d.pdf. Retrieved March 5, 2021, from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/9045d.pdf>
2. Ahmed, M., Idris, A., & Omar, S. S. (2007). Physicochemical characterization of compost of the industrial tannery sludge. *Journal of Engineering Science and Technology*, 2(1), 81–94.
3. Aina, M., Daouda, M., Adoukè, J., F., C., J., D., F., A., & Matejka, G. (2012). Realization of the Mass Balance in the Production of Compost in Developing Countries a Comparative Study. *American Journal of Scientific Research*.
4. Aina, M. P. (2006). Expertises des centres d'enfouissement des déchets urbains dans les PED: Contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2006LIMO0036>
5. Aloueimine, S. (2006). Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie): Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2006LIMO0004>
6. Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Bundela, P. S., & Khan, J. (2015). Co-composting of organic fraction of municipal solid waste mixed with different bulking waste: Characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic. *Bioresource Technology*, 182, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.104>
7. Chakroune, K., Bouakka, M., & Hakkou, A. (2005). Incidence de l'aération sur le traitement par compostage des sous-produits du palmier dattier contaminés par *Fusarium oxysporum* f.sp. *Albedinis*. *Canadian Journal of Microbiology*, 51(1), 69–77. <https://doi.org/10.1139/w04-109>
8. Charnay, F. (2005). Compostage des déchets urbains dans les pays en développement: Élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2005LIMO0035>
9. Chenni, K., Maghlouche, Y., & Bekdouche, F. (2013). Compostage des déchets verts: Cas de la station biocompost d'EL-KSEUR. <http://172.17.1.105:8080/xmlui/handle/123456789/5461>
10. Composts—BNQ. (1996). <https://www.bnq.qc.ca/fr/normalisation/environnement/composts.html>

11. Dahmane Sanaâ, & Hadjel, M. (2012). Evaluation de la gestion des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran. http://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/doc_num.php?explnum_id=521
12. François, V. (2004). Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis: Etude de l'impact de la recirculation de lixiviats sur colonnes de déchets [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2004LIMO0004>
13. Giroux, M. (2004). Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme. 15(2), 4.
14. Hiligsmann, S., Lardinois, M., Rodriguez, C., Kapepula, D., Mhiri, F., Marouani, L., Benzarti, A., Grolet, S., Chamblin, J. F., Antoine, J. N., Noel, J. M., Copin, A., & Thonart, P. (2002). Investigation of the biological activity in MSW landfills under dry climates (Tunisia and Haiti). <https://orbi.uliege.be/handle/2268/28388>
15. Ince, O., Ozbayram, E. G., Akyol, Ç., Erdem, E. I., Gunel, G., & Ince, B. (2020). Bacterial Succession in the Thermophilic Phase of Composting of Anaerobic Digestates. *Waste and Biomass Valorization*, 11(3), 841–849. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0531-3>
16. Kathirvale, S., Muhd Yunus, M. N., Sopian, K., & Samsuddin, A. H. (2004). Energy potential from municipal solid waste in Malaysia. *Renewable Energy*, 29(4), 559–567. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.09.003>
17. Mezouari-Sandjakdine, F. (2011). Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2011LIMO4015>
18. Mohee, R. (2002). Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius. *Resources Conservation and Recycling - RESOUR CONSERV RECYCL*, 36, 33–43. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00011-3](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00011-3)
19. Mustin, M. (1999). *Le compost: Gestion de la matière organique*. Editions François Dubusc.
20. Ngnikam, E., & Tanawa, É. (2006). *Les villes d'Afrique face à leurs déchets*. Université de technologie de Belfort-Montbéliard.

21. Souabi, S., Aboulhassan, A., Aboulam, A., & Morvan, B. (2005). Compostage des boues produites à la station d'épuration d'une huilerie, en mélange avec des déchets de jardin— PDF Téléchargement Gratuit. <https://docplayer.fr/43102843-Compostage-des-boues-produites-a-la-station-d-epuration-d-une-huilerie-en-melange-avec-des-dechets-de-jardin.html>
22. Tahraoui Douma, N. (2013). Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef, Algérie [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2013LIMO4038>
23. Wang, S.-P., Zhong, X.-Z., Wang, T.-T., Sun, Z.-Y., Tang, Y.-Q., & Kida, K. (2017). Aerobic composting of distilled grain waste eluted from a Chinese spirit-making process: The effects of initial pH adjustment. *Bioresource Technology*, 245(Pt A), 778–785. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.051>

RESULTATS ET DISCUSSION

***CHAPITRE IV : ETUDE ET ANALYSE DU GISEMENT DES
DECHETS MENAGERS DE LA VILLE D'ORAN***

1. Introduction :

Ce chapitre sera consacré à l’étude du gisement des déchets ménagers de la ville d’Oran, à l’analyse, l’interprétation et la discussion des résultats de la caractérisation, à l’étude des gisements valorisables par différents modes.

2. Evolution de la répartition de la population dans la wilaya d’Oran :

La répartition de la population indique une baisse prononcée dans la commune d'Oran de 42% en 2008 à 33% en 2017 par rapport à la population totale de la wilaya d’Oran et une hausse dans la commune de Bir-El-Djir située à l'est de la commune d'Oran de 10% en 2008 à 16% en 2017(figure 30). Cette hausse est due essentiellement à la transition des activités et des services de la commune d’Oran centre vers d’autres communes de la wilaya, et aussi au coût de vie principalement la location et les prix alimentaires à Bir-el-djir qui sont plus faible par rapport à Oran Centre. Les images satellitaires multidates ont permis de discerner des changements dans l'occupation des sols de la wilaya d'Oran, qui depuis 1986 , a connu un développement urbain assez impressionnant(Amina Kaoutar BELBACHIR 2010). Les résultats ont révélé une croissance nette de 11,41% des terrains bâtis entre 1986 et 2004, avec un déclin global de 12,23 % dans l'espace nu et une augmentation marginale des zones de végétation (figure 28). Également ; l’extension urbaine la plus remarquable et la plus visible est celle située à l'est de la wilaya à Bir el djir et au sud-est à Es-senia. (Figure 29)

Le reste de l’étude se concentrera donc sur le secteur de Bir-el-djir, les résultats recueillis seraient donc plus descriptifs et représentatifs.

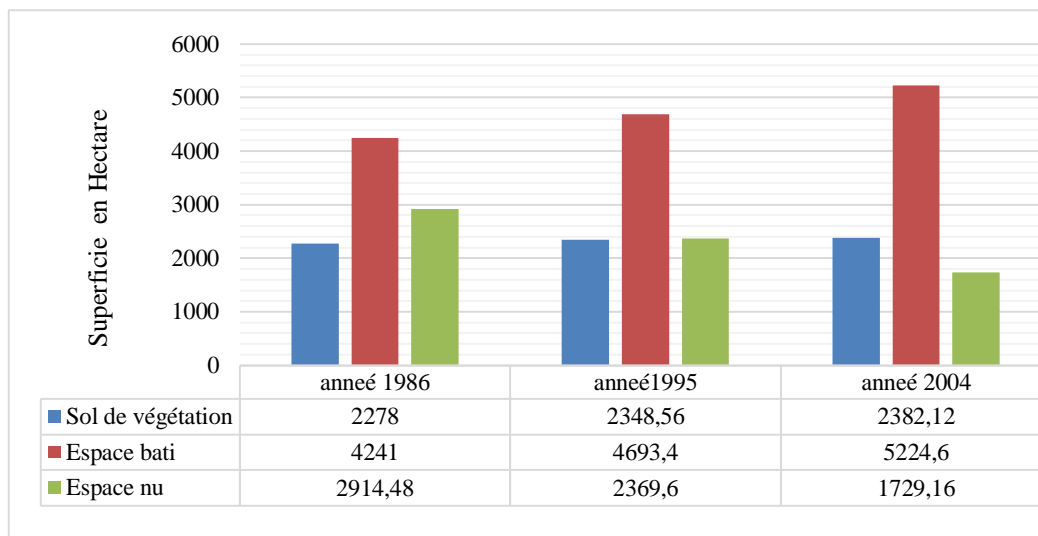


Figure 28 : Occupation des sols de la wilaya d’Oran depuis 1986

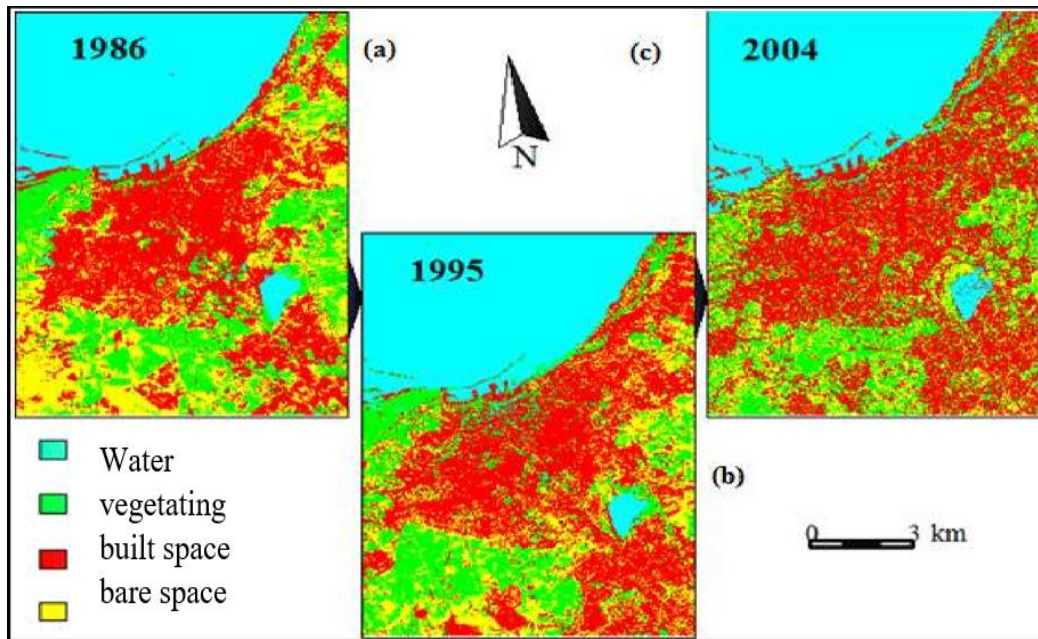


Figure 29 : Images satellitaires de l'occupation des sols à Ora

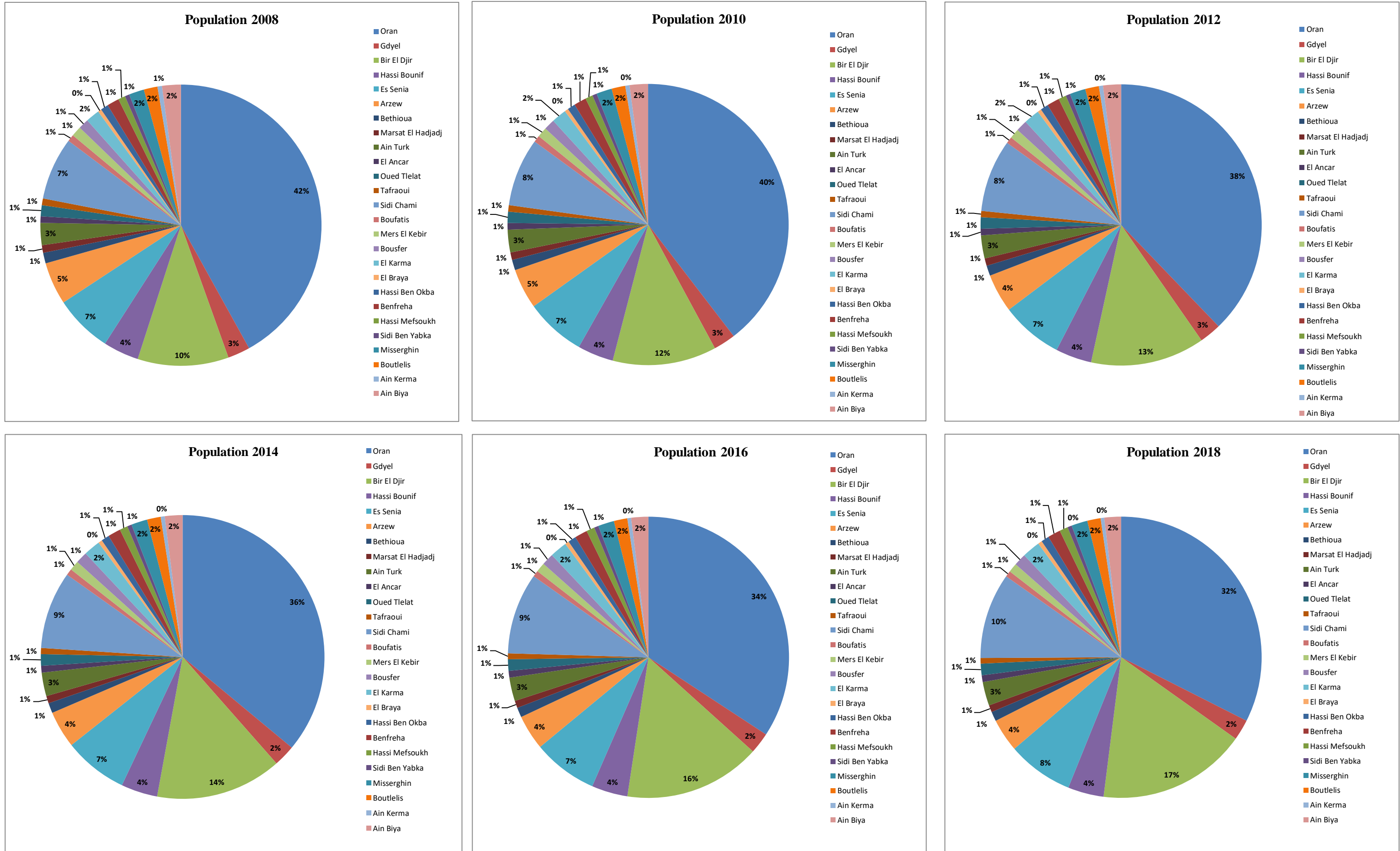


Figure 30 : Evolution de la répartition de la population à Oran entre 2008 et 2018. Source : Centre des statistiques d'Oran

3. Evolution de la production des déchets à Bir El Djir :

L'étude des ordures ménagères n'a pas pris en compte la catégorie hétéroclite des déchets qui, est très aléatoire, récupérée par les informels ou par les ménages avant la collecte. L'analyse comprend les déchets entrant à l'ensemble des centres d'enfouissement technique.

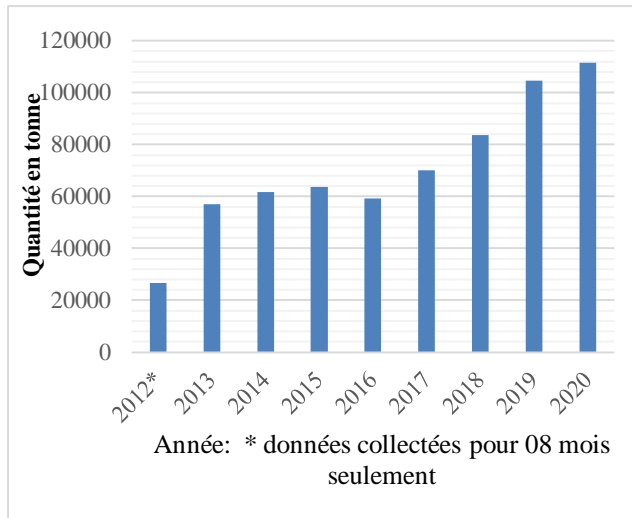


Figure 31 : Quantité annuelle des déchets produits à Bir eldjir

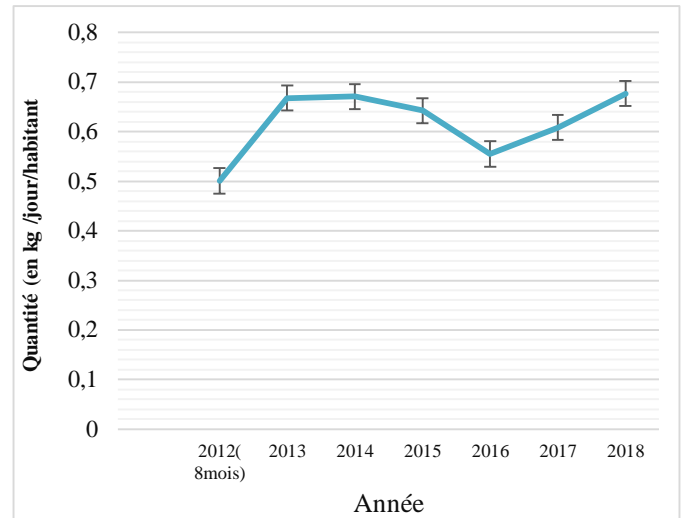


Figure 32 : Evolution du ratio de production des déchets à Bir eldjir

La production des déchets ménagers ne cesse d'augmenter chaque année ayant atteint une valeur maximale en 2020 avec un total de production de 111 506 tonnes (figure 31) et un ratio de production de 0.609 kg de déchets produits par jour et par habitant enregistré en 2018(Figure 32).

L'enquête a révélé que le pont-bascule de la décharge de Hassi Bounif était défaillant en 2016, ce qui explique que le tonnage a diminué cette année par rapport aux autres années, mais la quantité régulière de déchets générés par habitant montre que la production de déchets augmente continuellement. Par conséquent, la quantité moyenne de déchets produite par jour et par personne est de 0,609 kg. Le ratio de production des déchets à Oran est similaire à celui estimé à Mostaganem 0.62 kg/jour/habitant(Guermoud et al. 2009), à chlef est 0.72 kg/jour/habitant (Tahraoui Douma 2013) ,et celui d'Alger est estimé Alger 0.75 kg/jour/habitant(Mezouari-Sandjakdine 2011). Ainsi le ratio de production des déchets est plus remarquable à l'ouest du pays qu'à l'est, voir à Annaba est de 0.49 kg/jour/habitant(Hamza et al. 2013) et à Biskra est de 0.55kg/jour/habitant(Mezouari-Sandjakdine 2011).Le ratio de production des déchets peut changer d'un secteur à un autre et d'un habitant à un autre. D'ailleurs, plusieurs recherches ont faites dans le cadre de la gestion des déchets et ont montré

une corrélation entre la génération des déchets et le niveau socioéconomique (Bandara et al. 2007). Ainsi le ratio de production et la composition des déchets varient en fonction de deux principaux facteurs, le type d'habitat et la saison. En effet plus le niveau socioéconomique est élevé plus les habitants génèrent des quantités importantes de déchets, notre étude a révélé que les quantités des déchets sont plus importantes en été et en hiver qu'en printemps et en automne (Hamza CHENITI 2014) et cette étude (figure 33).

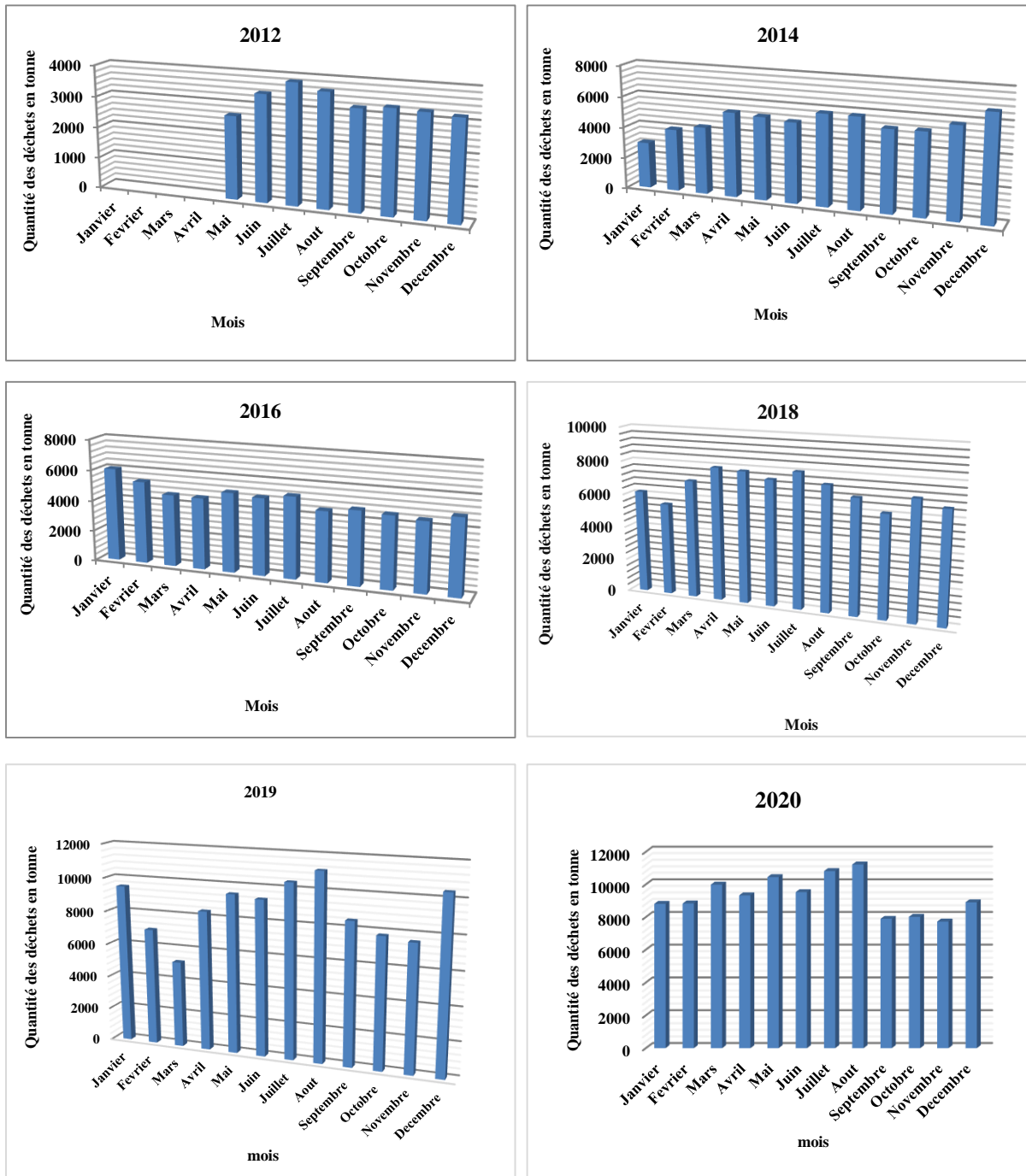


Figure 33 : Génération des déchets par mois à Bir eldjir

4. Caractérisation des déchets :

4.1 Tri par taille :

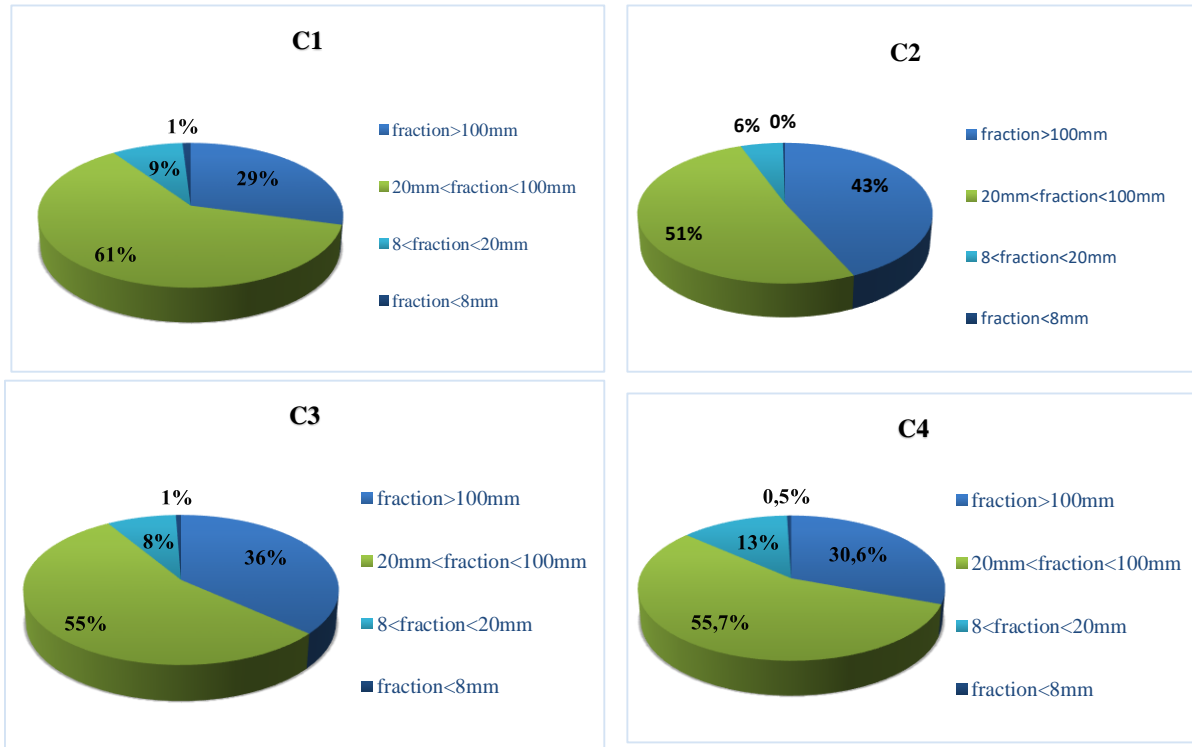


Figure 34 : Tri par taille des déchets ménagers

La caractérisation par taille permet d'obtenir la répartition des différentes fractions. Un tri manuel a été réalisé sur les déchets frais selon trois granulométries à savoir : les gros (> 100 mm) ; les moyens (20-100 mm) et les fins (< 20 mm). Pour chaque saison, deux campagnes de tri ont été réalisées. Les résultats indiquent que les déchets ménagers dans la zone d'étude sont majoritairement de taille moyenne entre 20 et 100 mm ; cette fraction représente la proportion la plus abondante des déchets ménagers pour toutes les campagnes de tri (figure 34).

Les résultats indiquent que les déchets ménagers dans la zone d'étude mesurent généralement entre 20 et 100 mm .la campagne de caractérisation C1 a la plus grande quantité de cette fraction avec un taux de 61%, suivie par la C4 avec un taux global de 56% ; la campagne C2 a le taux le plus bas de 51% juste après la campagne C3 avec un taux de 55% de déchets de taille moyenne. Le taux de déchets supérieurs à 100 mm varie entre 29% et 43% sur les quatre saisons ; ce pourcentage comprend généralement une proportion importante de déchets putrescibles avec une prévalence variant de 20% à 36% et des déchets plastiques variant de 22,87% à 40,26%. Selon les résultats obtenus, le tri par taille n'a pas mis en évidence de grandes évolutions saisonnières, ni de grandes variations en fonction de la zone d'étude. Cette répartition granulométrique permet d'avoir une idée précise sur le dimensionnement et le type

des installations de tri à instaurer en aval de la collecte et du transport des déchets dans la zone d'étude. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par (Mezouari-Sandjakdine 2011) car la fraction moyenne a toujours été la plus abondante à Alger et à Biskra. A Chlef les déchets de taille moyenne représentent 66 à 88% du total produit (Tahraoui Douma 2013), à Nouakchott, la fraction moyenne représente plus que 40 % du total des déchets produits dans ce pays et (Aloueimine 2006).

4.2 Tri par catégorie :

Les déchets ont été collectés et triés selon le MODECOM en 13 catégories telles que mentionnées dans le tableau 20.

Tableau 20 : Tri par catégorie des déchets ménagers de la daïra de Bir Eldjir.

Categories	Campagnes			
	C1	C2	C3	C4
Putrescible%	42.56674014	57.72811918	55.60475876	55.16328332
Papier %	5.682096498	7.555200851	5.142983036	4.854368932
Carton%	3.183933382			
Composites %	2.351212344	2.234636872	2.423441287	3.530450132
Textiles %	3.428851335	1.542963554	2.753910553	1.765225066
Textiles sanitaires %	10.04163605	7.92764033	6.482044503	6.619593998
Plastiques	17.87901053	12.18409151	12.19299405	8.826125331
CNC: combustibles non classés %	0.244917952	0.691673317	0.605860322	0.92674316
verre %	2.00832721	1.436552275	1.321877065	1.05913504
Métaux %	2.302228753	2.447459431	1.101564221	4.413062665
INC: incombustibles non classés %	0.612294881	0.133014099	0.363516193	0.485436893
Déchets spéciaux%	0.146950771	0.532056398	3.965631196	0.441306267

Les résultats indiquent que les déchets comprennent principalement des putrescibles avec un taux moyen de 42.56 % pour la campagne C1, 57.72 % pour C2, 55.60% pour C3 et 55.16% pour C4. Les putrescibles ont une taille moyenne comprise entre 20 et 100 mm pour les quatre campagnes de caractérisation (tableau 19) et (figure 35). Le taux élevé des putrescibles dans les ordures ménagères pendant toutes les campagnes de caractérisation s'explique par les habitudes alimentaires et la consommation de la population, qui sont basées sur les fruits et légumes de saison. La consommation printanière est caractérisée par des haricots et des pois, et l'été par la consommation des fruits comme la pastèque, le melon cantaloup, les fraises, les pêches sans et d'autres fruits et légumes de saison, sans oublier de mentionner le gaspillage alimentaire pendant le mois de Ramadhan.

Le taux des **putrescibles** dans les ordures ménagères en Algérie n'a jamais atteint une valeur inférieure à 50% d'où les valeurs enregistrées sont: 76% à Mssila en 2003, 74% à Blida en 2004, 70% à Constantine en 2005, 57% à Alger en 2007, 72% à Chlef en 2006(Campan 2007), et 50.26% en 2018 à Oran (cette étude). Les résultats sont proches de ceux trouvés dans les pays en voie de développement, où la valeur la plus élevée a été enregistrée en Tunisie 68% (Djemaci 2012) le Maroc avec un taux de putrescible de 65% ("Marokko_RA_ANG_WEB_Laenderprofile_sweep_net.Pdf" n.d.), l'Égypte et la Jordanie respectivement 60% et 56% (Djemaci 2012) et la Turquie 54,09% (Yildiz et al. 2013).

Pour les pays développés ou industrialisés, c'est l'inverse, le taux des putrescibles dans les ordures ménagères n'a jamais dépassé 50% : pour la France 28% (M. P. Aina 2006), le Danemark et l'Italie 29% (Sakai et al. 2011), l'Allemagne 14% (Sakai et al. 2011), le Japon 30% (Skordilis 2004), et un cas exceptionnel pour la Chine avec un taux de 59,2% (Hui et al. 2006).

Chapitre IV : étude et analyse du gisement des déchets ménagers de la ville d'Oran

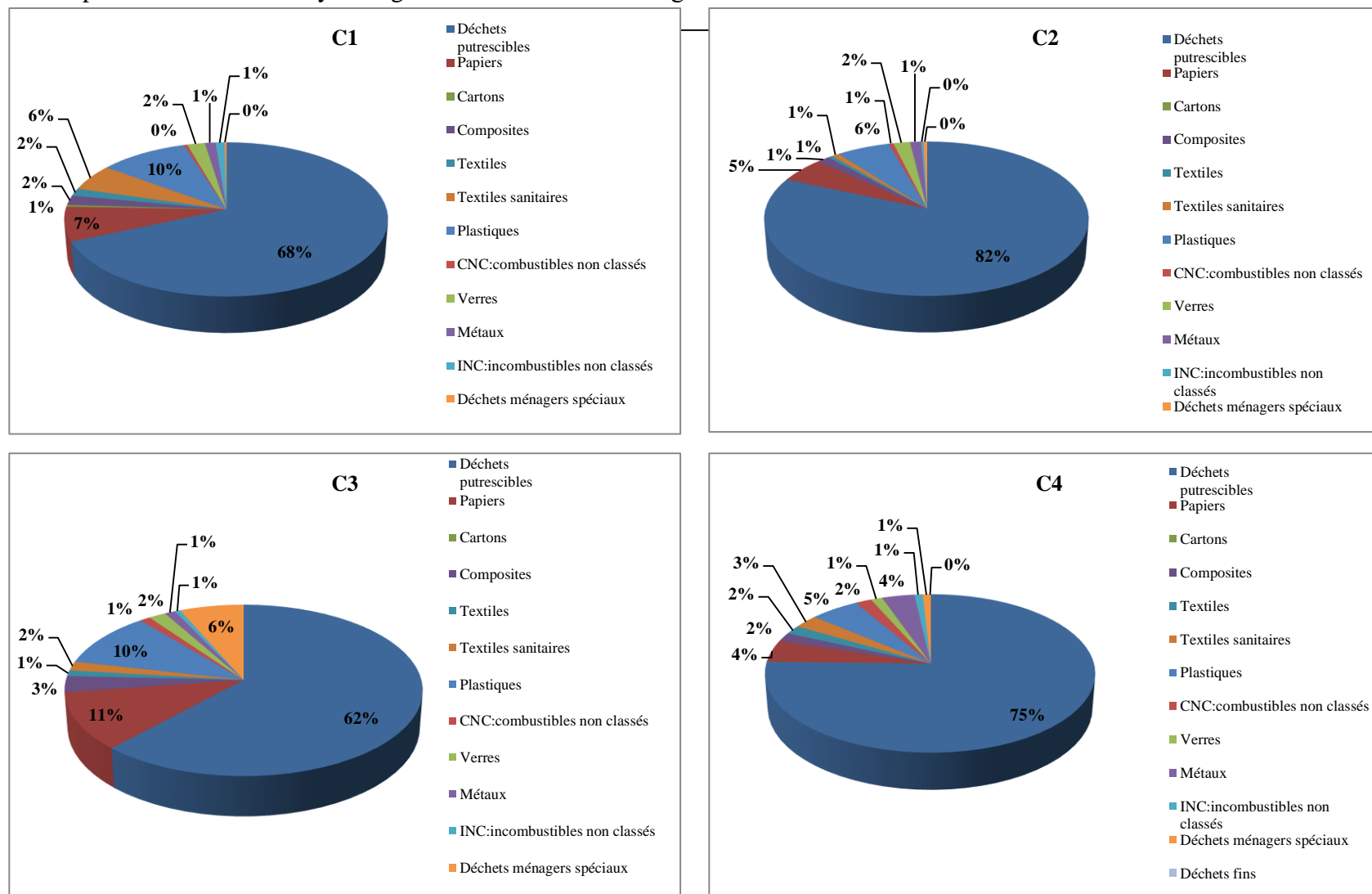


Figure 35 : Tri par catégorie de la fraction comprise entre 20 et 100 mm

Ainsi, le taux des putrescibles est élevé au printemps et en été par rapport aux autres saisons, car ce sont les périodes de maturation de beaucoup de fruits et légumes et ces derniers renferment beaucoup d'eau ce qui explique ces pourcentages importants des déchets putrescibles qui représentent la fraction la plus importante, cette dernière peut être valorisée au lieu d'être enfouis dans les CET et engendrer des problèmes environnementaux.

Les plastiques viennent les deuxièmes par ordre d'importance pour les quatre campagnes de caractérisation pendant les deux années d'étude, leur taux varie de 9% en automne et 12% au printemps et en été et 17% en hiver, ils présentent la catégorie la plus abondante pour la fraction ayant un diamètre supérieur à 100mm (figure 36) .Ces valeurs peuvent être expliquées par le taux de récupération par les deux acteurs (formels et informels) où le taux de récupération est plus important en saison chaude qu'en saison froide, surtout par l'informels, et cela est dû aux conditions climatiques et les conditions de travail. Le taux des plastiques dans les déchets ménagers enregistré dans cette étude est proportionnel avec celui enregistré à Annaba avec une valeur de 13 % en hiver et 5.1 % en été (Hamza CHENITI 2014) ,il est proche de la composition des déchets ménagers en Turquie avec un taux moyen des plastiques égal à 12.8 % pour le coté asiatique et 14.5 % pour le côté européen (Yildiz et al. 2013), il est plus bas que le taux moyen des plastiques en Mauritanie qui est de 20% (Aloueimine 2006).Ainsi, le taux des plastiques enregistré à Oran est inversement proportionnel avec celui enregistré à Chlef, d'où la valeur la plus élevée est enregistrée en été 11.3% et la valeur la plus basse est enregistrée en hiver 3.5 % (Tahraoui Douma 2013).

Pendant les quatre campagnes de caractérisation, l'ensemble des déchets **papiers-cartons** a peu changé au cours des deux années d'étude. Le taux des papiers-cartons dans les ordures ménagères n'a pas connu une grande variation en fonction de la saisonnalité, il varie entre 5% et 9% pour les quatre campagne ,d'où la plus grande valeur est enregistrée en hiver et la plus petite en été, cela peut s'expliquer par le fait que cette catégorie des déchets vient principalement des activités administratives et commerciales, il est bien connu qu'en été ,avec les vacances, les activités diminuent et reprennent au début de l'automne et sont plus actives en hiver. Ces résultats et interprétations ne peuvent pas être généralisés pour tout le territoire algérien malgré la similarité avec d'autre études concernant le taux des papiers carton qui, n'a jamais dépassé les 10 % (Mezouari-Sandjakdine 2011) (Tabet 2001).Mais si on prend le cas de la ville de Annaba comme exemple, la valeur la plus élevée du taux des papiers-cartons est enregistrée en printemps chez les habitats type social-collectif et la valeur la plus basse est enregistrée en hiver (Hamza CHENITI 2014).D'où ,La nécessité de faire plusieurs campagnes

de caractérisation et plusieurs études jouent un rôle essentiel pour comprendre la répartition de chaque catégorie selon la particularité de la zone d'étude et la saisonnalité.

Les textiles sanitaires présentent un taux assez important qui varie entre 7 et 10 % pour les quatre campagnes et sont plus élevés en saison humide vu leur pouvoir absorbant de l'eau de pluie, cela est dû à la nature de cette catégorie qui est la plus humide et donc sa masse volumique est assez importante, elle est composée généralement de couches bébé et serviette hygiéniques gorgées de liquide. Le taux de l'ensemble des **textiles et textiles sanitaires** varie entre 7% et 13 % pour toutes les campagnes de caractérisation.

Ces catégories peuvent faire l'objet d'une étude dans le but d'identifier le mode de valorisation le plus adéquat.

Les métaux, le verre et les composites n'ont pas connu une grande variation au cours de l'étude et ils représentent des catégories minoritaires dans la composition des ordures ménagères de la ville d'Oran, leurs pourcentages massiques varient entre 1% et 4.5% pour les quatre campagnes de caractérisation, cependant ils présentent les fractions les plus rentables en terme de récupération au niveau des CET, ainsi par l'informel.

Un constat concernant **les déchets spéciaux**, qui ont connu un taux assez important de 3.5% au cours de la campagne C3 qui s'est déroulée pendant le mois de Ramadan, pendant le déroulement de cette campagne nous avons constaté la présence des déchets de soin dans les déchets ménagers en quantité importante, les déchets de soin provenaient essentiellement des cabinets médicaux privés et des cabinets de saignement par Hidjamaa d'après notre enquête et l'analyse des échantillons. Malgré l'austérité de loi vis-à-vis de la gestion et le traitement des déchets de soin, ce genre de dépassement est fréquent et il expose les agents de collecte au danger.

Chapitre IV : étude et analyse du gisement des déchets ménagers de la ville d'Oran

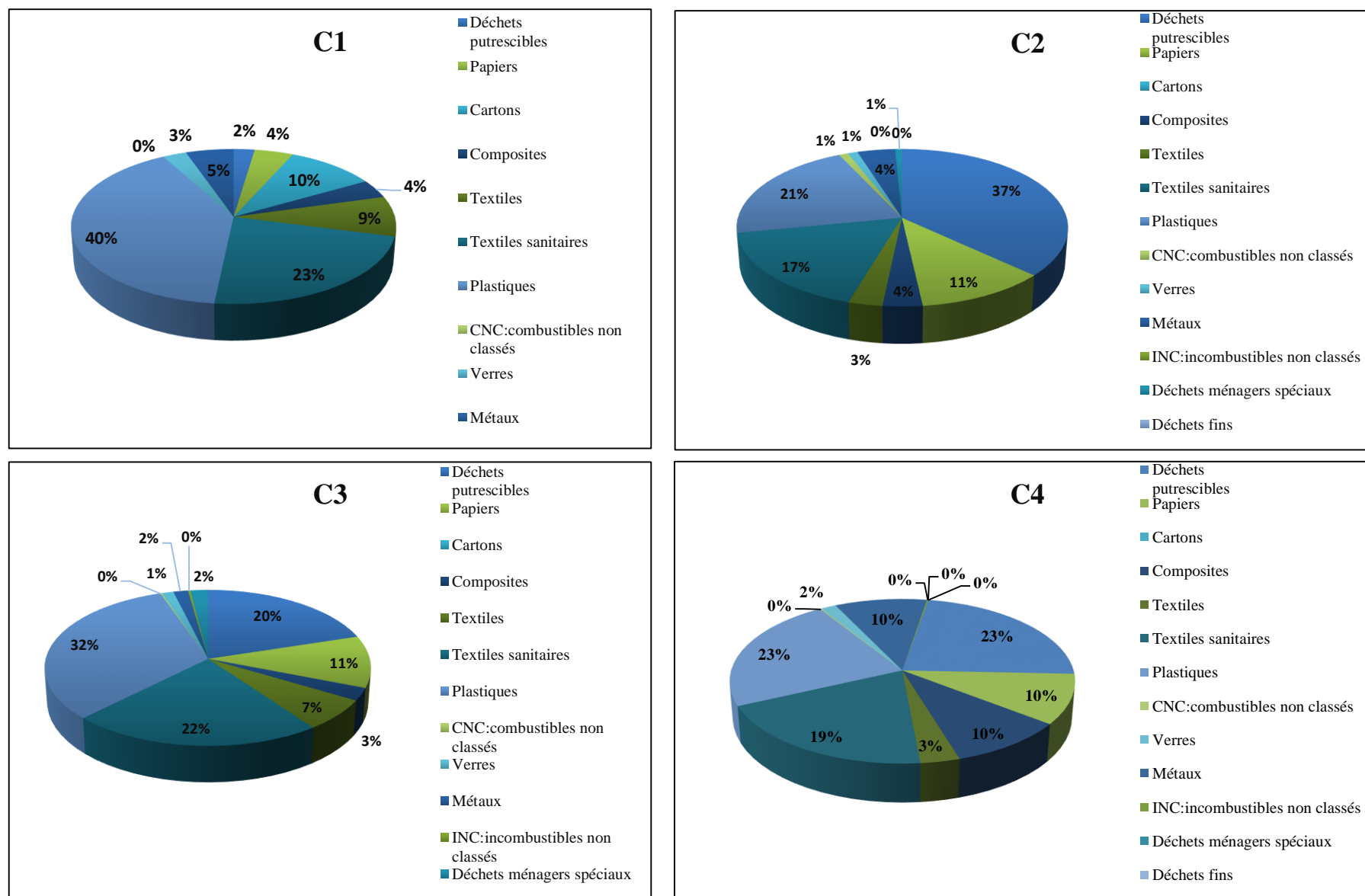


Figure 36 Tri par catégorie pour la fraction >100mm

La composition des déchets ménagers à Oran entre 2012 et 2018 a connu une augmentation pour certaines catégories et une diminution pour d'autres (figure 37) : les composites, les textiles sanitaires, les textiles et les métaux ont vu un accroissement, de 2.13% pour les matériaux composites dû à l'augmentation de la consommation de conserves liquides tels que les boissons, le lait, etc. De 2% pour les textiles sanitaires constitués principalement de couches bébé, cette augmentation est liée à l'augmentation du taux de reproduction des citoyens et de 1% pour les métaux en raison de la consommation de boissons et conserves telles que les confitures, fruits au sirop et la tomate. La teneur des déchets ménagers plastique a subi une diminution remarquable de 12% ; ceci est lié à la récupération des déchets plastiques par l'informel avant la collecte en raison de leur valeur économique. Les déchets putrescibles restent dominant dans la composition des déchets ménagers et cela se résume à la forte consommation de fruits légumes et pains à l'addition des mauvaises habitudes de gaspillage.

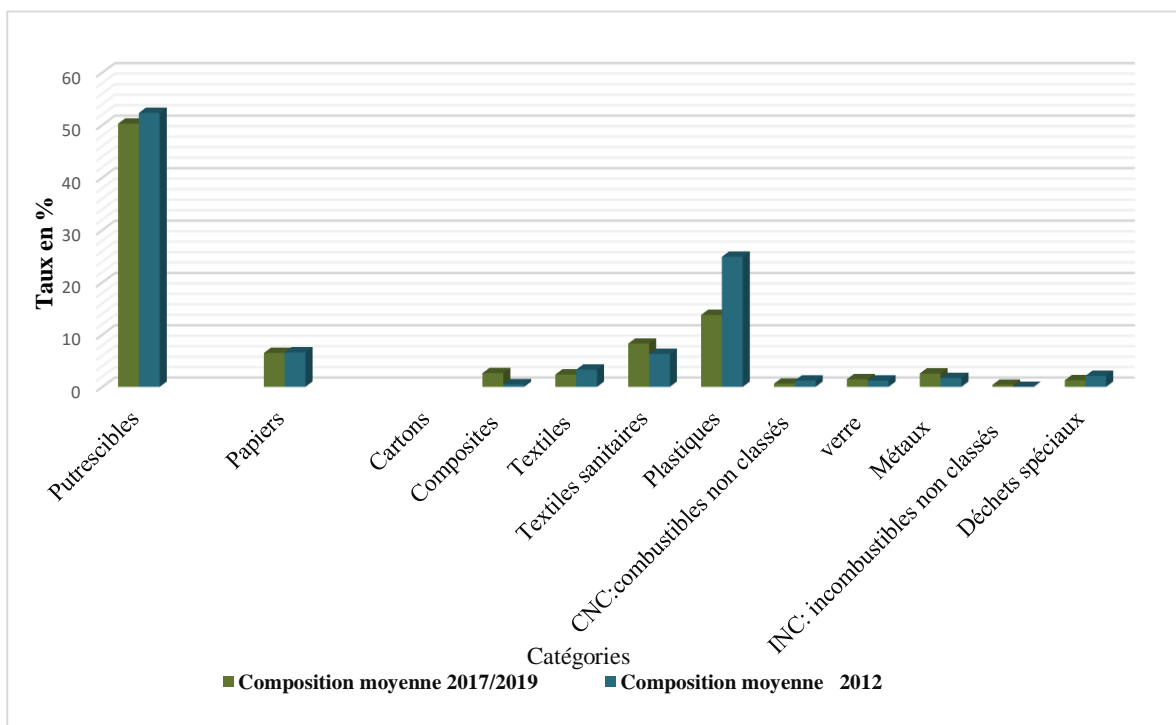


Figure 37 : Evolution de la composition des déchets de la ville d'Oran 2012-2019

4.3 Caractérisation des déchets pendant le mois de ramadhan :

Tableau 21 : Calendrier du mois de Ramadhan entre 2012-2020 :

Année	Début	Fin
2012	20 juillet	19 aout
2013	09 juillet	08aout
2014	29 juin	28 juillet
2015	18 juin	17 juillet
2016	06 juin	05 juillet
2017	26 mai	25 juin
2018	16 mai	14 juin
2019	05 mai	04 juin
2020	24 avril	23 mai

4.3.1 Evolution du tonnage des déchets entrant au CET de Hassi bounif pendant le mois de Ramadhan entre 2015-2020 :

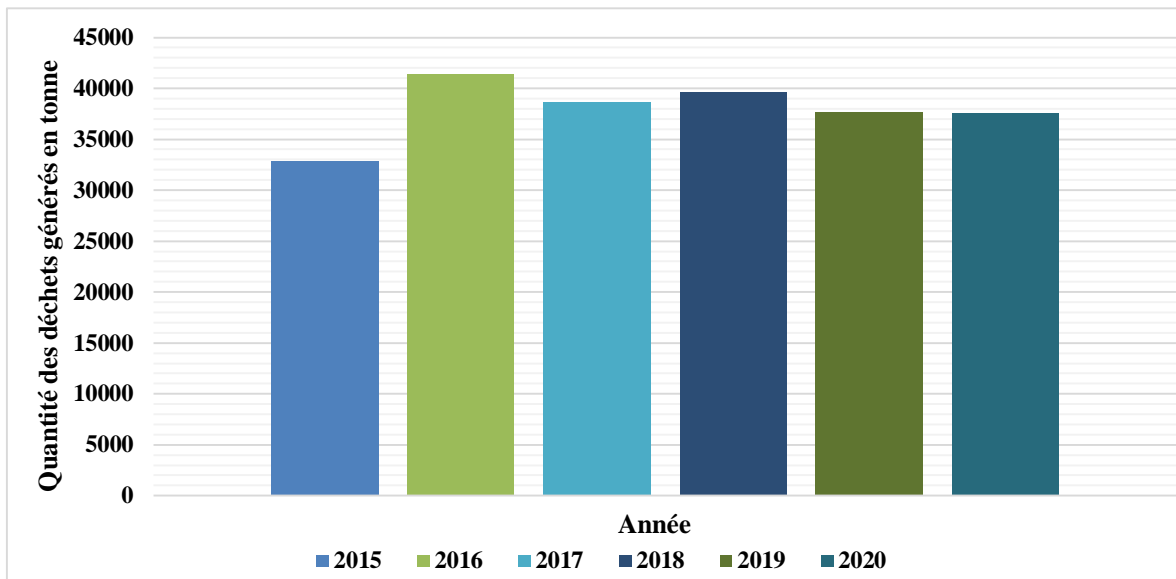


Figure 38 : Tonnage mensuel des déchets entrants au CET Hassi Bounif pendant le mois de Ramadhan 2015-2020

La figure 38 donne les quantités des déchets générés pendant le mois de Ramadhan dans la ville d’Oran et entrant au CET Hassi Bounif entre 2015 et 2020. La production des déchets ménagers et assimilés pendant le mois de Ramadhan suit une tendance à la baisse depuis 2016 d’où elle a atteint une valeur maximale de 41371 tonnes en cette année, et une valeur minimale 37580 tonnes en 2020. Cette diminution est due essentiellement aux changements des habitudes alimentaires liés à l’augmentation du coût de vie ces dernières années et aussi à une prise de conscience par les consommateurs suite à des campagnes de sensibilisation. (Abdelli et al. 2017) ont enregistré une augmentation du tonnage des déchets ménagers dans la ville de Mostaganem

entre 2012 et 2013,et aussi les valeurs les plus élevées ont été enregistrées pendant le mois de Ramadhan pour les deux années : 2012 Ramadhan (176,5 tonnes/jour) ,été (153,7 tonnes/jour) ,automne (131,3 tonnes/jour) printemps (102,9 tonnes/jour),hiver (93,1tonnes/jour) et pour 2013 : (Ramadhan (186,6 tonnes/jour),été (167,6 tonnes/jour),automne(156,7 tonnes/jour),printemps (137,5 tonnes/jour) et hiver (113 tonnes/jour).Cependant, le mode d’évolution du tonnage des déchets ménagers et assimilés dans la ville de Mostaganem depuis 2013 n’a pas été étudié, donc la comparaison ne peut pas avoir lieu.

La figure 39 présente la comparaison de la quantité mensuelle par saison des déchets ménagers et assimilés entrants au CET de Hassi Bounif depuis 2015. La ville d’Oran est réputée pour attirer durant la saison estivale des milliers de touristes et cela a des conséquences sur la production de déchets. Le mois de jeûne (Ramadhan) est connu pour être un mois de jeûne du lever au coucher du soleil, et de solidarité entre les citoyens par la prise en charge des pauvres financièrement, ainsi que des échanges économiques et socioculturels. Cependant, pendant longtemps, ces pratiques ont totalement changé et un comportement individualiste est apparu sur les habitudes alimentaires conduisant à la surconsommation et par conséquent et à une importante production d'ordures ménagères par rapport aux autres mois de l’année.

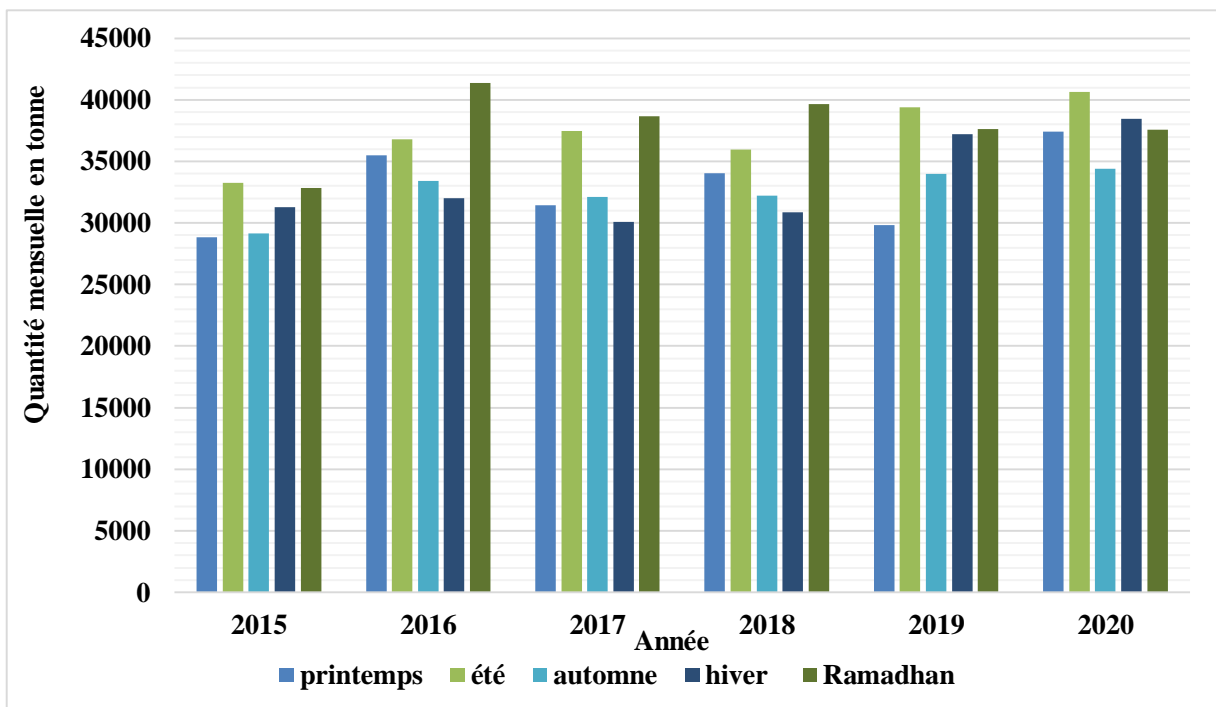


Figure 39 : Comparaison de la quantité mensuelle des déchets entrants au CET Hassi Bounif entre 2015-2020

4.3.2 Tri par taille –tri par catégorie :

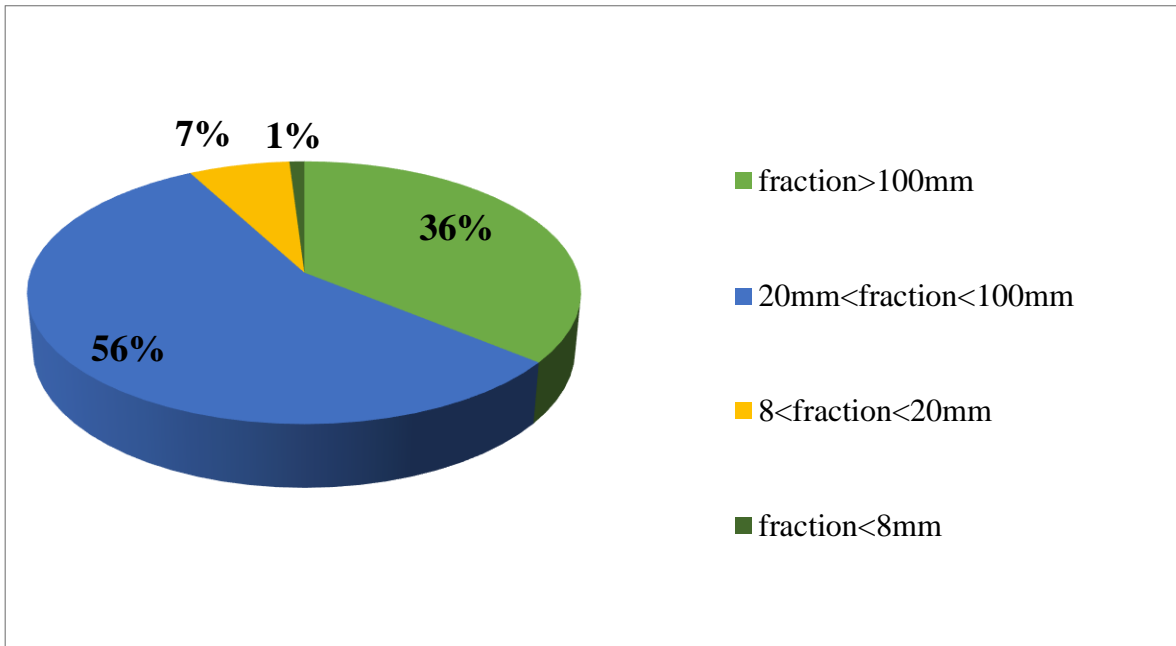


Figure 40 : Répartition des déchets selon leur taille pendant le mois de Ramadhan

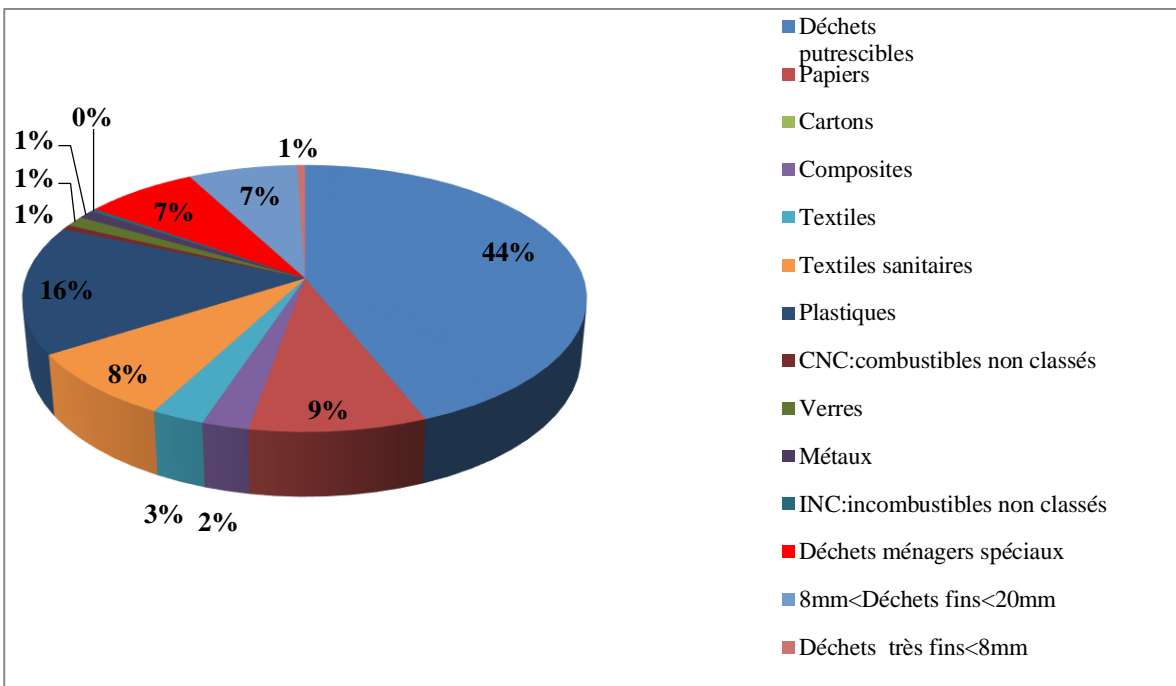


Figure 41 : Répartition des catégories des déchets pendant le mois de Ramadhan dans la ville d'Oran

La composition des déchets durant le mois de ramadhan est similaire à celle des autres mois de l'année. Les déchets ont une taille moyenne comprise entre 20mm et 100mm comme toutes les autres campagnes de caractérisation (Figure 40). Les putrescibles sont toujours dominants dans la composition avec 44%, suivis des plastiques avec 16%, le papier-carton 9% et les textiles sanitaires 8%, l'augmentation des déchets ménagers spéciaux atteint jusqu'à 7% par rapport aux autres campagnes, notamment les déchets de Hidjama ont été trouvés dans les déchets ménagers ce qui est complètement interdit dans la loi, Cette expérience a montré que les déchets organiques représentent la fraction la plus importante de la composition des déchets ménagers dans la ville d'Oran. Les résultats obtenus ont montré que durant ce mois, la quantité de déchets produits est plus importante que celle des autres mois de l'année et que la fraction organique était la fraction la plus abondante (Figure 41).

4.4. Caractéristiques physicochimiques :

4.4.1 La masse volumique :

La connaissance de la masse volumique des déchets aide à l'optimisation du dimensionnement des moyens de collecte et des unités de traitement des déchets.

Les combustibles non classés, les incombustibles non classés, les déchets ménagers spéciaux et les déchets fins sont les catégories les plus denses dans la composition des déchets ménagers de la ville d'Oran, ainsi leur masse volumique n'a pas connu une grande variation au cours des quatre campagnes de caractérisation, cela revient à la stabilité de leur nature et à leurs compositions qui ne changent pas en fonction de la saisonnalité. Les textiles, les textiles sanitaires, les papiers et les cartons sont plus denses en saisons humide (C1, C4) qu'en saison sèche cela est dû à leur pouvoir de rétention de l'eau pluviale avant d'arriver au centre d'enfouissement. Par contre, les déchets putrescibles sont légèrement plus denses en saison sèche qu'en saison froide, cela peut être expliqué par le fait qu'ils contiennent des déchets humides en été (melon, cantaloup...etc.) (figure 42).

La masse volumique des déchets ménagers de la ville d'Oran est égale en moyenne à : 1.65kg/l pour CNC, 1.41 kg/l pour INC, 1.05 kg/l pour les déchets fins, 0.8 kg/l pour les déchets très fins, 0.45 kg/l pour les textiles sanitaires, 0.72 kg/l pour les déchets spéciaux, 0.2 kg/l pour les composites, 0.34 kg/l pour les métaux et les textiles, 0.44 kg/l pour les putrescibles et le verre, 0.23 kg/l pour le papier-carton et 0.09 kg/l pour les plastiques (figure 43). La masse volumique moyenne des déchets ménagers de la ville d'Oran est de l'ordre de 0.71 kg/l, celle de Mostaganem est d'environ 0.36 kg/l (Guermoud et al. 2009).

Les travaux de (Scharff and Vogel 1994) indiquent que la masse volumique moyenne des déchets ménagers dans les pays en voie de développement est de l'ordre de 0.5 kg/l ; en Tunisie 0.4 kg/l (Zairi, Aydi, and Dhia 2014) ,en Malaisie 0.8 kg/l (Chong, Matsu Fuji, and Hassan 2005), au Maroc 0.35 kg/l, au Burkina-Faso 0.65 kg/l (M. P. Aina 2006). Ces valeurs reflètent la richesse des déchets dans ce pôle de monde en putrescibles et fermentescibles dans les PED. En revanche, elle est de l'ordre de 0,2 kg/l pour les pays développés ou industrialisés, principalement en raison de l'abondance des déchets d'emballage tels que les plastiques et les cartons dans la composition globale des déchets de ce pôle industrialisé.

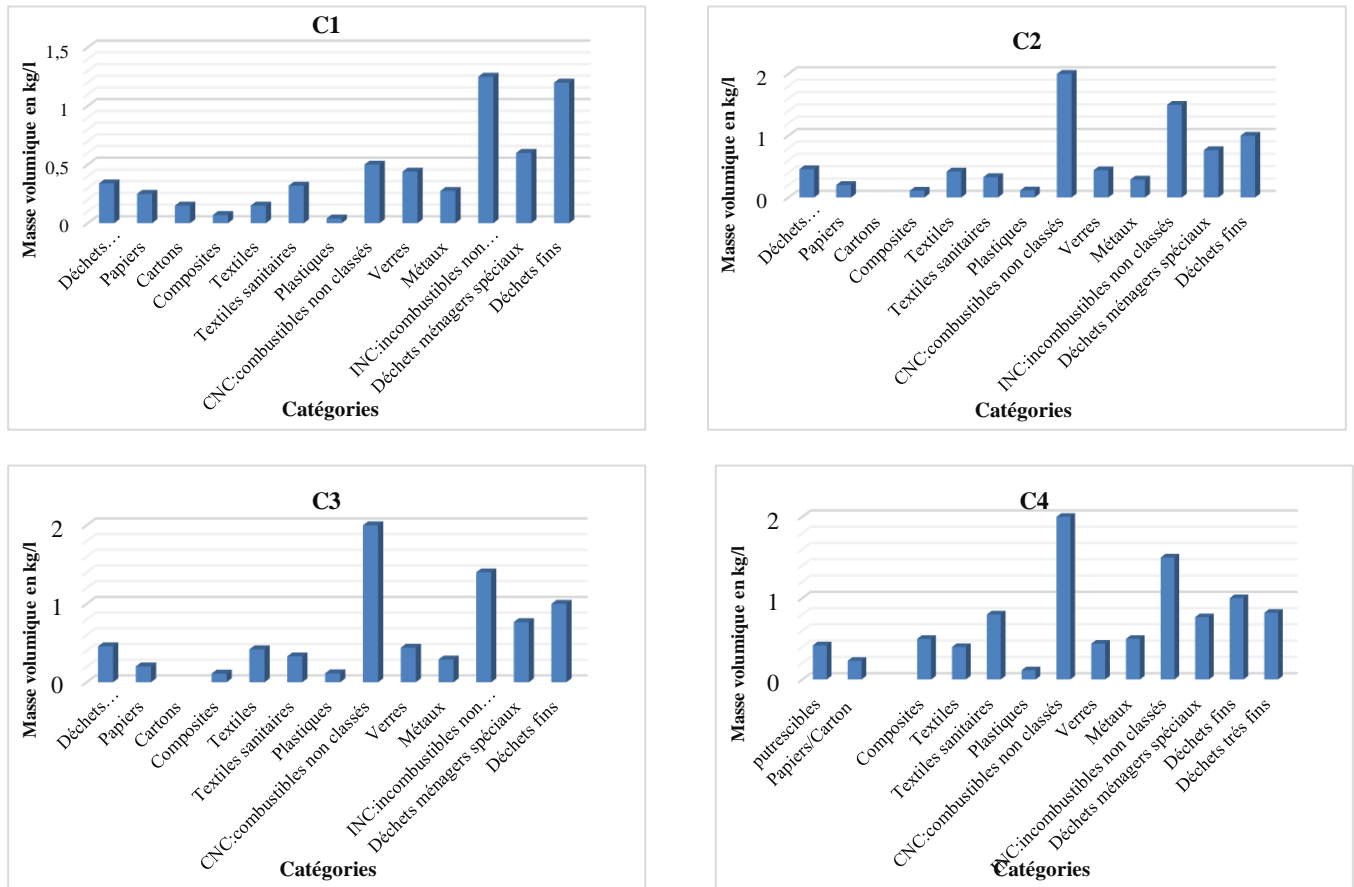


Figure 42 : La masse volumiques des déchets ménagers de la ville d'Oran au cours des campagnes de caractérisation.

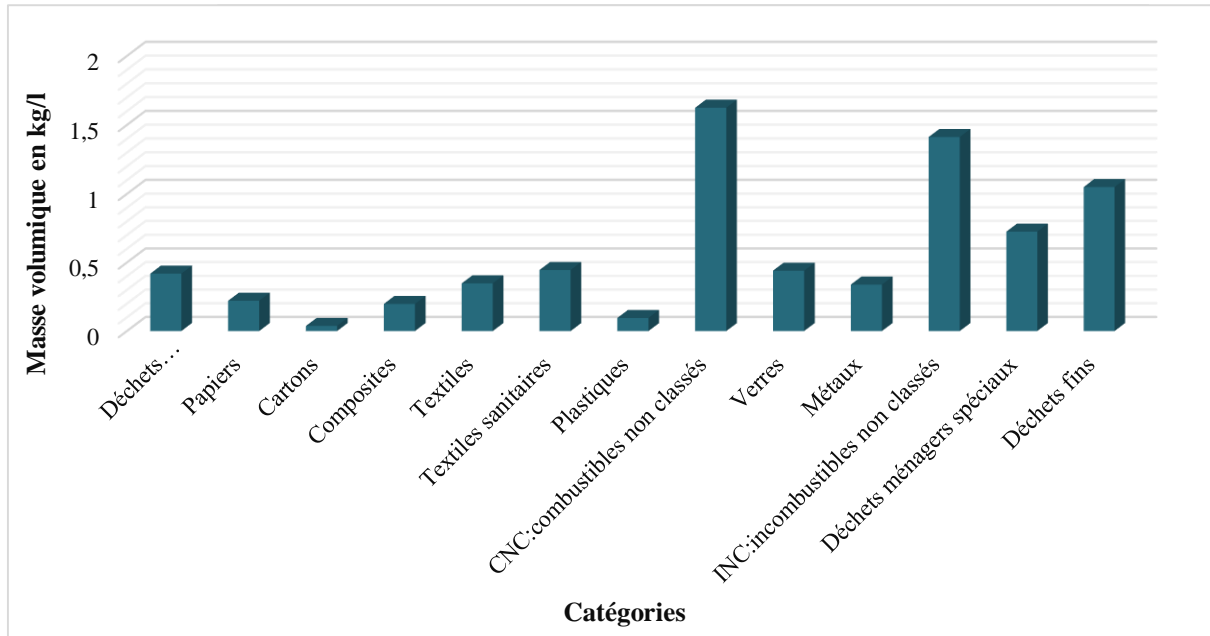


Figure 43 : La masse volumiques moyenne des déchets ménagers de la ville d'Oran.

4.4.2 Le pH :

Le pH est une caractéristique très importante des déchets ménagers, sa connaissance permet d'évaluer l'acidité des déchets et aider aux choix des matériaux de fabrication des unités de traitements des déchets. L'enfouissement des déchets acides peut contaminer le sol et les nappes phréatiques par l'infiltration des lixiviat acides. Tandis que la norme algérienne du décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définit les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels indique un pH des lixiviat compris entre 6.5 et 8.5, ce dernier à une relation directe avec le pH des déchets bruts enfuis ; plus les déchets sont acides plus ils produisent des lixiviat acides, ainsi un lixiviat jeune est plus acide que celui mature ou intermédiaire (Kjeldsen et al. 2002).

La figure 44 montre que le pH est une caractéristique qui dépend de la catégorie des déchets et de la saisonnalité, les déchets putrescibles dépassent la norme citée légèrement en printemps et en automne, et restent dans l'intervalle de la norme pendant l'hivers et l'été, cela est dû à leur composition et nature qui change en fonction de la saisonnalité ainsi l'impact des conditions météorologiques. Les déchets fins sont la catégorie la plus acide avec un une valeur de pH 5.94 enregistrée en automne. Les textiles sont et les textiles sanitaires sont les catégories les plus basiques avec des valeurs de pH de 8.7 et 8.6 enregistrées en été. Les autres catégories restent dans l'intervalle de la norme.

La valeur moyenne du pH des déchets ménagers de la ville d'Oran varie entre 6.5 et 7.5, les déchets putrescibles présente la fraction la plus acide et les textiles celle la plus basique. la valeur moyenne des lixiviat issus des déchets ménagers de la ville d'Oran varient entre 8.04 et 8.14

enregistrée en mai et octobre 2017 (Khalfallah et al. 2019). La différence observée entre le pH des déchets et le pH du lixiviat montre que l'étude de l'impact du pH des déchets sur l'acidité du lixiviat produit fera un bon sujet de recherche.

Malgré l'importance de cette caractéristique, le manque de données et de références a causé une difficulté pour la comparaison des résultats obtenus dans cette étude avec d'autres études, sauf pour les déchets putrescibles de la ville de Mostaganem, d'où ils avaient un pH qui vaut 6.1 en 2009 (Guermoud et al. 2009) et sont devenus plus acides en 2015 (Abdelli et al. 2017)

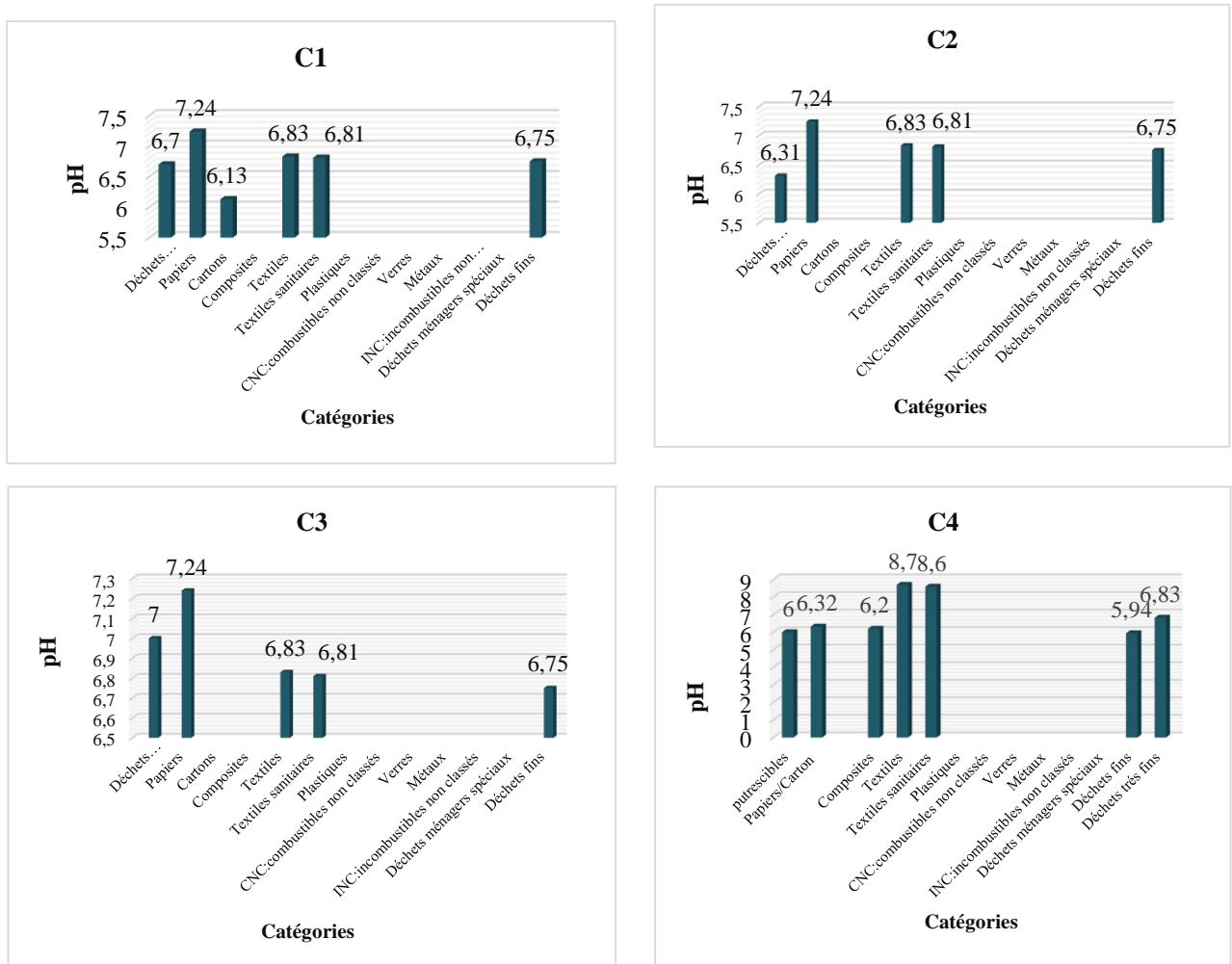


Figure 44 : Valeurs du pH des déchets ménagers au cours des campagnes de caractérisation

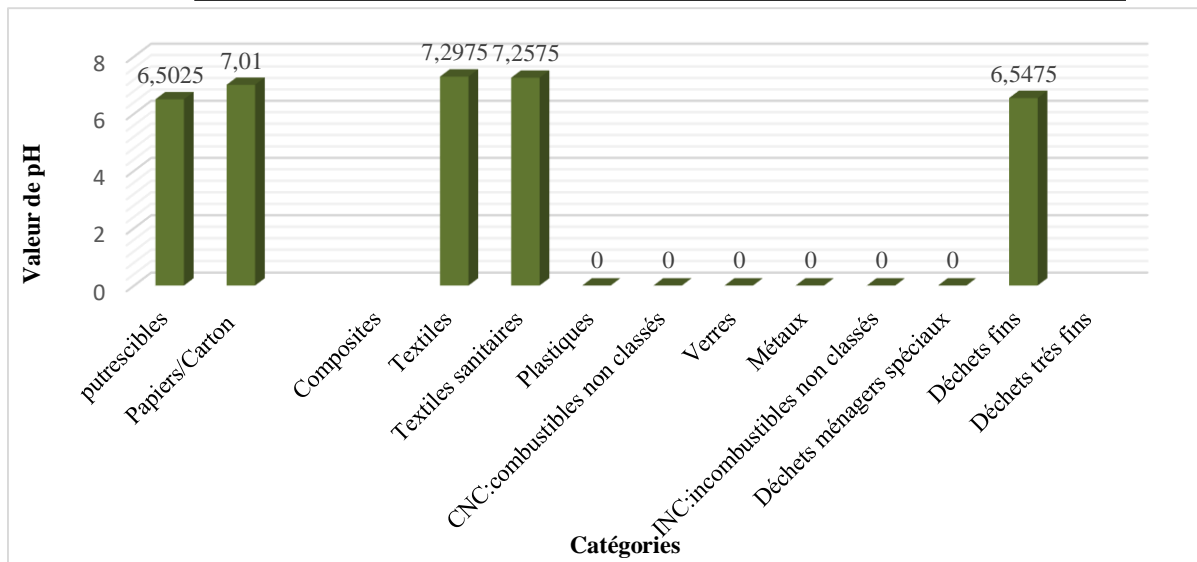


Figure 45 : Valeurs moyennes du pH des déchets ménagers de la ville d'Oran

4.4.3 La teneur en eau :

L'humidité ou bien la teneur en eau des déchets ménagers de la ville d'Oran est variable en fonction de la saison, la plupart des catégories sont plus humides en saison humide qu'en saison sèche, les variations du taux d'humidité de la ville d'Oran sont présentées dans la (figure 46). Les textiles sanitaires sont la catégorie la plus humide en saison humide avec un taux de 78.93% et ils sont moins humides en saison sèche avec une diminution de 35.5%, ainsi que pour les papiers-cartons, ils ont un taux d'humidité de 61.69% en saison humide contre 44.49% en saison sèche. Les composites, les textiles, les déchets fins et les déchets très fins sont légèrement moins humides en saison sèche qu'en saison froide, leur teneur en eau varie entre 17.18 et 50% en saison humide contre 16 à 44 % en saison sèche. L'augmentation du taux d'humidité de ces catégories des déchets revient principalement à leur pouvoir de rétention de l'eau pluviale et de leur pouvoir absorbant.

Contrairement aux autres catégories, les déchets putrescibles sont plus humides en saison sèche qu'en saison froide, leur teneur en eau varie de 60 % en saison humide à 73.74 % en saison sèche, cela peut être expliqué par la composition des déchets qui est variable en ces deux saisons, car en été, ils contiennent principalement des écorces de fruits de la saison qui sont très humides tels que le cantaloup et le pastèque par contre en saison humide ils contiennent moins de déchets humides malgré la rétention de l'eau pluviale ils restent moins humide par rapport à la saison sèche. Contrairement à la ville de chlef qui enregistre un taux d'humidité plus remarquable en saison humide 87% qu'en saison sèche (Tahraoui Douma 2013). les travaux réalisés par (Aloueimine 2006) indiquent que la saisonnalité n'a pas de grande impact sur la teneur en eau des déchets, en fait les déchets ménagers de la ville de Nouakchott sont secs avec un taux maximum d'humidité 23% pour les putrescibles .

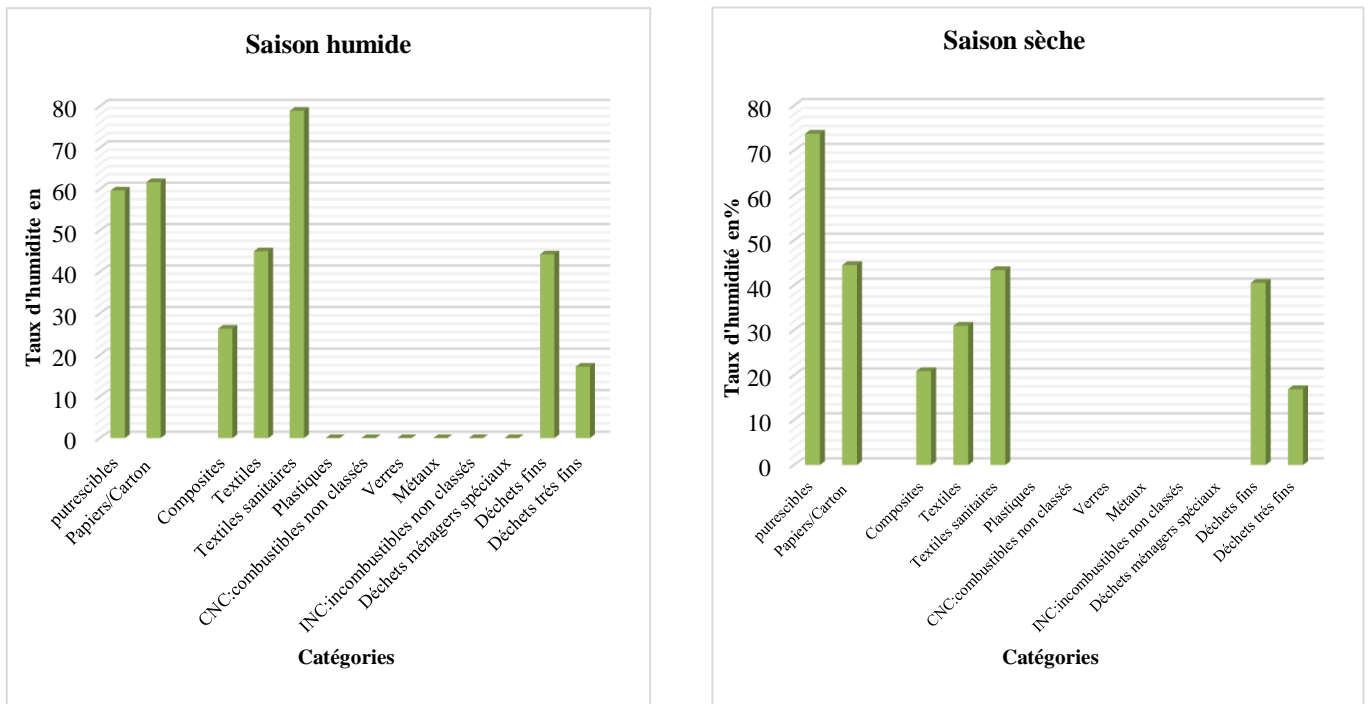


Figure 46 : Teneur en eau des déchets ménagers de la ville d'Oran en fonction des saisons.

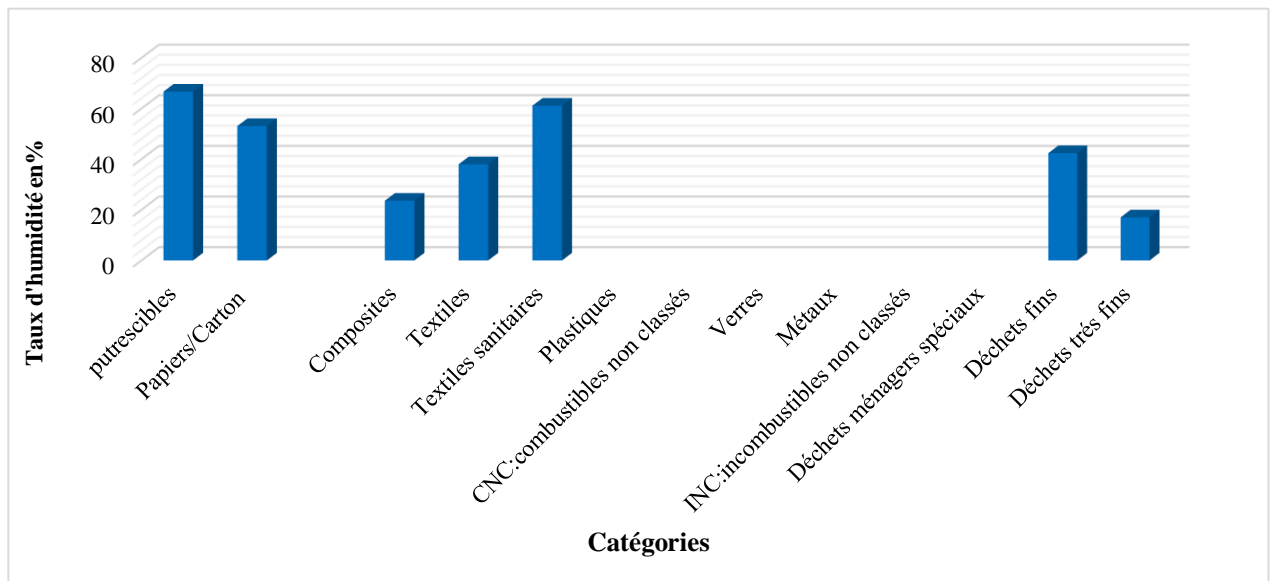


Figure 47 : Teneur en eau moyenne des déchets ménagers de la ville d'Oran

La figure 47 montre que la teneur en humidité est un paramètre qui dépend principalement de la catégorie de déchets : sa valeur est plus élevée de 50% pour les putrescibles, les textiles sanitaires et le carton et moins de 50% pour les composites, les textiles, les déchets fins et déchets très fins, la valorisation énergétique n'est pas possible pour les déchets avec une teneur en eau supérieure à 50% (Ngnikam et al. 2002). Selon (Hiligsmann et al. 2002b) (Hiligsmann

et al. 2002a), la capacité de lixiviation est presque nulle pour les déchets très fins ce qui fait de l'enfouissement de cette catégorie une solution optimale.

Ces résultats sont proches de ceux obtenus à Alger, Biskra et même à Tunis où la fraction putrescible avait toujours un taux d'humidité supérieur à 50% (Ben Ammar 2006) (Mezouari-Sandjakdine 2011). Cela confirme la similarité du mode de vie dans les différentes wilayas de l'Algérie et entre les pays du Maghreb.

4.4.4 Le teneur en matière organique :

La figure 48 montre l'effet de la saisonnalité sur la teneur en matière organique des différentes catégories des déchets, qui est négligeable pour la plupart des catégories. Le taux de la matière organique dans les déchets est stable durant toutes les saisons, cela indique que cette caractéristique dépend seulement de la nature des déchets et pas de la saisonnalité sauf pour les déchets putrescibles qui ont une teneur en matière organique plus élevée en saison sèche qu'en saison froide. Ce résultat est concorde avec ceux de (Tahraoui Douma 2013) (Mezouari-Sandjakdine 2011) (Ben Ammar 2006) où ils ont trouvé des teneur en matière organique stable en fonction des saisons.

Les déchets putrescibles présentent le taux le plus élevé en matière organique et qui est égale à 96.87% en saison sèches et 73.12%, en saison humide, ces résultats sont proches de ceux trouvés dans les pays en voies de développement tels que la Tunisie avec un taux de 93% (Ben Ammar 2006), les îles Maurice 85% (Mohee 2002) . La connaissance de la teneur en matière organique est importante à la prise de décision pour le choix de l'incinération comme mode de traitement adéquat.

Les valeurs moyennes de la teneur en matière organique des différentes catégories des déchets de la ville d'Oran sont présentées dans (figure 49). Les déchets très fins présentent le taux le plus bas en matière et qui vaut 13.34 %, cela indique que cette catégorie n'est pas valorisable par incinération, pour les autres catégories, un calcul financier de la rentabilité est nécessaire pour la prise de décision,

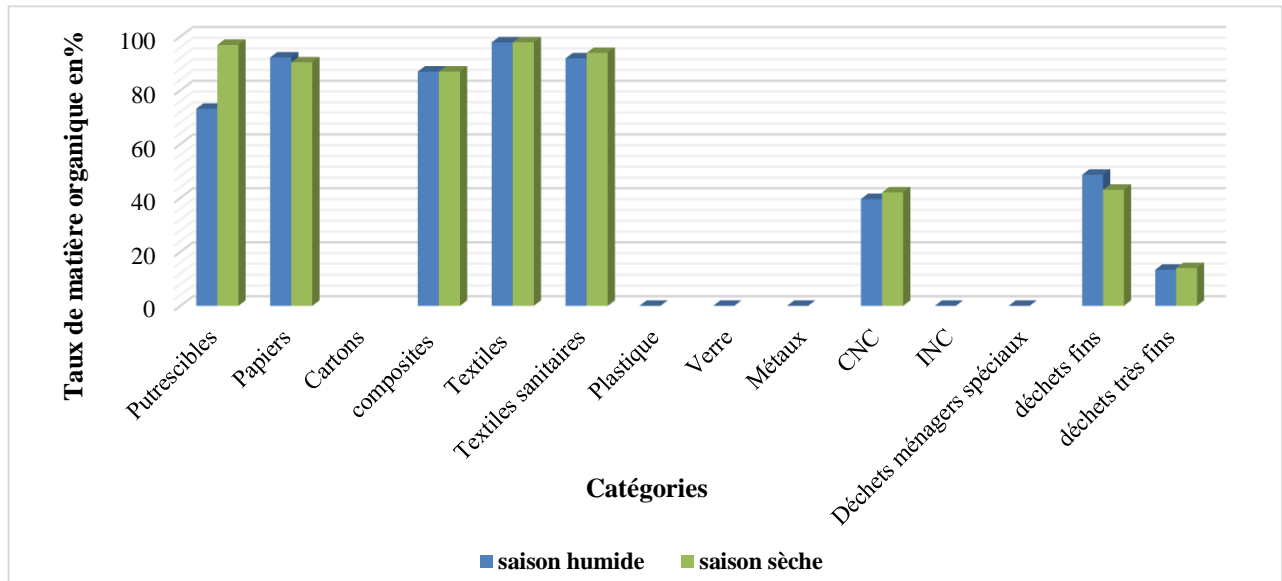


Figure 48 : Teneur en matière organique des déchets ménagers de la ville d'Oran en fonction des saisons

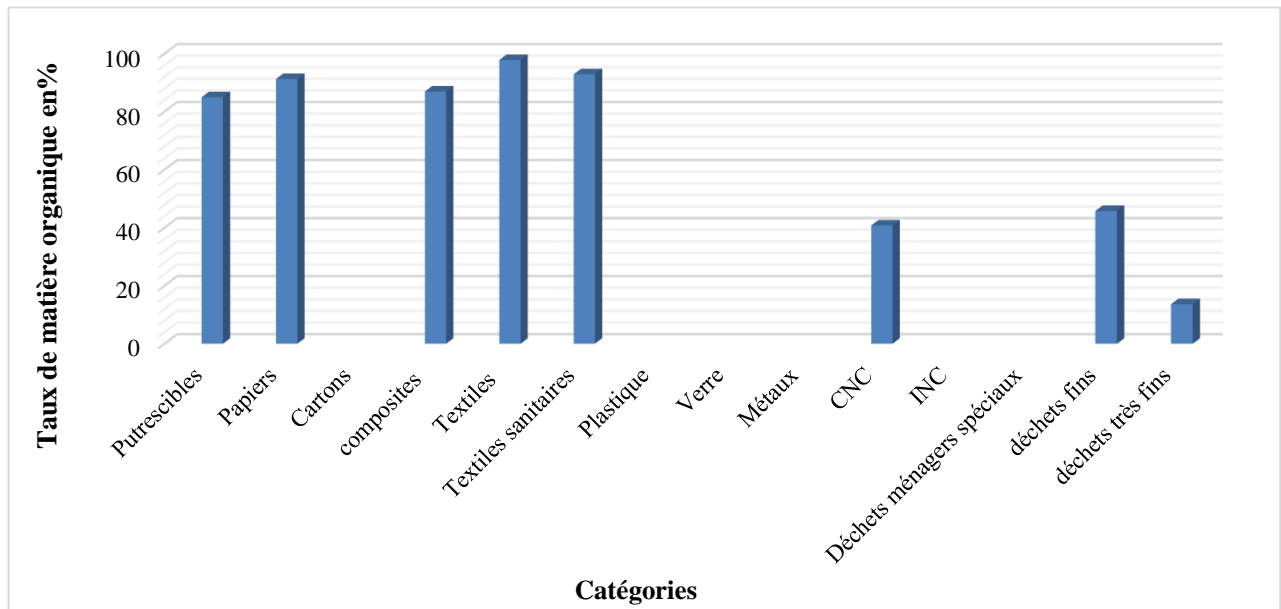


Figure 49 : Valeurs moyennes de la teneur en matière organique des déchets ménagers de la ville d'Oran

4.4.5 Le taux du carbone organique :

La teneur en carbone organique est supérieure à 30% pour la plupart des catégories : 49% pour les textiles, 46% pour les textiles sanitaires, 46% pour le papier-carton, 43% pour les composites et 42% pour les putrescibles (figure 50). Cela signifie que certaines catégories peuvent se biodégrader et être valorisées par compostage, et elles sont aussi des polluants importants par la production de biogaz en cas d'enfouissement en décharge (M. P. Aina 2006).

Cependant, la valorisation de la fraction putrescible des déchets ménagers restent une des solutions les plus efficaces sachant que le taux résiduel de matière par les différentes techniques de traitement est de 0% pour le traitement par valorisation, 1% pour la technique waste to Energy, 35% pour le compostage et 45% pour la digestion anaérobie. Néanmoins, le choix d'un système de traitement mixte présente la solution la plus rentable (Asnoune et al. 2016).

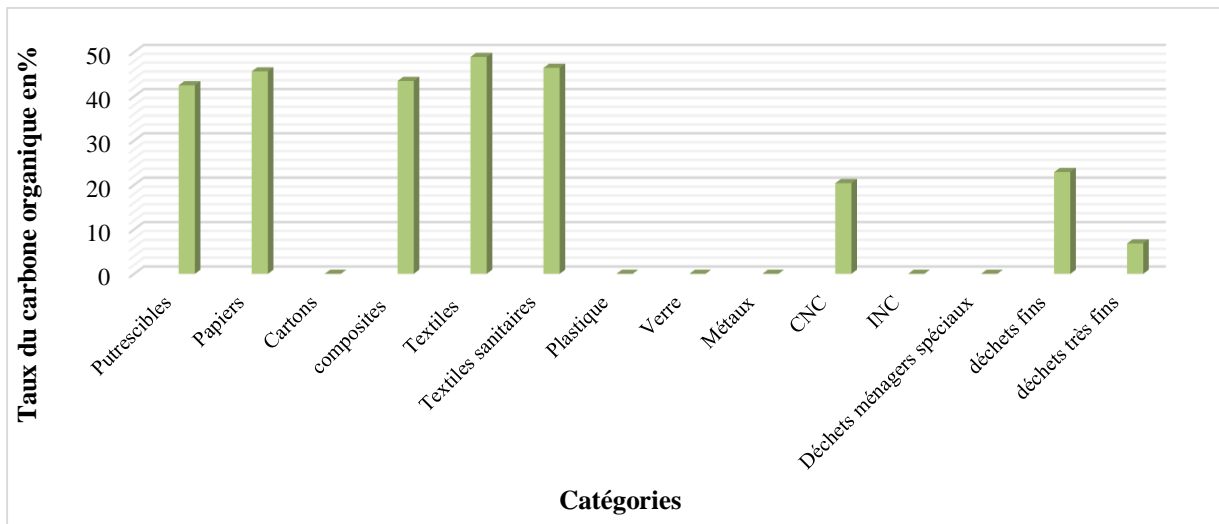


Figure 50 : valeurs moyennes de la teneur en carbone organique des déchets ménagers de la ville d'Oran

4.5 Estimation des déchets valorisables par compostage :

Le taux des déchets valorisable par compostage est élevés pour toutes les campagnes de caractérisation, il varie entre 42% et 56% pour les composts de première qualité (figure 51) soit une quantité journalière comprise entre 546 et 728 tonnes, et un ratio annuel qui varie entre 93kg et 124 kg par habitant. Cette catégorie contient principalement des déchets putrescibles qui ne contiennent pas d'impuretés pouvant affecter la qualité du compost produit, ce dernier peut être destiné aux cultures maraichères et aux produits consommables. Le taux des déchets valorisables par compostage et qui peuvent donner un compost de deuxième qualité varie entre 25% et 31% (figure 51) soit une quantité journalière de 325 à 403 tonnes et un ratio annuel entre 55.57 kg et 69 kg par habitant, il est composé de la fraction fine des déchets et du papier-carton. Ce mélange présente un bon substrat pour le compostage destiné aux espaces verts,

jardin et plantes, puisqu'il peut contenir des impuretés nocives pour la santé, il n'est pas recommandé pour les produits consommables.

La quantité des déchets valorisables par compostage dans la ville d'Oran est plus élevée que celle d'Annaba qui varie entre 58.77 kg et 104.25 kg par an et par habitant en fonction du type d'habitat, d'où la valeur la plus basse a été enregistrée dans les habitats illicites (Hamza CHENITI 2014). Ainsi le taux des déchets valorisable par compostage de la ville d'Oran est proche de celui de chlef, d'où il varie entre 68% et 84% (Tahraoui Douma 2013).

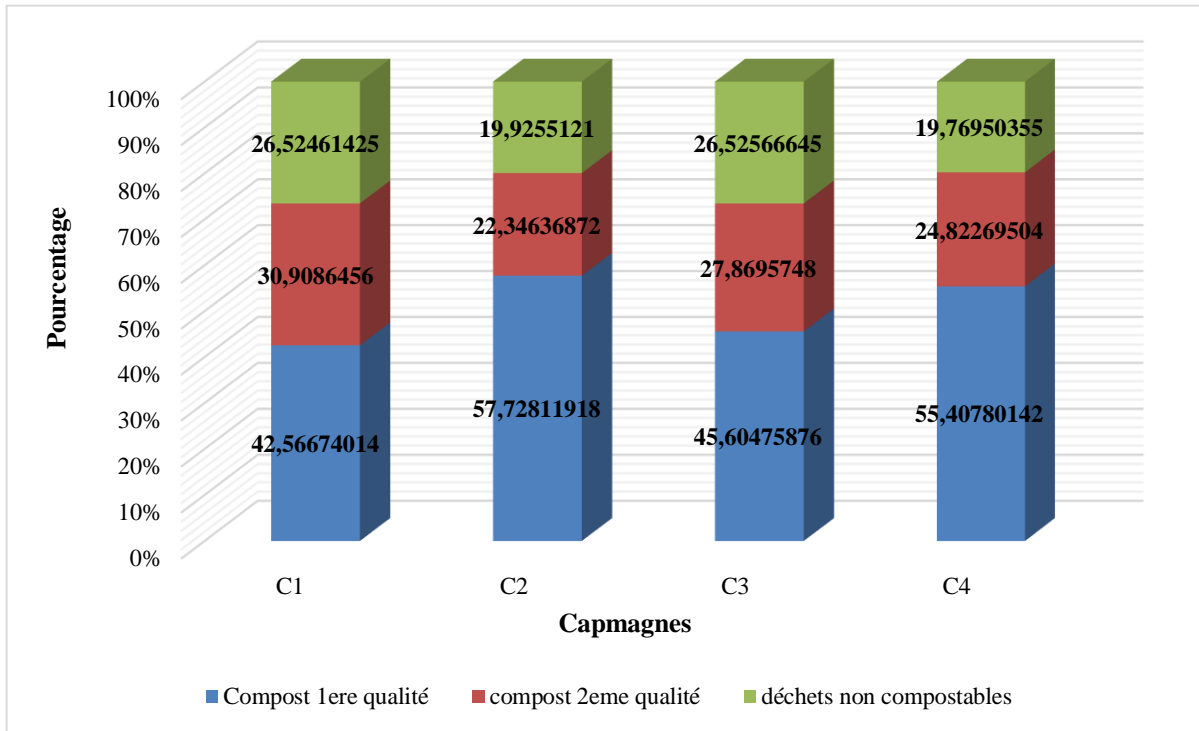


Figure 51 : Estimation des déchets valorisables par compostage

4.6. Estimation des déchets valorisables par méthanisation :

Le gisement des déchets valorisables par méthanisation présente un taux assez important qui varie entre 73% et 80 % en fonction de la saison (figure 52), ce gisement est composé principalement de toutes les fractions fermentescibles y compris les putrescibles, le papier-carton, les textiles, les CNC et les déchets fins. Ces fractions présentent une bonne teneur en matière organique biodégradable et un bon taux d'humidité nécessaire à la digestion anaérobie. la méthanisation des déchets ménagers de la ville d'Oran permettra de réduire le volume des déchets enfouis de 60% et donc prolonger la durée de vie des casiers. Toutefois, la quantité de biogaz produite par ce mode de traitement reste à étudier.

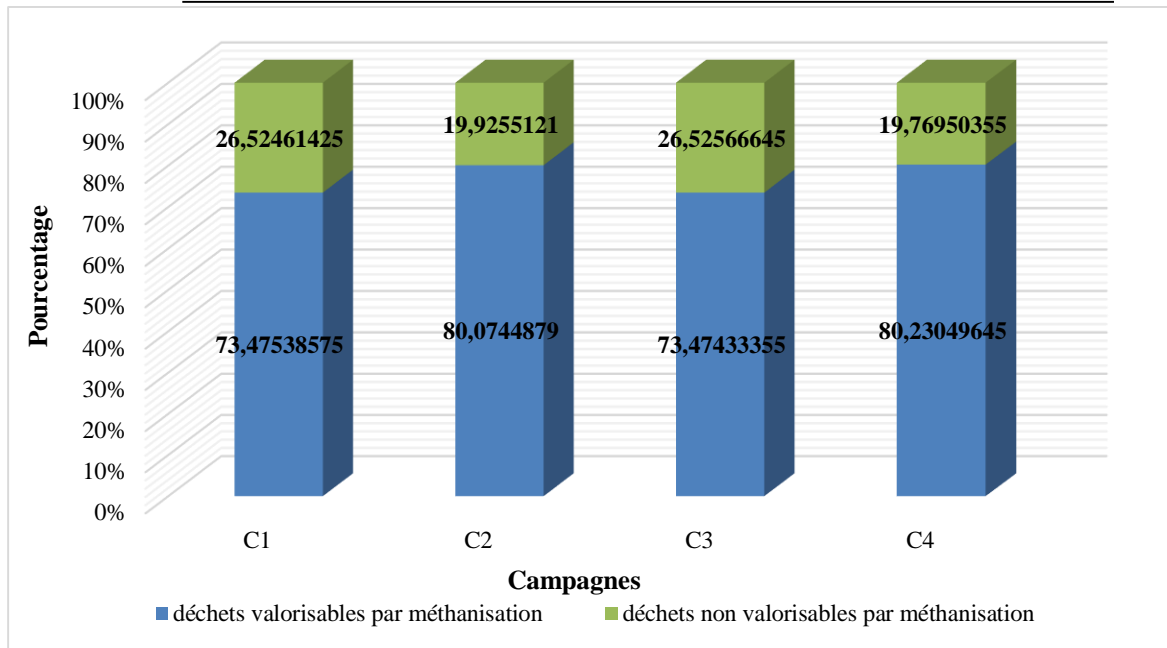


Figure 52 : Estimation des déchets valorisables par méthanisation

4.7 Estimation des déchets valorisables par recyclage :

Les déchets valorisables par recyclage varient entre 25% et 37% en fonction de la saison (figure53), ce sont principalement des plastiques, papier-carton, les métaux, le verre et les textiles. la valeur la plus élevée est enregistrée en hiver et la plus basse en automne. Ces résultats sont proches de ceux enregistrés à Annaba d'où le pourcentage des déchets recyclable vaut 27.86%(Hamza CHENITI 2014) et ils sont plus élevés à ceux enregistrés à Chlef d'où le taux du gisement recyclable n'a jamais dépassé 16%(Tahraoui Douma 2013).

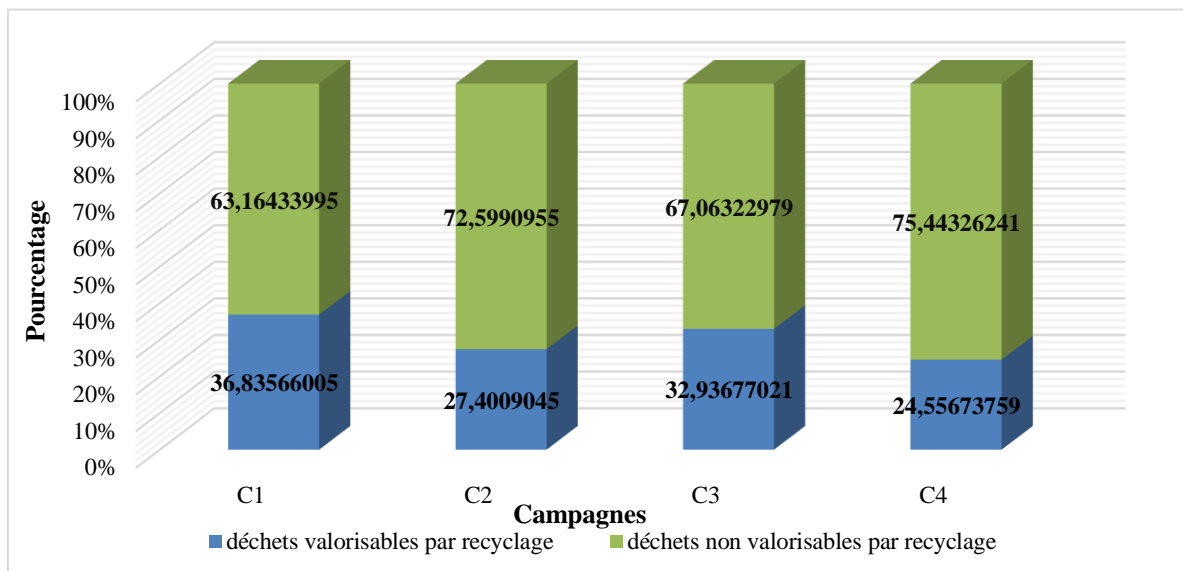


Figure 53 : Estimation des déchets valorisables par recyclage

Conclusion :

L'étude du gisement des déchets de la ville d'Oran a démontré que les déchets putrescibles représentent la fraction la plus importante de la composition des déchets ménagers. Les résultats obtenus ont montré l'impact de la saisonnalité sur la quantité et la qualité des déchets. Compte tenu des résultats de cette analyse, le compostage demeure une solution efficace à plusieurs objectifs dont : la valorisation des déchets, la diminution de la pollution et l'augmentation de la durée de vie des CET, l'amendement des sols (qui ont subi une érosion surtout) et la fertilisation des terres agricoles dans le cas échant, la prochaine partie sera consacrée à l'étude expérimentale du phénomène de compostage des déchets ménagers de la ville d'Oran et ses paramètres.

Liste des références du chapitre IV :

1. Abdelli, I. S., Asnoune, M., Arab, Z., Abdelmalek, F., & Addou, A. (2017). Management of household waste in sanitary landfill of Mostaganem district (Western Algeria). *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19(1), 265–281. <https://doi.org/10.1007/s10163-015-0415-6>
2. Aina, M. P. (2006). Expertises des centres d'enfouissement des déchets urbains dans les PED : Contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2006LIMO0036>
3. Aloueimine, S. (2006). Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2006LIMO0004>
4. Amina Kaoutar BELBACHIR. (2010). Etude de l'évolution urbaine de la ville d'Oran à l'aide des techniques spatiales [USTO]. http://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/index.php?lvl=notice_display&id=3294
5. Asnoune, M., Abdelmalek, F., Djelloul, A., Mesghouni, K., & Addou, A. (2016). Search for a new economic optimum in the management of household waste in Tiaret city (western Algeria). *Waste Management & Research*, 34(11), 1136–1147. <https://doi.org/10.1177/0734242X16657607>
6. Bandara, N. J. G. J., Hettiaratchi, J. P. A., Wirasinghe, S. C., & Pilapiiya, S. (2007). Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: A case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1–3), 31–39. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9705-3>
7. Ben Ammar, S. (2006). Les enjeux de la caractérisation des déchets ménagers pour le choix des traitements adaptés dans les pays en développement : Résultats de la caractérisation dans le grand Tunis : mise au point d'une méthode adaptée [These de doctorat, Vandoeuvre-les-Nancy, INPL]. <http://www.theses.fr/2006INPL065N>
8. Campan, F. (2007). LE TRAITEMENT ET LA GESTION DES DECHETS MENAGERS A LA REUNION: APPROCHE GEOGRAPHIQUE [Phdthesis, Université de la Réunion]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00473306>

9. Chong, T. L., Matsufuji, Y., & Hassan, M. N. (2005). Implementation of the semi-aerobic landfill system (Fukuoka method) in developing countries: A Malaysia cost analysis. *Waste Management*, 25(7), 702–711. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.01.008>
10. Djemaci, B. (2012). La gestion des déchets municipaux en Algérie: Analyse prospective et éléments d'efficacité [Phdthesis, Université de Rouen]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00804063>
11. Guermoud, N., Ouadjnia, F., Abdelmalek, F., Taleb, F., & addou, A. (2009). Municipal solid waste in Mostaganem city (Western Algeria). *Waste Management (New York, N.Y.)*, 29(2), 896–902. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.03.027>
12. Hamza, C., Serradj, T., Brahamia, K., Makhoul, A., & Guerraiche, S. (2013). Physical knowledge of household waste in Algeria: Generation and composition in the town of Annaba. *Waste Management & Research*, 31. <https://doi.org/10.1177/0734242X13502383>
13. Hamza CHENITI. (2014). La Gestion Des Dechets Urbains Solides: Cas De La Ville D'annaba. <https://catalog.ihsn.org/index.php/citations/82957>
14. Hiligsmann, S., Lardinois, M., Rodriguez, C., Kapepula, D., Mhiri, F., Marouani, L., Benzarti, A., Grolet, S., Chamblin, J. F., Antoine, J. N., Noel, J. M., Copin, A., & Thonart, P. (2002a). Investigation of the biological activity in MSW landfills under dry climates (Tunisia and Haiti). <https://orbi.uliege.be/handle/2268/28388>
15. Hiligsmann, S., Lardinois, M., Rodriguez, C., Kapepula, D., Mhiri, F., Marouani, L., Benzarti, A., Grolet, S., Chamblin, J. F., Antoine, J. N., Noel, J. M., Copin, A., & Thonart, P. (2002b). Investigation of the biological activity in MSW landfills under dry climates (Tunisia and Haiti). <https://orbi.uliege.be/handle/2268/28388>
16. Hui, Y., Li'ao, W., Fenwei, S., & Gang, H. (2006). Urban solid waste management in Chongqing: Challenges and opportunities. *Waste Management*, 26(9), 1052–1062. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.005>
17. Khalfallah, W., M, M., Z, L., & Z, T. (2019). Traitement des lixiviats du Centre d'Enfouissement Technique de Hassi Bounif par l'utilisation de deux types d'adsorbants (Bentonite et Zéolithe LTA). *algerian journal of environmental science and technology*, 5(4), 1185–1196. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/120859>

18. Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2002). Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297–336. <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>
19. Marokko_RA_ANG_WEB_Laenderprofile_sweep_net.pdf. (n.d.). Retrieved March 16, 2021, from https://www.retech-germany.net/fileadmin/retech/05_mediathek/laenderinformationen/Marokko_RA_ANG_WEB_Laenderprofile_sweep_net.pdf
20. Mezouari-Sandjakdine, F. (2011). Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2011LIMO4015>
21. Mohee, R. (2002). Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius. *Resources Conservation and Recycling - RESOUR CONSERV RECYCL*, 36, 33–43. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00011-3](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00011-3)
22. Ngnikam, E., Rousseaux, P., Tanawa, E., & Gourdon, R. (2002). Case study of Yaoundé (Cameroon). *Journal of Decision Systems*, 11(3–4), 479–497. <https://doi.org/10.3166/jds.11.479-497>
23. Sakai, S., Yoshida, H., Hirai, Y., Asari, M., Takigami, H., Takahashi, S., Tomoda, K., Peeler, M. V., Wejchert, J., Schmid-Unterseh, T., Douvan, A. R., Hathaway, R., Hylander, L. D., Fischer, C., Oh, G. J., Jinhui, L., & Chi, N. K. (2011). International comparative study of 3R and waste management policy developments. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 13(2), 86–102. <https://doi.org/10.1007/s10163-011-0009-x>
24. Scharff, C., & Vogel, G. (1994). A Comparison of Collection Systems in European Cities. *Waste Management & Research*, 12(5), 387–404. <https://doi.org/10.1177/0734242X9401200503>
25. Skordilis, A. (2004). Modelling of integrated solid waste management systems in an island. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(3), 243–254. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2003.10.007>
26. Tabet, M. (2001). Types de Traitement des Déchets Solides Urbains Evaluation des Coûts et Impacts sur l'«Environnement» Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse, (2001) 97-102. P94-95—Recherche Google.

27. Tahraoui Douma, N. (2013). Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef, Algérie [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2013LIMO4038>

28. Yildiz, S., Yaman, C., Demir, G., Ozcan, H. K., Coban, A., Okten, H. E., Sezer, K., & Goren, S. (2013). Characterization of municipal solid waste in Istanbul, Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 32(3), 734–739. <https://doi.org/10.1002/ep.11640>

29. Zairi, M., Aydi, A., & Dhia, H. B. (2014). Leachate generation and biogas energy recovery in the Jebel Chakir municipal solid waste landfill, Tunisia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16(1), 141–150. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0164-3>

***CHAPITRE V : ETUDE EXPERIMENTALE DU COMPOSTAGE DES
DECHETS DE LA VILLE D'ORAN***

Introduction :

Cette partie est réservée au suivi du comportement de six types de déchets différents pendant le compostage pour voir l'impact de la nature du substrat sur le processus et la qualité du compost mûr. Les substrats utilisés dans cette partie de l'étude étaient constitués de différents types de déchets provenant chacun d'une source différente (voir tableau 16 chap 3). L'objectif était d'étudier le processus de biodégradation de plusieurs types de déchets ; les plus générés en Algérie ; et non seulement les déchets ménagers, pour mieux comprendre le phénomène, ainsi que pour voir la faisabilité du recyclage de ces déchets par compostage.

1. Evolution des caractéristiques physicochimiques :

1.1 La température :

Nous avons constaté qu'au début du processus du compostage, la température augmente rapidement. En effet, la dégradation aérobie produit de la chaleur. Par conséquent, le changement de la température est lié à l'activité des microorganismes contenus dans les substrats (Awasthi et al. 2015), plus les micro-organismes sont actifs, plus ils produisent de la chaleur ce qui rend la phase thermophile la plus longue et donc une dégradation plus rapide de la matière organique (L. Zhang and Sun 2017a). Le suivi de la température permet donc une mesure indirecte de l'intensité des dégradations aérobies. À des températures inférieures à 20°C, ce sont les microorganismes psychotrobes qui sont actifs. Entre 20 et 40°C, c'est le tour des mésophiles, et les thermophiles ne sont actifs qu'à des températures situées entre 40 et 70°C (Mustin 1999). Les prélèvements de température montrent que le compostage des déchets verts, du marc de café et des déchets ménagers se déroule en trois phases: phase mésophile; pendant cette phase, les composés organiques solubles et facilement biodégradables sont détruits et transformés par des microorganismes mésophiles (Manios 2004), phase thermophile; où les microorganismes mésophiles deviennent moins compétitifs et les microorganismes thermophiles prennent les commandes (prennent charge) (Margaritis et al. 2018) et une phase de maturation. Nous avons constaté que le substrat le plus actif est composé de déchets verts, dont la température a atteint une valeur maximale de 63°C (figure 54). Cela montre que le tas est riche en nutriments nécessaires aux micro-organismes. Ces résultats sont similaires aux travaux de (L. Zhang and Sun 2017b) (Tahraoui Douma 2013) (Wang et al. 2017) concernant le nombre et l'ordre de déroulement des phases, mais différent en ce qui concerne le temps et la durée de chaque phase. En effet dans notre étude la phase mésophile dure plus longtemps que dans d'autres travaux de recherche, cela peut être dû aux conditions météorologiques et aux conditions de compostage. Le compostage des déchets fins se déroule en deux phases : mésophile et maturation, ceci s'explique par le faible taux de nutriments, par rapport aux besoins

des microorganismes. Les déchets très fins ont subi une biodégradation mésophile tout au long de leur transformation, ceci est dû à la très faible concentration de microorganismes et de nutriments compte tenu de leur composition et de leur origine. L'évolution de la température de l'humus montre qu'il est en phase de maturation.

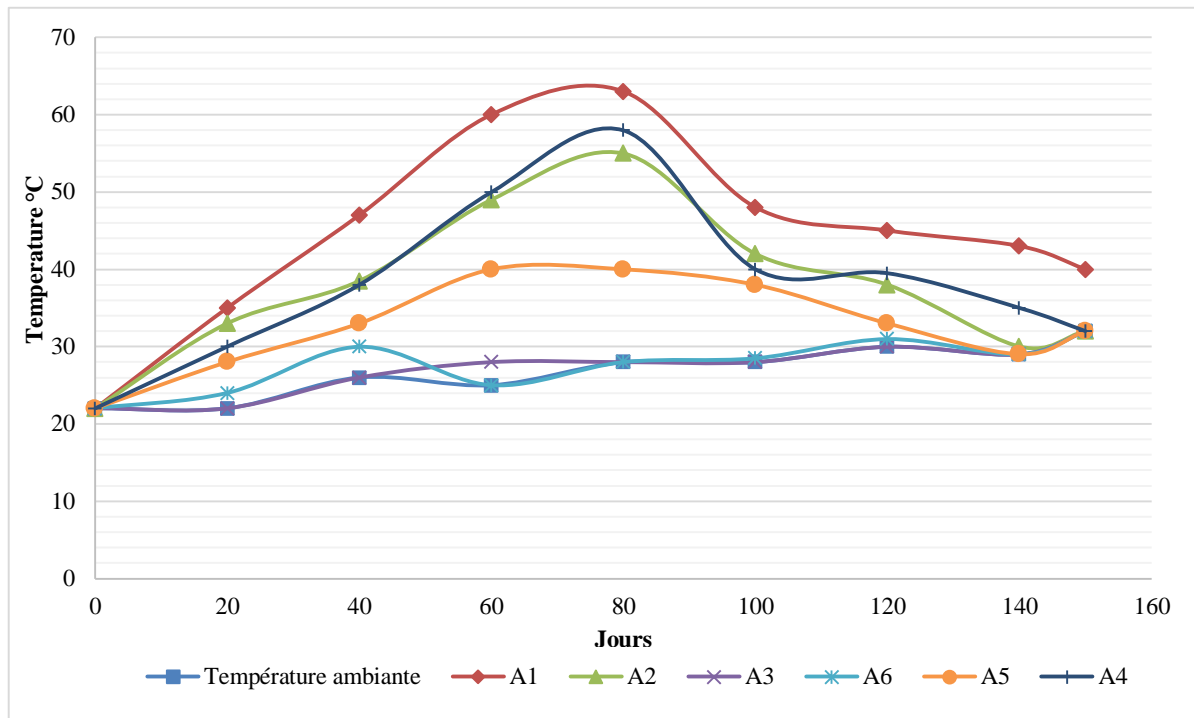


Figure 54 : Evolution de la température au cours de compostage

1.2 Le pH :

Le pH est un bon indicateur de l'évolution du compostage et il a une relation directe avec la perte d'azote (Awasthi et al. 2016). Théoriquement, l'évolution de la valeur du pH pendant le processus du compostage varie entre 5 et 9 en passant, au début du processus, par une phase d'acidification (Tahraoui Douma 2013) suivi, en phase thermophile, d'une légère alcalinisation suite à la libération d'ammonium par le processus d'ammonification des protéines, des acides aminés et des peptides (Bohacz 2019)(Bazrafshan et al. 2016)

Les substrats A1, A2, A5 et A6 répondent bien à cette évolution en passant, au début, par une phase d'acidification et diminution des valeurs de pH au cours de la phase mésophile (Figure 55). cette diminution est liée à la transformation des composés organiques en acides organiques et acides gras (Gajalakshmi and Abbasi 2008) et à la conversion des composés azotés en ammonium NH_4^+ (Liu et al. 2018). Pendant la phase thermophile, les valeurs de pH des substrats cités augmentent de 6,1 à 7,2 à 10,1 ; cela pourrait s'expliquer par la consommation d'acides organiques et gras par des microorganismes (Mustin 1999); qui sont très actifs à des

valeurs de pH comprises entre 7,5 et 8,5 (Jumnoodoo and Mohee 2011); et / ou conversion de NH_4^+ en NH_3 volatil ou en $\text{NO}_2^- / \text{NO}_3^-$ (Liu et al. 2018). La perte et la teneur en azote dans le produit final peut être affectée par la porosité et la capacité d'adsorption du substrat initial (L. Zhang and Sun 2018).

Le pH de l'andain d'humus est resté basique pendant le processus, ce qui confirme la maturité du substrat. L'andain des déchets ménagers n'a pas respecté la forme théorique d'évolution du pH ; la phase d'acidification au début n'a pas été remarquée comme dans les autres substrats. Cela peut s'expliquer par le fait que la biodégradation a commencé bien avant la formation de l'andain, sachant que la collecte des déchets par les autorités, le tri et la formation de l'andain prend entre 24 et 36 heures.

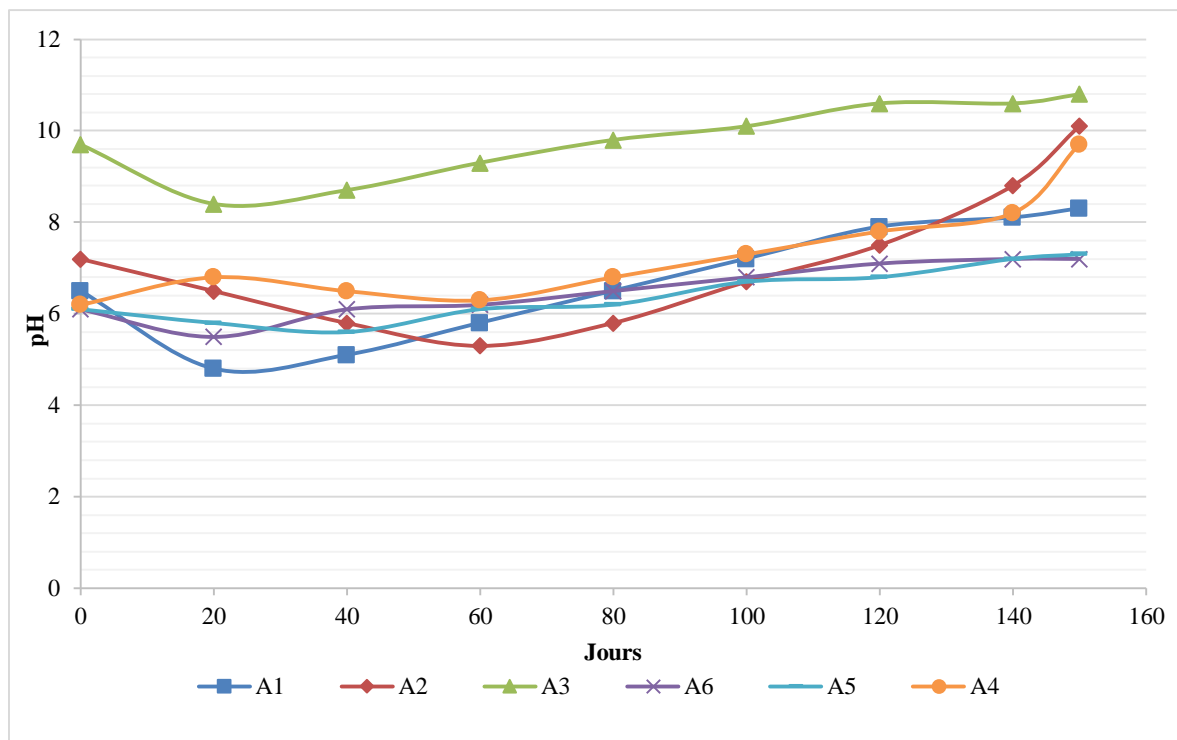


Figure 55 : Evolution du pH au cours de compostage

1.3 L'humidité :

La figure 56 montre que le taux d'humidité initial est de 33% pour l'humus, il augmente jusqu'à 48% en raison d'un arrosage sans perte par évaporation, ceci pourrait s'expliquer par un faible taux et activité des microorganismes et / ou une faible concentration de la matière organique et de nutriments. C'est pourquoi, on a décidé d'interrompre l'arrosage après l'enregistrement de cette valeur relative à cet andain (A3). Pour les autres andains ; des valeurs d'humidité initiales plus élevées ont été enregistrées d'où l'andain des déchets ménagers avait la valeur la plus élevée 62%, cela est dû à la nature du substrat qui contient principalement des

fruits et des déchets végétaux. (Lasaridi et al. 2006)(Andersen et al. 2010) (Tahraoui Douma and Matejka 2016) (Margaritis et al. 2018) ont enregistré des valeurs similaires d'humidité dans les déchets ménagers et le compost issu de ces derniers.

(Mustin 1999) a expliqué que cette humidité peut être présente dans le substrat dans les particules organiques et les espaces lacunaires.

Pendant la phase thermophile, une grande quantité d'humidité nécessaire aux activités des microorganismes est perdue par évaporation en raison de la température élevée et de tournement des andains, cela nécessite de maintenir l'humidité entre 40% et 60% par arrosage : une valeur supérieure à 60% crée des conditions anaérobies, et par conséquent la transformation anaérobie du matériau et, une valeur inférieure à 40% conduit à une déshydratation prématurée du compost (Tiquia-Arashiro, Richard, and Honeyman 2002) (Lasaridi et al. 2006).

Les variations de la teneur en humidité montrent l'effet de la nature du substrat sur le taux d'humidité pendant le processus de biodégradation : autant la porosité du substrat est importante tant l'évolution de l'humidité est plus douce, et c'est le cas du substrat de marc de café. A la phase finale du processus, la teneur en humidité a chuté pour atteindre un niveau bas, et cela pourrait être un bon indicateur pour la maturité des produits.

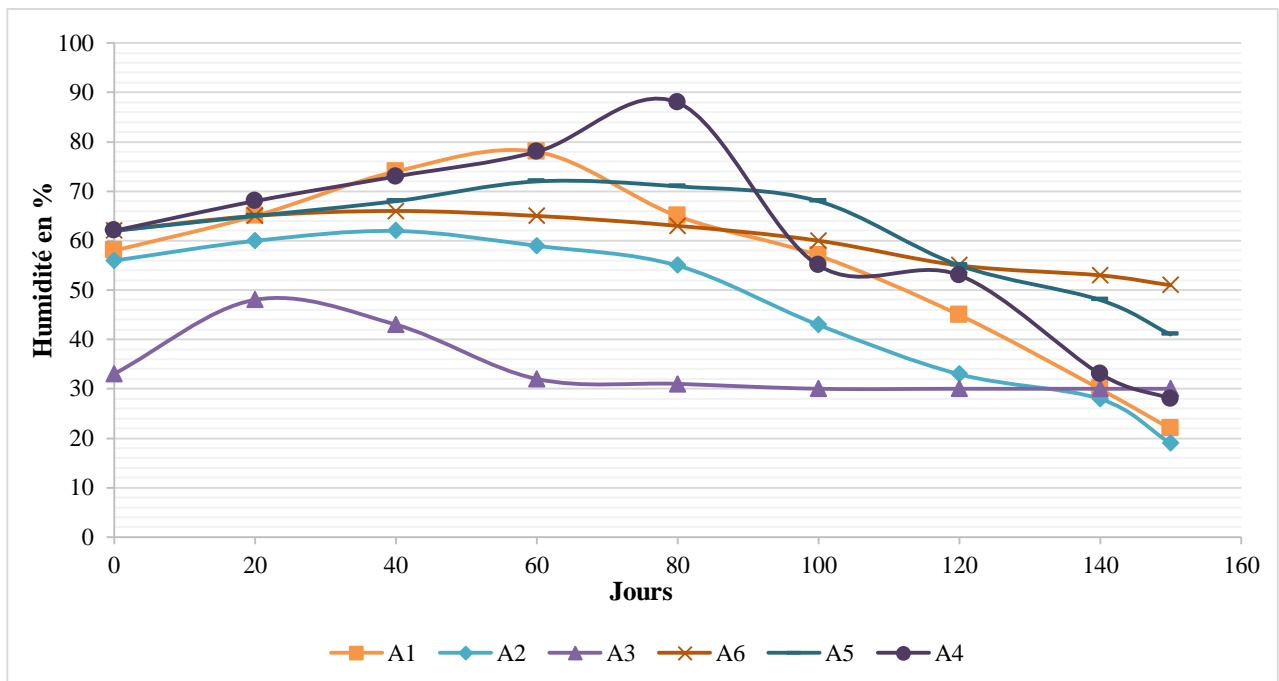


Figure 56 : evolution de l'humidité au cours de compostage

1.4 Matière organique et le CO₂ :

Le taux de la matière organique au cours du compostage varie avec la même courbure pour les déchets verts, le marc de café, les déchets ménagers et les déchets fins (figure 57) en passant par une phase de minéralisation suivie d'une phase de décélération et de stabilisation, il diminue de 92% à 20% pour le marc de café, de 80% à 19 % pour les déchets ménagers et de 62% à 19% pour les déchets verts et les déchets fins, cela rend les composts de marc de café idéaux selon la norme NFU 44-051. Le carbone subit deux transformations principales lors du compostage ; une grande partie est transformée en H₂O, CO₂, et en énergie au début du processus, le reste est progressivement converti en matière humique stable (Awasthi et al. 2015). L'humus et les déchets très fins ont conservé des valeurs presque stables. Ceci est dû à l'humification du carbone pour le premier, et à la faible teneur en matière organique et en microorganismes responsables de la biodégradation pour le second. La dégradation de la matière organique nécessite la consommation d'un volume d'oxygène et produit la libération de la moitié du volume d'oxygène consommé sous forme de CO₂ (de Guardia et al. 2010) le taux de CO₂ libéré indique l'activité des bactéries par rapport à l'apport en oxygène : les graphiques de marc de café, des déchets verts et des déchets fins ont la même apparence, le niveau de CO₂ augmente au cours des 80 premiers jours de 12% à 25%, cela indique que les micro-organismes ont pris du temps pour biodégrader la matière organique, (Margaritis et al. 2018) ont démontré que l'ajout de minéraux aux substrats au début du processus peut accélérer la biodégradation de la matière organique en améliorant la porosité, l'accès à l'oxygène et la teneur en humidité. (L. Zhang and Sun 2018) ont confirmé que les conditions de compostage comme l'ajout d'additifs ,tels que des nutriments ,peuvent affecter les activités microbiennes pour dégrader la matière organique. La diminution du niveau de CO₂ ; malgré le retournement des andains après le 80^{eme} jour ; indique que les substrats sont entrés dans une phase de maturation. Pour les déchets ménagers, deux pics importants de rejet de CO₂ sont notés ; le premier après le 1^{er} retournement au vingtième jour avec un taux de 17% ce qui signifie que les microorganismes étaient très actifs au début du processus après le 1^{er} retournement et le second au 60^{eme} et 80^{eme} jour avec un taux maximum de 20%, on peut dire qu'il s'agit de la phase la plus active du processus de biodégradation de la biomasse (figure 58).

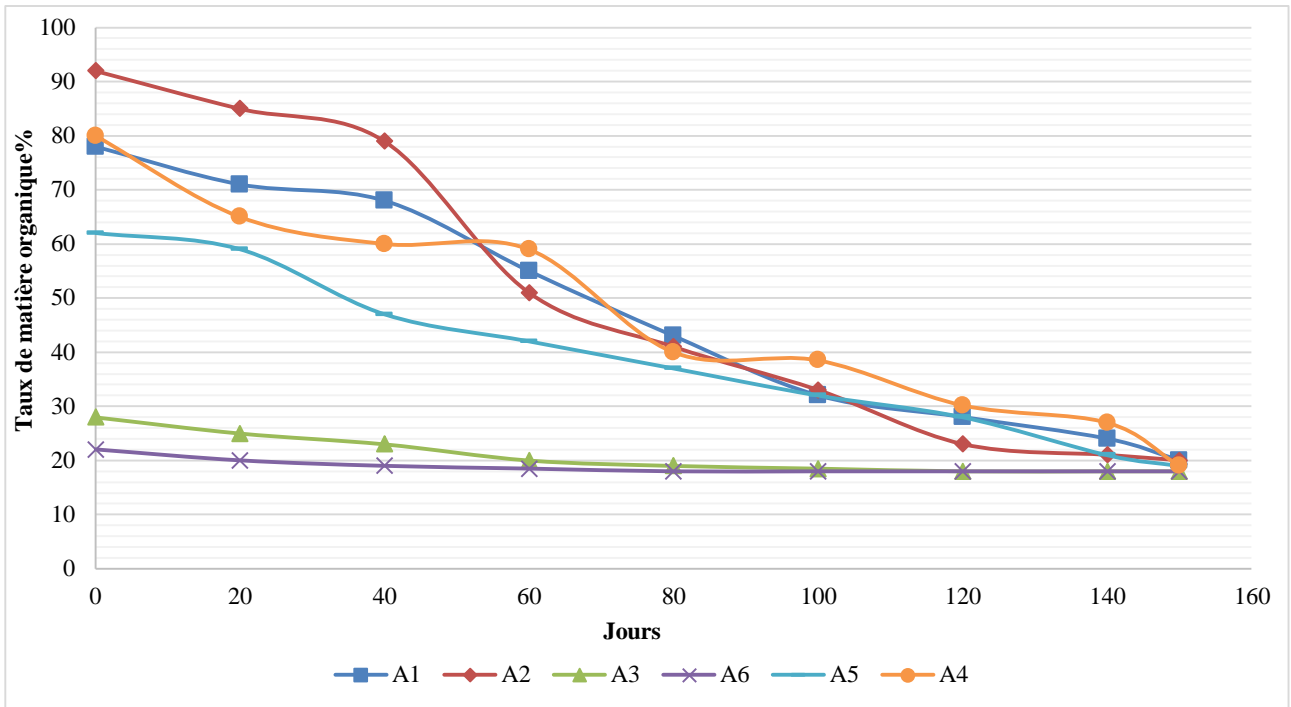


Figure 57 : Evolution du taux de la matière organique au cours du compostage

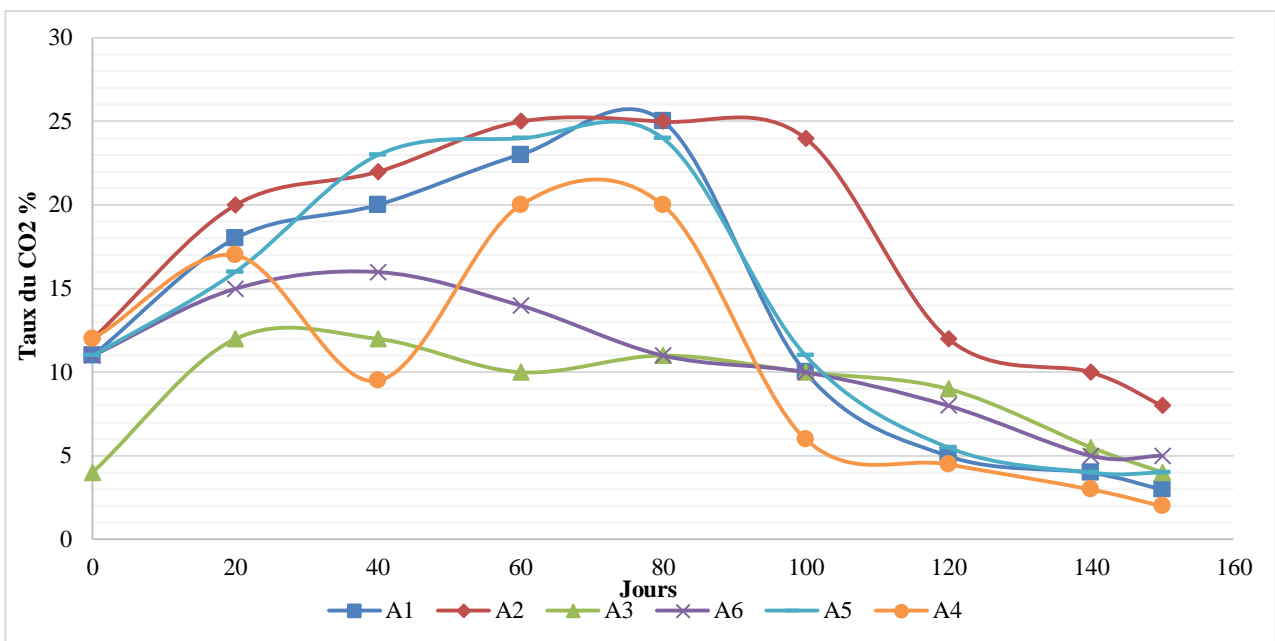


Figure 58 : Evolution du taux de CO₂ libéré au cours du compostage

1.5 La masse volumique :

l'évolution de la masse volumique est inversement proportionnelle à la variation de la granulométrie lors du compostage : au début du processus de biodégradation les substrats des déchets ménagers et des déchets verts avaient une masse volumique moyenne de 0,3 kg par litre, ceci est dû à la grande granulométrie qui était comprise entre 20 et 100 mm .Pour le marc de café, les déchets fins et les déchets très fins, la valeur de la masse volumique initiale était de

0,6 kg par litre et 0,77 kg par litre, également due à sa granulométrie inférieure à 20 mm .Lors de la biodégradation, la taille des particules diminue jusqu'à atteindre des dimensions ne dépassant pas les 5cm, alors que la masse volumique augmente jusqu'à la stabilisation en phase finale du processus pour atteindre une valeur de 1,15 kg par litre pour le marc de café et entre 0,8 kg par litre et 1 kg par litre pour les autres substrats. L'humus n'a pas subi une grande évolution de la masse volumique puisqu'il n'a pas subi de biodégradation significative ni de changement de granulométrie (Figure 59).

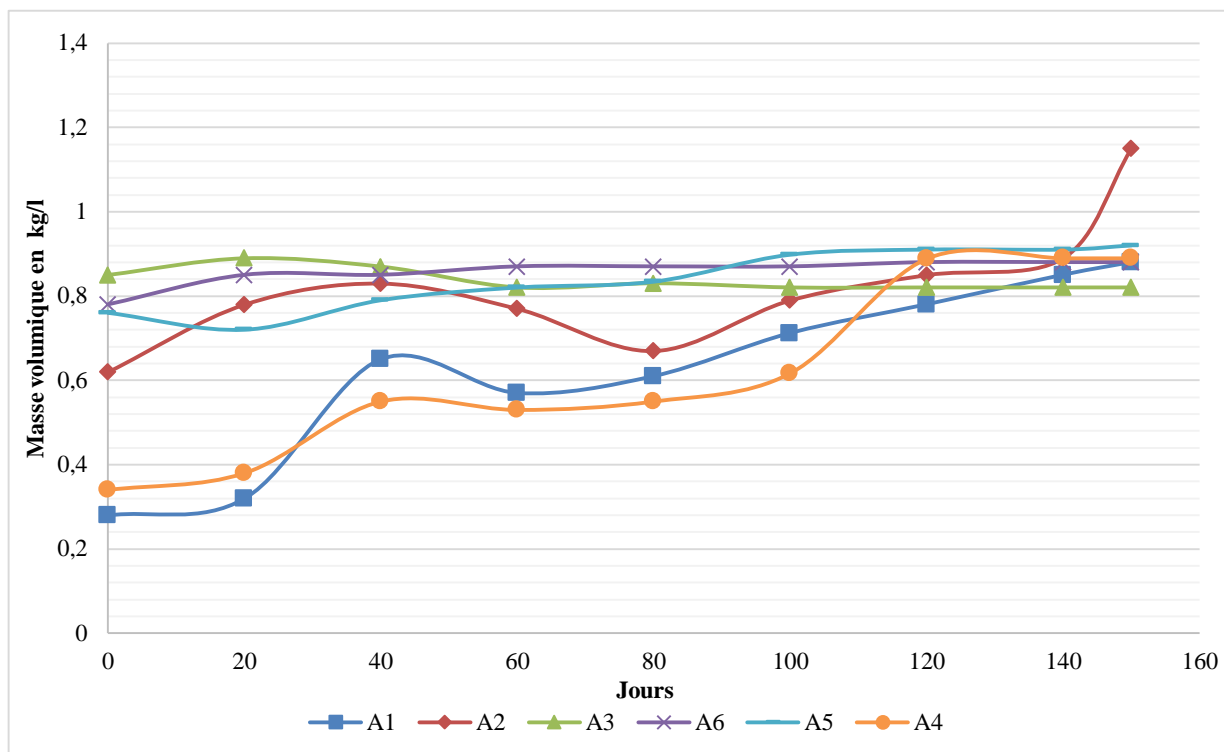


Figure 59 : Evolution de la masse volumique au cours de compostage

1.6 Métaux lourds et macronutriments :

Le contenu des substrats en oligo-éléments métalliques après le compostage varie d'un produit final à l'autre ; Cr, Pb, Zn et Hg n'ont pas dépassé le seuil limite donné par les normes internationales citées pour tous les substrats (tableau 22). L'humus, les déchets ménagers et le compost de déchets verts ont respecté la valeur limite de la teneur en Cd, au contraire, les autres substrats ont dépassé la valeur limite de la teneur en Cd dû peut être à la présence de déchets de piles NiCd et de plastiques stabilisés au Cd (Rosenman 2008). Les déchets très fins ont dépassé le seuil limite de la teneur en Cu selon les normes françaises, canadiennes et anglaises. Sa source reste inconnue. La rétention de certains métaux lourds dans les substrats augmente avec l'augmentation du taux de matière organique (Koledzi Edem et al. 2011) (Shan et al. 2019) ont révélé que c'est pendant la phase thermophile que les sous-fractions de matière organique dissoute redistribuent les métaux lourds. (Compaoré and Nanéma 2010) rapportent que

l'amendement régulier des sols avec des composts contaminés par des métaux lourds présente un risque de qualité compte tenu de la demi-vie de ces métaux (Cu : 2 300 ans, Pb : 860 ans et Zn : 2100 ans). Le compostage des déchets ménagers contaminés par les métaux lourds peut également produire une grande quantité de lixiviat qui peut être contaminée par de nombreux types de métaux lourds (Pierluigi Genevini, 1997) (Lopes et al. 2011) (Chu et al. 2019) ainsi, si les déchets alimentaires sont mélangés à certains matériaux associés aux aliments de consommation comme le plastique (Manfredi et al. 2010). La contamination des composts par des métaux lourds dépend de la saisonnalité et nécessite des frais de traitement importants (Chu et al. 2019).

Tableau 22 : Concentration des métaux lourds dans les composts mûrs

Substrats et normes	Cr	Pb	Cd	Cu	Zn	Hg
A1	28.574	7.678	1.15	122.714	106.646	0.015
A2	2.249	3.33	2.59	57.708	58.513	0.009
A3	10.588	9.628	0.655	44.551	61.666	0.017
A4	0.67	2.937	4.212	113.922	130.879	0.012
A5	1,862	7.725	2.648	35.397	150.827	0.026
A6	9.203	20.345	3.219	479.945	187.553	0
NF U 44-051	120	180	3	300	600	2
Norme chinoise [a]	150	50	3	-----	-----	2
Norme canadienne [b]	210	150	3	400	700	8
Norme britannique [c]	100	200	1.5	200	400	1
Norme américaine [d]	-----	300	39	1500	2800	17

[a]: Standard of organic fertilizer (NY 525, Based on manure, plant/animal residues and/or by-products),

Ministry of Agriculture of China, 2012. ('NY525-2012 - PDF Full-Copy. Auto-Delivered in Minutes. ...' 2012.)

[b]: National standard of compost quality (CAN/BNQ 0413-200, Category A – Compost that can be used in any application, Canadian Council of Ministers of the Environment, 2005).('Ontario Compost Quality Standards | Ontario.Ca' 2012.)

[c]: Standard: PAS 100, European Commission, SWD (2016)64/F1-EN, 2016).

[d]: Code of Federal Regulations-Part 503: Standard for the use of Sewage Sludge (CFR 503.13), Environmental Protection Agency of USA, 2015.

Tableau 23 : Concentration des macronutriments dans les composts mûrs

Substrat	Ca	Mg	P
<i>A1</i>	4824.72	13.799	640.6
<i>A2</i>	618.126	6.8	475.41
<i>A3</i>	4629.56	11.833	397.47
<i>A4</i>	3094.41	6.721	414.29
<i>A5</i>	3191.31	11.097	678.7
<i>A6</i>	3238.84	15.062	615.38

La teneur en éléments nutritifs dépend de la nature du substrat. Les résultats de l'analyse des macronutriments montrent que les composts contiennent des teneurs élevées en P, Mg et Ca(tableau 23).La richesse en éléments minéraux tels que P et en oligo-éléments tels que Ca et Mg permet aux composts produits d'agir comme des engrais mais leur effet principal est d'agir sur la stabilité physique, chimique et biologique du sol (Bertoldi M., De,Vallini G. andPera A., (1983). 1983).

2. Evolution des caractéristiques microbiologiques :

Les micro-organismes dégradent la matière organique par la production d’enzymes, véritables biocatalyseurs de toutes les réactions biochimiques. Ces enzymes sont :

- (1) des extracellulaires c’est-à-dire produits et excrétés par les micro-organismes en activité,
- (2) des intracellulaires, libérés lors de la mort ou de la destruction des cellules, et qui peuvent continuer à opérer indépendamment des cellules productrices pendant un temps plus ou moins

long en dépit de leur relative fragilité. Par l'action de ces enzymes sur la matière organique, les micro-organismes modifient la composition du substrat mais aussi la température et le pH du milieu. Or les enzymes fonctionnent dans une certaine gamme de température et de pH : au fur et à mesure de l'évolution de ces deux paramètres il va y avoir une sélection des populations de micro-organismes possédant un équipement enzymatique propre pour s'adapter à ces nouvelles caractéristiques du milieu. De part leur activité, les micro-organismes du compost, à un moment donné, créent les conditions de leur propre destruction qui se trouvent être optimales pour la vague suivante des populations. La diversité de la flore existante est donc en fait liée aux différents niveaux de biodégradabilité des constituants organiques : des communautés différentes de micro-organismes vont ainsi se succéder en fonction du niveau de décomposition atteint et de leur équipement enzymatique. Cette succession de décomposition explique en fait la succession des différentes phases du compostage.

2.1 Bacilles et mésophiles aérobies totaux :

L'évolution des bacilles est remarquable pour le marc de café, les déchets verts, les déchets ménagers et les déchets fins (figure 60). La charge bactérienne augmente pendant la phase mésophile et la phase thermophile jusqu'à atteindre une valeur de 110×10^8 CFU /g pour les déchets fins après le 80^{ème} jour de compostage, 230×10^8 CFU /g pour les déchets ménagers après le 60^{ème} jour, 250×10^8 CFU /g pour les déchets verts après 80^{ème} jour, et une valeur maximale de 270×10^8 CFU / g pour le marc de café après 80^{ème} jour. Les bacilles sont actifs pendant la phase mésophile et la phase thermophile du compostage, leur concentration diminue au fil du temps pendant la phase de stabilisation et de maturation. Idem pour les bactéries mésophiles aérobies, l'évolution est remarquable pour les déchets verts, le marc de café, les déchets ménagers et les déchets fins. La charge bactérienne augmente pendant la phase mésophile jusqu'à atteindre le pic après 40 jours pour tous les substrats, ce pic a une valeur de $3,5 \times 10^6$ CFU /g pour les déchets fins, $6,9 \times 10^6$ CFU / g pour les ordures ménagères, $8,2 \times 10^6$ CFU /g pour le marc de café, et une valeur maximale de $9,5 \times 10^6$ UFC / g pour les déchets verts. Les bactéries aérobies mésophiles sont actives pendant la phase mésophile, leur concentration diminue avec le temps pendant la phase thermophile, la stabilisation et la phase de maturation (figure 61).

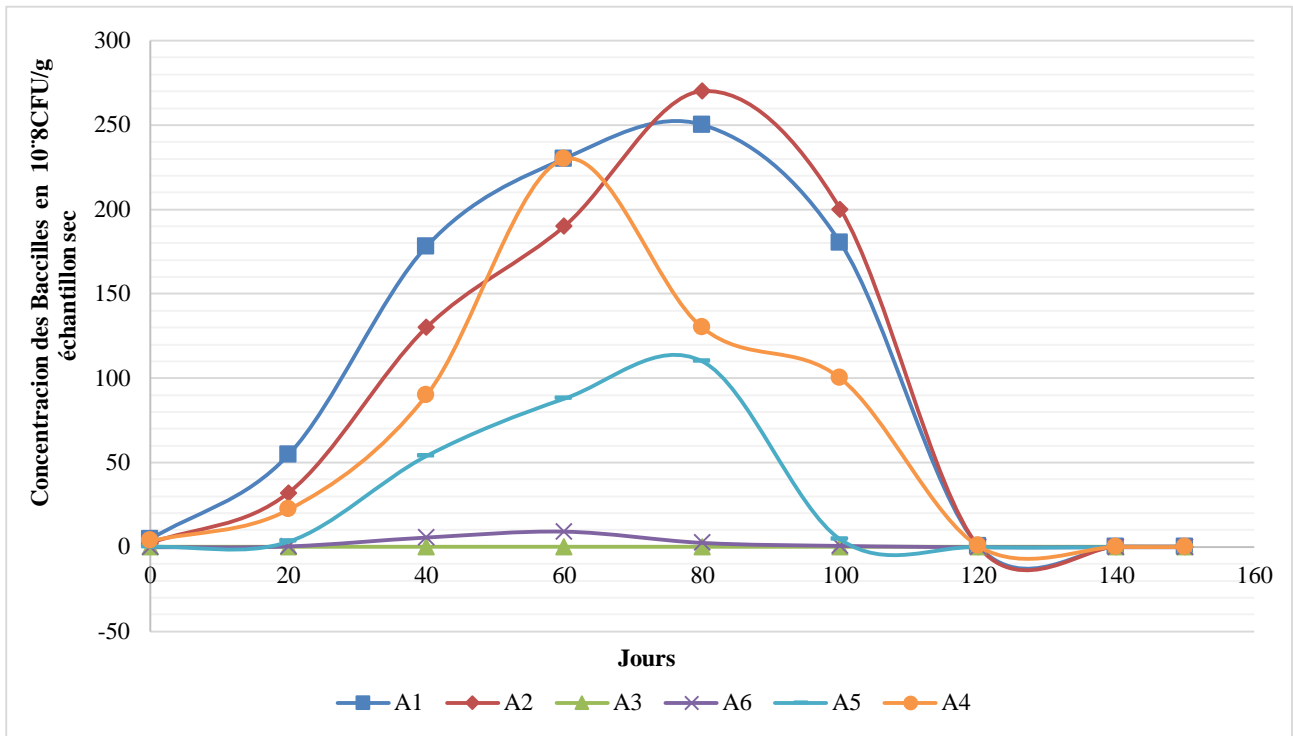


Figure 60 : Effet de la nature du substrat sur l'évolution des bacilles au cours du compostage

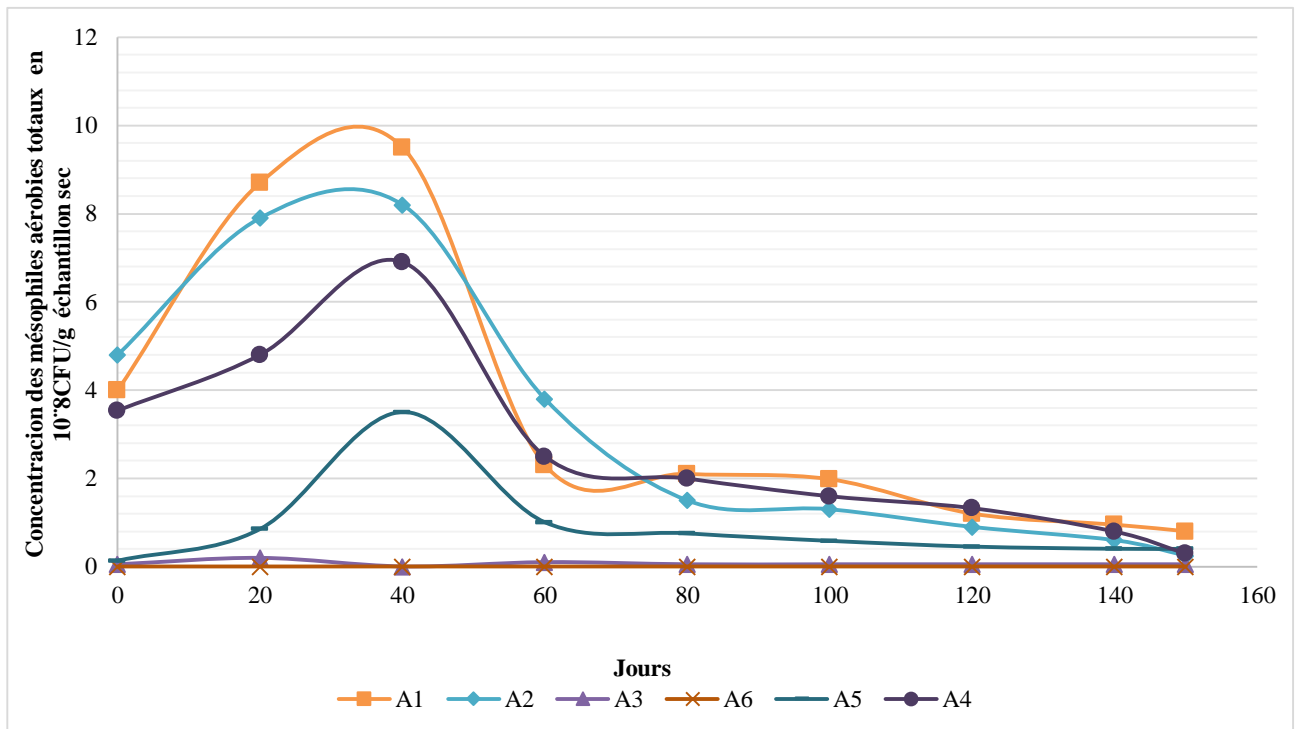


Figure 61 : Effet de la nature du substrat sur l'évolution des mésophiles aérobies totaux au cours du compostage

2.2 Levures et moisissures :

L'évolution des levures et des moisissures est remarquable pour les déchets de café, les déchets verts et les déchets ménagers. Les concentrations de microorganismes ont connu une augmentation significative pendant la phase mésophile jusqu'à atteindre une valeur de 174×10^7 CFU /g pour les déchets ménagers après le 20e jour, 210×10^7 CFU /g pour les déchets verts après le 20e jour, et une valeur maximale de 390×10^7 CFU /g pour les déchets de café après le 20e jour. Entrer dans la phase thermophile ; les levures et les moisissures diminuent progressivement jusqu'à atteindre une valeur minimale inférieure à 50×10^7 UFC /g pour tous les substrats à la fin de la phase thermophile ; ceci est dû à leur faible résistance thermique qui ne leur permet pas de survivre dans des environnements à températures élevées ; ils augmentent à nouveau pendant la phase de stabilisation et de maturation pour atteindre des valeurs stables entre 56×10^7 CFU /g et 117×10^7 CFU /g (figure 62 et 63).

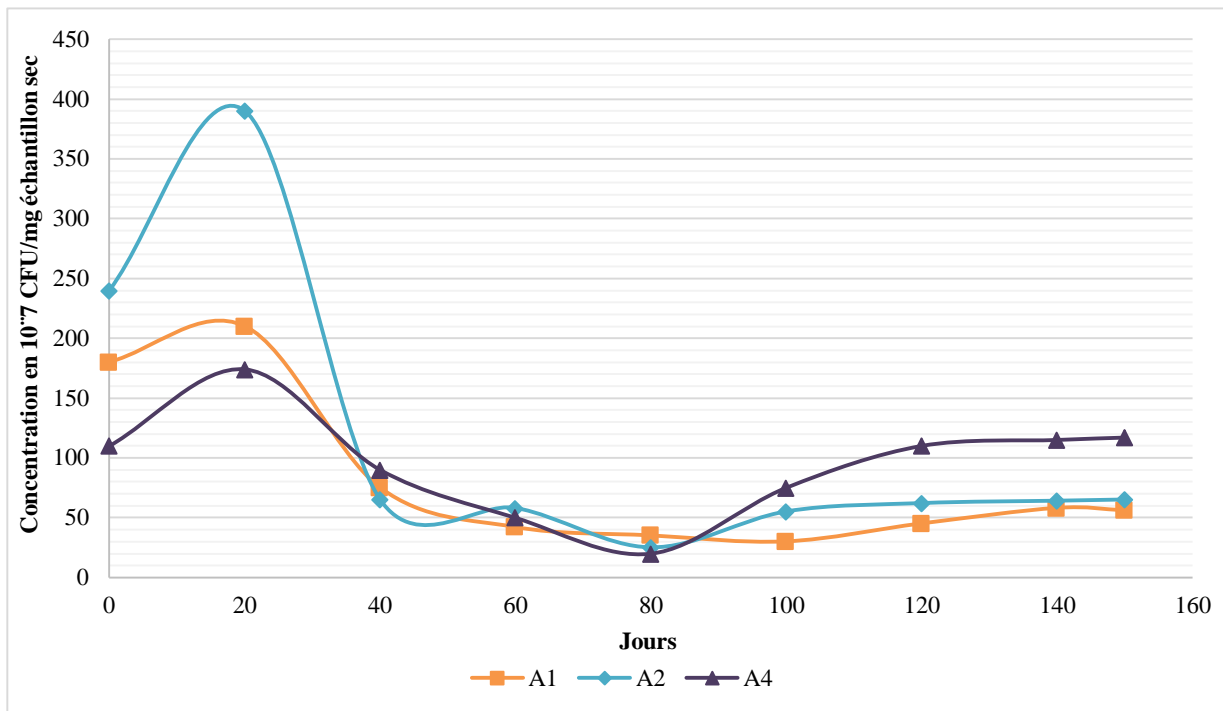


Figure62 : Effet de la nature de substrat sur l'évolution des levures et moisissures au cours du compostage pour A1, A2 et A4

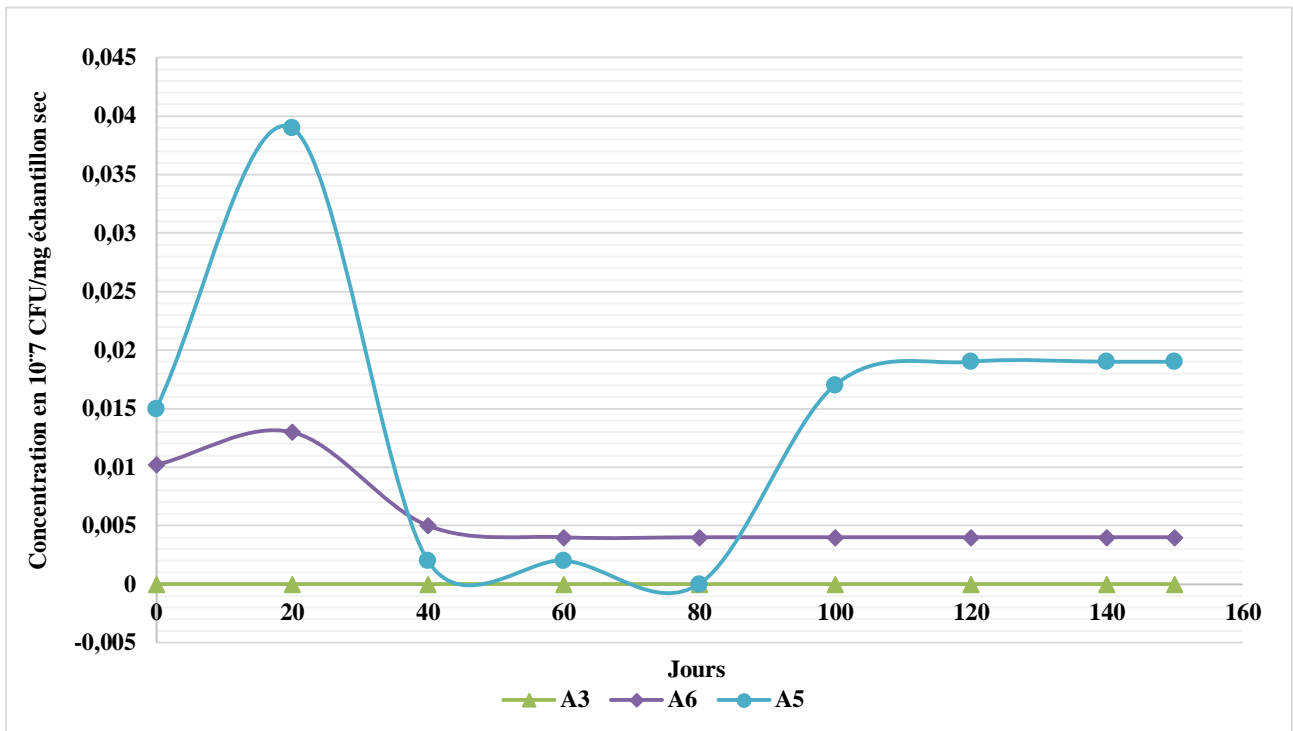


Figure 63 : Effet de la nature de substrat sur l'évolution des levures et moisissures au cours du compostage pour A3, A5 et A6

2.3 Les microorganismes pathogènes (*Salmonella et shigella*) :

La montée en température lors du compostage permet normalement de détruire la majorité des germes pathogènes. Cette « hygiénisation » du compost est généralement réalisée pour un compostage se déroulant dans de bonnes conditions (retournement, aérobiose, durée suffisante, humidité). Une étude du hollandais BOLLEN (1984) (Département de Phytopathologie, Université d'Agriculture de Wageningen) a permis de montrer que la presque totalité des germes sont détruits au cours du compostage, dans la mesure où les températures se situent entre 40 et 70° C. Certains germes particuliers résistants aux températures élevées, dans le compost de déchets verts, proviennent en fait de l'introduction de végétaux malades dans les broyats.

Lors de notre étude nous avons constaté que La concentration en salmonelles et shigella tend vers zéro pour tous les substrats en fin de compostage hormis les très petits déchets : ces résultats sont conformes à la norme NF U 44-051 qui indique l'absence de salmonelles et shigella dans 25 grammes de compost destiné aux cultures maraîchères et absence de salmonelle et de shigella dans un gramme de compost destiné aux autres cultures (figure 64).

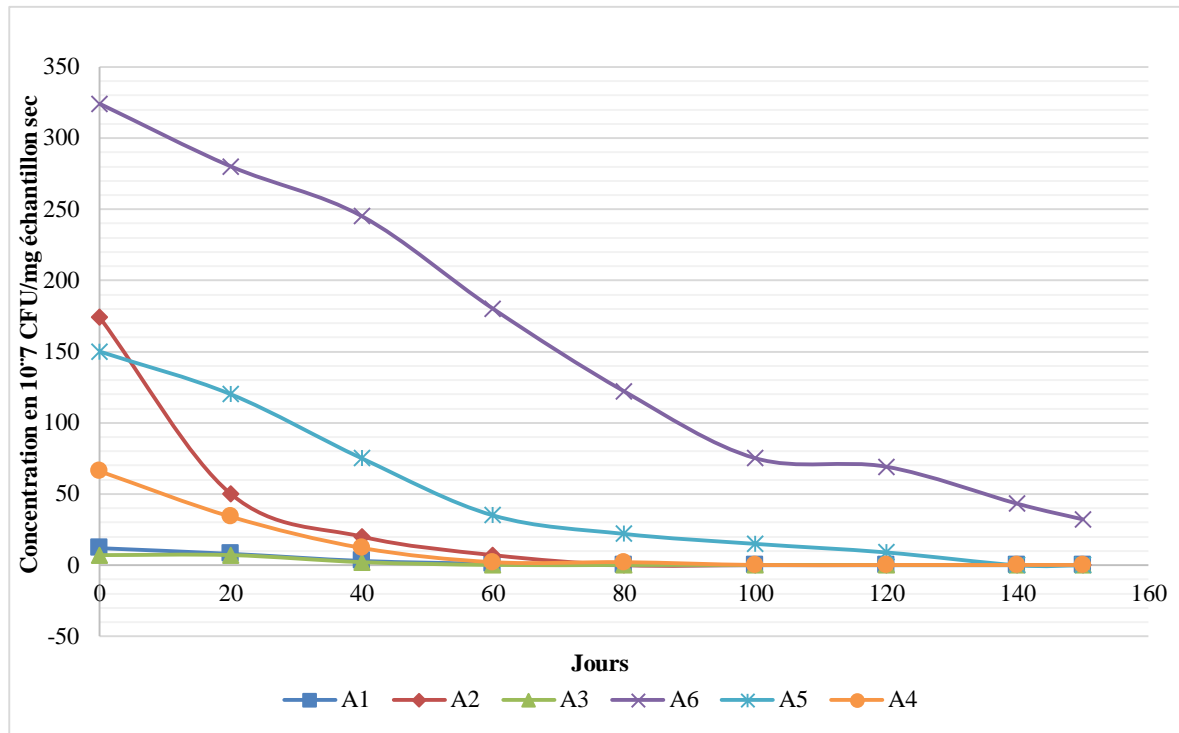


Figure 64 : Effet de la nature de substrat sur l'évolution de *Salmonella et shigella* au cours du compostage.

Conclusion :

L'intérêt principal de cette expérimentation repose sur l'étude de l'impact de la nature du substrat (déchets) sur l'évolution du processus de compostage et sur la qualité du compost produit. Six types de déchets différents ont été compostés séparément en andains ; ils ont subi une biodégradation aérobie pendant 150 jours avec le suivi de leurs caractéristiques physico-chimiques et de leur microflore. Les résultats ont montré que les déchets verts, le marc de café et les déchets ménagers (la fraction putrescible séparée des autres fractions) peuvent être considérés comme les meilleurs substrats à valoriser par compostage. Les déchets fins et les déchets très fins n'ont pas subi la meilleure transformation et n'ont pas donné le résultat attendu, par contre, ils peuvent servir d'amendement du sol pour les espaces verts et les jardins publics. L'humus peut être considéré comme non transformé puisqu'il était déjà mûr et considéré comme témoin.

Liste des références du chapitre V :

1. Andersen, J., Boldrin, A., Christensen, T., & Scheutz, C. (2010). Mass balances and life-cycle inventory for a garden waste windrow composting plant (Aarhus, Denmark). *Waste Management & Research : The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 28, 1010–1020. <https://doi.org/10.1177/0734242X10360216>
2. Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Bundela, P. S., & Khan, J. (2015). Co-composting of organic fraction of municipal solid waste mixed with different bulking waste: Characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic. *Bioresource Technology*, 182, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.104>
3. Awasthi, M. K., Wang, Q., Huang, H., Li, R., Shen, F., Lahori, A. H., Wang, P., Guo, D., Guo, Z., Jiang, S., & Zhang, Z. (2016). Effect of biochar amendment on greenhouse gas emission and bio-availability of heavy metals during sewage sludge co-composting. *Journal of Cleaner Production*, 135, 829–835. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.008>
4. Bazrafshan, E., Zarei, A., Kord Mostafapour, F., Poormollae, N., Mahmoodi, S., & Zazouli, M. A. (2016). Maturity and Stability Evaluation of Composted Municipal Solid Wastes. *Health Scope*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.17795/jhealthscope-33202>
5. Bertoldi M., De,Vallini G. andPera A., (1983). (1983). "The biology of composting: A review". *WasteManagement &Research* 1: 157-176.
6. Bohacz, J. (2019). Changes in mineral forms of nitrogen and sulfur and enzymatic activities during composting of lignocellulosic waste and chicken feathers. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(10), 10333–10342. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04453-2>
7. Chu, Z., Fan, X., Wang, W., & Huang, W. (2019). Quantitative evaluation of heavy metals' pollution hazards and estimation of heavy metals' environmental costs in leachate during food waste composting. *Waste Management*, 84, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.031>
8. Compaoré, E., & Nanéma, L. S. (2010). Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 6.
9. de Guardia, A., Mallard, P., Teglia, C., Marin, A., Le Pape, C., Launay, M., Benoist, J. C., & Petiot, C. (2010). Comparison of five organic wastes regarding their behaviour during

composting: Part 1, biodegradability, stabilization kinetics and temperature rise. *Waste Management*, 30(3), 402–414. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.019>

10. Gajalakshmi, S., & Abbasi, S. A. (2008). Solid Waste Management by Composting: State of the Art. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 38(5), 311–400. <https://doi.org/10.1080/10643380701413633>

11. Jumnoodoo, V., & Mohee, R. (2011). Evaluation of FTIR spectroscopy as a maturity index for herbicide-contaminated composts. *International Journal of Environment and Waste Management*, 9(1–2), 89–99. <https://doi.org/10.1504/IJEW.2012.044162>

12. Koledzi Edem, Gnon Baba, Genevieve Feuillade-Cathalifaud, & Guy Matejka. (2011). Caractérisation physique des déchets solides urbains à Lomé au Togo, dans la perspective du compostage décentralisé dans les quartier. https://www.researchgate.net/publication/273950205_Caracterisation_physique_des_dechets_solides_urbains_a_Lome_au_Togo_dans_la_perspective_du_compostage_decentralise_dans_les_quartier

13. Lasaridi, K., Protopapa, I., Kotsou, M., Pilidis, G., Manios, T., & Kyriacou, A. (2006). Quality Assessment of Composts in the Greek Market: The Need for Standards and Quality Assurance. *Journal of Environmental Management*, 80, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.011>

14. Liu, L., Wang, S., Guo, X., Zhao, T., & Zhang, B. (2018). Succession and diversity of microorganisms and their association with physicochemical properties during green waste thermophilic composting. *Waste Management*, 73, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.026>

15. Lopes, C., Herva, M., Franco-Uría, A., & Roca, E. (2011). Inventory of heavy metal content in organic waste applied as fertilizer in agriculture : Evaluating the risk of transfer into the food chain. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(6), 918–939. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0444-1>

16. Manfredi, E. C., Flury, B., Viviano, G., Thakuri, S., Khanal, S. N., Jha, P. K., Maskey, R. K., Kayastha, R. B., Kafle, K. R., Bhochhibhoya, S., Ghimire, N. P., Shrestha, B. B., Chaudhary, G., Giannino, F., Carteni, F., Mazzoleni, S., & Salerno, F. (2010). Solid Waste and Water Quality Management Models for Sagarmatha National Park and Buffer Zone, Nepal.

Mountain Research and Development, 30(2), 127–142. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00028.1>

17. Manios, T. (2004). The composting potential of different organic solid wastes: Experience from the island of Crete. *Environment International*, 29(8), 1079–1089. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00119-3](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00119-3)

18. Margaritis, M., Psarras, K., Panaretou, V., Thanos, A. G., Malamis, D., & Sotiropoulos, A. (2018). Improvement of home composting process of food waste using different minerals. *Waste Management*, 73, 87–100. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.009>

19. Mustin, M. (1999). *Le compost: Gestion de la matière organique*. Editions François Dubusc.

20. NY525-2012—PDF full-copy. Auto-delivered in minutes. .. (n.d.). Retrieved March 19, 2021, from <https://www.chinesestandard.net/PDF/Sample.aspx/NY525-2012>

21. Ontario Ministry of the Environment, Waste Management Policy Branch. (n.d.). Ontario Compost Quality Standards | Ontario.ca. Retrieved March 19, 2021, from <https://www.ontario.ca/page/ontario-compost-quality-standards>

22. Pierluigi Genevini,. (1997). Heavy metal content in selected european commercial composts. *Compost Science and Utilization* Volume 5, Issue 4, , Pages 31-39. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1997.10701895>

23. Rosenman, D. (2008). AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. 63.

24. Shan, G., Xu, J., Jiang, Z., Li, M., & Li, Q. (2019). The transformation of different dissolved organic matter subfractions and distribution of heavy metals during food waste and sugarcane leaves co-composting. *Waste Management*, 87, 636–644. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.005>

25. Tahraoui Douma, N. (2013). Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef, Algérie [These de doctorat, Limoges]. <http://www.theses.fr/2013LIMO4038>

26. Tahraoui Douma, N., & Matejka, G. (2016). Sorting-Composting of Biodegradable Waste in the Municipality of Chief (Algeria): The Key Steps. *International Journal of Waste Resources*, 6. <https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000204>

27. Tiquia-Arashiro, S., Richard, T., & Honeyman, M. (2002). Carbon, nutrient, and mass loss during composting. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62, 15–24. <https://doi.org/10.1023/A:1015137922816>
28. Wang, S.-P., Zhong, X.-Z., Wang, T.-T., Sun, Z.-Y., Tang, Y.-Q., & Kida, K. (2017). Aerobic composting of distilled grain waste eluted from a Chinese spirit-making process: The effects of initial pH adjustment. *Bioresource Technology*, 245(Pt A), 778–785. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.051>
29. Zhang, L., & Sun, X. (2017a). Addition of seaweed and bentonite accelerates the two-stage composting of green waste. *Bioresource Technology*, 243, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.099>
30. Zhang, L., & Sun, X. (2017b). Using cow dung and spent coffee grounds to enhance the two-stage co-composting of green waste. *Bioresource Technology*, 245, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.147>
31. Zhang, L., & Sun, X. (2018). Effects of bean dregs and crab shell powder additives on the composting of green waste. *Bioresource Technology*, 260, 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.126>

DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

Cette étude a été initiée dans le cadre d'étudier le phénomène de compostage des déchets ménagers de la ville d'Oran pour la fertilisation des sols.

La partie bibliographique et la collecte des données sont des phases très importantes qui ont permis de souligner les anomalies et défaillances qui sont la cause de la défaillance du système de gestion des déchets en Algérie en général, et à Oran en particulier. Ces deux phases ont aussi permis de mieux cerner les déficits liés au manque de base de données relatives au gisement des déchets ménagers en terme de qualité, quantité, méthodes de valorisation, et modes de traitement. En fait, il n'était pas possible de procéder au compostage des déchets ménagers directement avant d'étudier le gisement et les facteurs influant sur ce dernier. L'analyse bibliographique avec l'analyse de la situation actuelle de l'Algérie comme pays en voie de développement a montré que l'une des principales causes de défaillance du système de gestion des déchets dans les PED est l'absence quasi-totale de la mise à jour et l'actualisation du schéma de gestion des déchets. Les principaux acteurs ne sont pas stables et donc le schéma de gestion doit être mis à jour systématiquement. On propose, d'ailleurs, l'étape suivante dans le schéma de gestion des déchets décrit dans le premier chapitre pour une meilleure maîtrise de la situation.

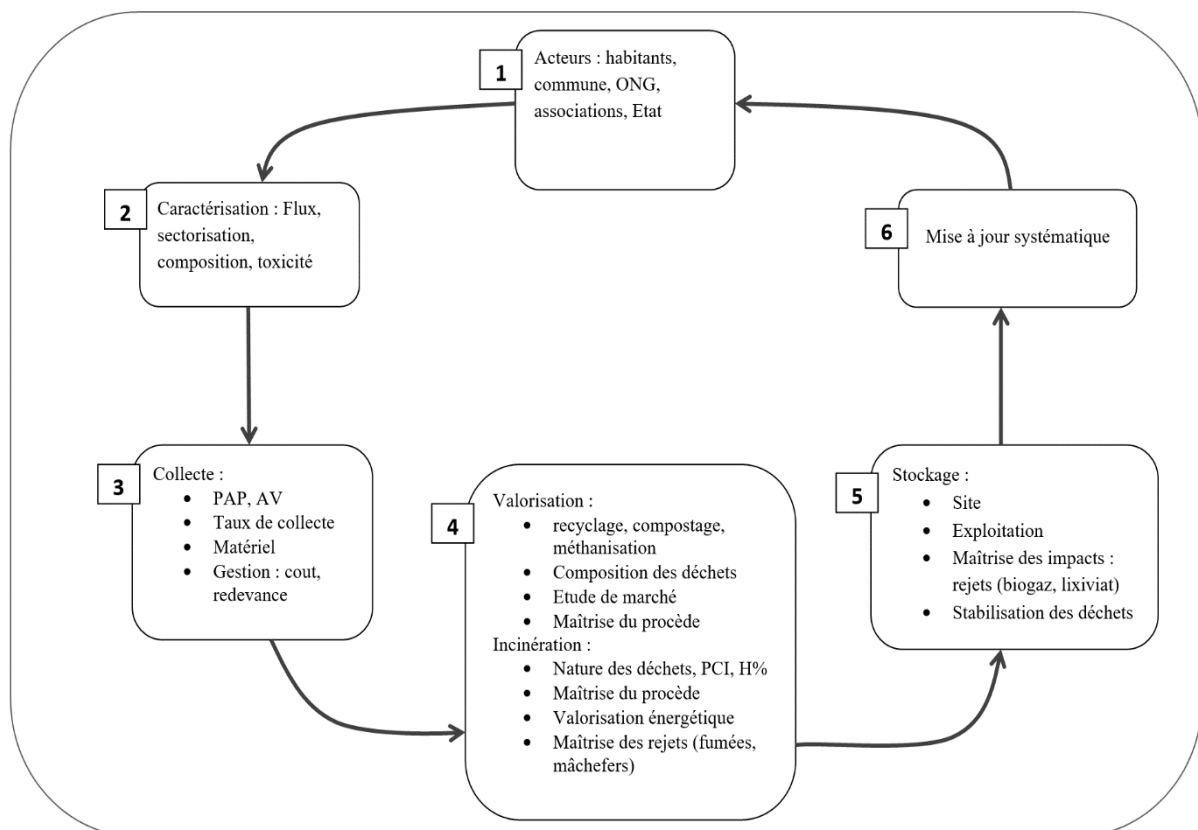


Figure 65 : Schéma de gestion durable des déchets ménagers

La mise à jour systématique du circuit : la mise à jour systématique de toutes les étapes citées permettra la durabilité de la démarche de gestion des déchets, il s'agit d'un circuit fermé comme montré dans la figure 65.

L'analyse des informations recueillies a montré l'impact important de l'augmentation de la population et du mode de vie sur la production des déchets en milieu urbain ; la croissance galopante de la démographie, le développement et extension de l'urbanisation et l'amélioration du mode de vie conduisent à l'augmentation du ratio de production des déchets par habitant, l'absence de l'application de la loi est la principale cause de la dispersion des déchets dans les rues et dans la nature, l'existence des outils règlementaires n'a aucune importance si ils ne sont pas appliqués sur terrain. Les impacts de ces défaillances sur l'environnement et sur la santé publique seront de plus en plus importants compte tenu de la situation actuelle en terme de quantité des déchets produits et moyens et méthodes d'élimination et de traitement,

L'aspect expérimental de cette étude se traduit en deux axes principaux :

La caractérisation des déchets ménagers de la ville d'Oran :

- Les déchets putrescibles présentent la fraction la plus abondante dans la composition des ordures ménagères ;
- Le taux de production des déchets est plus grand pendant le mois de Ramadan, la composition reste similaire par rapport les autres mois de l'année ;
- Le gisement des déchets recyclables est composé principalement de plastique, papier-carton, verre, et métaux, une grande partie de ces fractions est récupérée par l'informel avant d'arriver au CET ;
- Les textiles sanitaires présentent un défi qui mérite d'être étudié, c'est une fraction qui contient un taux de carbone très élevé mais aussi des composés indésirables pour le compostage, aussi un taux d'humidité supérieure à celui recommandé pour la valorisation énergétique, le meilleur mode de traitement de cette catégorie reste un sujet de recherche ;
- Le gisement des déchets valorisables par compostage est assez important, quelle que ce soit la saison, il dépasse 60 pourcent du gisement total des déchets ; ce taux élevé des déchets biodégradables indique la rentabilité de compostage en terme de gestion des déchets et en terme de création d'une source de revenu en produisant des engrais bios destinés à l'agriculture. La valorisation de cette fraction permettra de réduire le volume des déchets enfuis

- La caractérisation des déchets a révélé que les déchets ménagers sont pour la plupart de taille moyenne entre 20mm et 100mm, ces informations peuvent aider à la conception des unités de traitement des déchets,

Le compostage des déchets ménagers de la ville d'Oran et d'autres types de déchets :

L'intérêt principal de cette expérimentation repose sur l'étude de l'impact de la nature du substrat (déchets) sur l'évolution du processus de compostage et la qualité du compost produit. Six types de déchets différents ont été compostés séparément en andains ; ils ont subi une biodégradation aérobie pendant 150 jours avec suivi de leurs caractéristiques physico-chimiques et leur microflore. Les résultats ont montré que les déchets verts, le marc de café et les déchets ménagers (la fraction putrescible séparée des autres fractions) peuvent être considérés comme les meilleurs substrats à valoriser par compostage ; leurs caractéristiques physico-chimiques ont évolué de manière similaire et avec la même courbure. Le taux de métaux lourds ne dépasse pas les normes pour les trois substrats sauf que pour le marc de café, la concentration de Cd a dépassé la norme britannique, et cela est dû à l'incorporation de marc de café avec des déchets plastiques ; ces derniers contiennent du Cd comme améliorant de qualité. La teneur en macronutriments peut être améliorée par l'ajout d'additifs. L'évolution des caractéristiques microbiologiques est également similaire pour les trois substrats ; au début du processus de biodégradation, les bactéries mésophiles, les levures et les moisissures interviennent jusqu'à atteindre la phase thermophile. C'est là où les bacilles se charge de la biodégradation jusqu'à la phase de ralentissement durant laquelle les levures et les moisissures interviennent à nouveau mais en faibles concentrations par rapport à la phase mésophile. La concentration de microorganismes pathogènes telles que la salmonelle et la shigella n'a pas dépassé la norme NFU 44-051. Les trois substrats ont donné un bon compost et peuvent être utilisés comme engrais bios pour les cultures maraîchères. En respectant les conditions opératoires nécessaires à la biodégradation (le rapport C/N entre 20-30 et le taux d'humidité entre 40% et 60%), les déchets verts, les déchets ménagers et le marc de café peuvent donner un compost destiné aux cultures maraîchères. Il est préférable de déterminer, au préalable, le taux des métaux lourds. Les déchets fins et les déchets très fins n'ont pas subi la meilleure transformation et n'ont pas donné le meilleur résultat, ainsi, ils peuvent servir d'amendement du sol pour les espaces verts et les jardins publics. L'humus peut être considéré comme non transformé puisqu'il était déjà mûr et considéré comme témoin. D'autres facteurs tels que l'effet des conditions saisonnières et la technique de compostage peuvent être explorés dans de futures études pour mieux comprendre le sujet.

La valeur ajoutée de cette étude est qu'elle contient des informations relatives et nécessaires à l'élaboration d'un plan de gestion des déchets. En effet, afin d'établir un plan de gestion durable des déchets solides, il est utile de déterminer la composition et caractériser les déchets. Par conséquent, les résultats de cette étude devraient contribuer à la détermination d'un système solide et durable de gestion des déchets à long terme.

Le compostage de la fraction putrescible des déchets ménagers de la ville d'Oran a un double effet : l'augmentation de la durée de vie des centres d'enfouissement techniques par élimination des déchets et amendement des sols, dans le cas le plus échéant la fertilisation des sols agricoles.

ANNEXES

Annexe 1 : état du CET de Hassi Bounif



Défaillance de l'unité de récupération et compactage du carton au CET Hassi bounif (2017)



Saturation des casiers d'enfouissement du CET Hassi bounif (2017)

Annexe 2 : Déroulement des campagnes

1. Réception de l'échantillon



2 . Quartage et préparation au tri



3. Tri par catégorie pour la fraction >100mm



6 . Récupération de la fraction putrescible pour le compostage



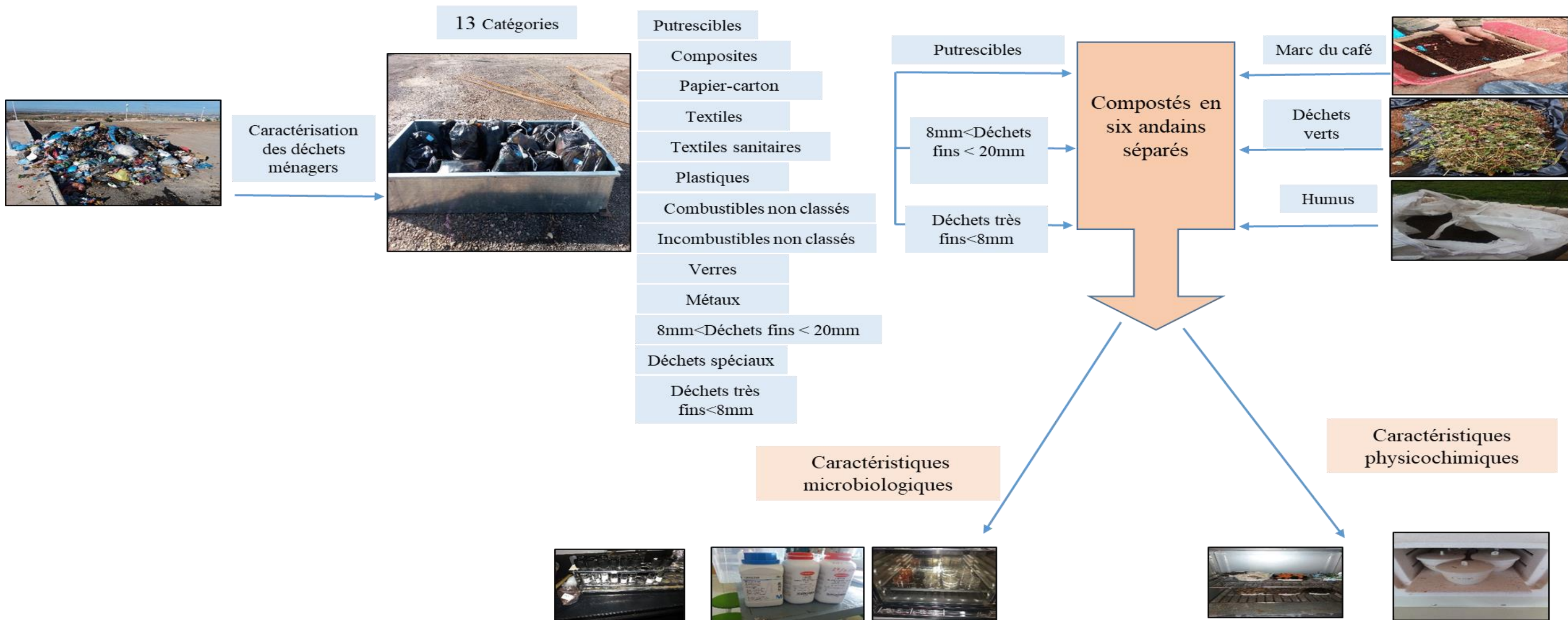
5 . Pesage de chaque catégorie



4. les 13 catégories triées



Annexe 3 : Compostage de six types de déchets biodégradables



Annexe 4 : liste des catégories des déchets selon le MODECOM

<i>Catégorie</i>	<i>Exemples</i>
<p>Déchets putrescibles</p>	<p>Pain rassis, pain moisi, déchets alimentaires, sachets de thé pleins, fruits, légumes, fromage, graisse végétale ou animale, poisson, charcuterie, gâteaux, chocolat, herbes aromatiques, restes de viande et de poisson, marc de café et filtres, noyaux, épluchures, têtes de crevettes</p> <p>Produits alimentaires non consommés (sous emballage)</p> <p>Yaourts pleins fermés, sachets de produits congelés non ouverts, barquettes d'aliments non ouverts</p> <p>Cadavres d'animaux (oies entières, chats, rats...), excréments, croquettes et aliments pour animaux, peaux de lapins</p> <p>Gazon coupé, herbes, fleurs, taille de haies, feuilles, résidus de jardin, résidus de potager, terre,</p>
<p>Papiers</p>	<p>Sacs ou sachets en papier, papier d'emballage, papier d'emballages spéciaux (viande, poisson, fromage, beurre), papier de sucre, sachets à sandwichs</p> <p>Journaux, magazines et revues, Imprimés publicitaires, Papiers bureautiques</p> <p>Autres papiers: Agendas, affiches, livres reliés, livres brochés, papier canson, papier bristol, tickets d'autobus, papier peint, photos, cahiers à spirales, cahiers, papier cadeau</p>

<p>Cartons</p>	<p>Paquets de céréales, poudres à laver, boîtes d'oeufs, de pâtes, de mouchoirs en papier (avec ou sans opercule en plastique), boîtes de lait en poudre, de jouets, cartons de crème glacée, de yaourts, pack de bière, carton à pizza, emballages de biscuits (même s'il reste du plastique à l'intérieur), paquet de cigarettes vide, rouleaux de papier toilette, autres rouleaux, boîte de médicaments vide</p> <p>Emballages cartons ondulés Cartons ondulés, cartons de déménagement</p> <p>Autres cartons Cartes d'anniversaire/ Noël... dossiers, chemises en carton, cartes postales, calendriers, classeur hors d'usage</p>
<p>Composites</p>	<p>emballage de liquide alimentaire ou briques alimentaires : lait UHT, jus de fruit, soupes, sauces, crème</p> <p>Emballages composés de plusieurs matériaux différents non séparables (papiers, cartons, plastiques, aluminium) : emballages de café, emballages de saumon, emballages de beurre (avec aluminium)</p> <p>Tout ou partie d'un appareil ayant fonctionné avec une prise électrique, une pile ou un accumulateur, sèche-cheveux, fer à repasser, radio, téléphone portable, rasoir électrique, circuit imprimé, calculatrice, souris, cafetière, bouilloire, four, robot ménager, ordinateur, montre, télévision, magnétoscope, caméra, jouet électrique, appareil photo... prise avec transformateur seule</p>
<p>Textiles</p>	<p>Sacs de fruits et légumes (pommes de terre, oignons...), textiles fibres naturelles et synthétiques : vêtements, chiffons en fibres naturelles (coton, laine, lin...) et en textiles synthétiques (bas, collants, toiles, sacs de sport ou de voyage en tissu), torchons, mouchoirs en tissu, serviettes, pelotes de laine, ficelle, corde, rideau, couverture</p>
<p>Textiles sanitaires</p>	<p>Couches culottes, serviettes hygiéniques, cotons, lingettes...</p> <p>Textiles sanitaires fraction papiers souillés Mouchoirs en papier, papiers absorbants à usage ménager, essuie-tout, serviettes en papier, nappes en papier</p>

Plastiques	Sacs de supermarché, sacs poubelles, sacs en plastiques, film d'emballage alimentaire, sacs d'engrais, de compost, de tourbe, sacs de congélation, sacs contenus dans les paquets de céréales, papier de bouquet de fleurs, film plastique d'un pack de bouteilles d'eau, films agricoles, films entourant les palettes et les gros appareils électroménagers lors de leur livraison, films recouvrant les boîtes de CD, film étirable, filet pour fruits et légumes Bouteilles et flacons en plastique
CNC: combustibles non classés	Cageots, cagettes, boîtes de fromage, palettes, barquettes de fruits Bois (planches), cuir (chaussures, sacs, ceintures), caoutchouc, préservatifs, cigarettes, tapis, fourrures, bandes élastiques, peluches, sacs d'aspirateur (avec le contenu), crayons, gommes, pneus, tétines, abat-jour, balles de tennis, bouteille d'huile pleine, cadre en bois, chutes de moquette, bougie, rollers, oreiller, couette, duvet, charbon de bois, litière pour animaux non minérales (type copeaux), filtre à air, balai, rouleau de papier collant, liège
Verres	Bouteilles, flacons et bocaux en verre : conserves, confitures, vins et spiritueux, ketchup, vinaigre, limonade, mayonnaise, petits oignons, pâté, café, cornichons, thé en poudre, petits pots de bébé, jus de fruit, épices, parfums Emballages en verre de couleur Bouteilles, flacons et bocaux en verre : bière, cidre, vin, eau minérale Autres verres :verres plats, miroirs, vaisselle en pyrex ou opaline, verres à boire en verre ou en cristal, petits bouts de verre, ampoule
Métaux	Emballages métaux ferreux Boîtes de boissons (bière, cola...), boîtes d'aliments pour animaux, boîtes de conserves (légumes, fruits, viande, poisson), couvercle, boîtes de biscuits, barquettes, aérosols en aluminium n'ayant pas contenu de produit chimique toxique, tubes de dentifrice Clés, écrous, boulons, clous, couverts, antivols, serre-joints, trombones, épingles de sûreté, outils, pièces automobiles,

<p>INC: combustibles non classés</p>	<p>Matériaux inertes non classés dans les autres catégories (gravats, pierres, poteries, coquillages), céramiques, carreaux, faïence ou porcelaine, briques, pots de fleurs en terre, plâtre, objets en pierre, coquilles d'oeufs, d'huîtres, de moules, pattes de crabes et langoustines, os, litière minérale des animaux, fusibles</p>
<p>Déchets ménagers spéciaux</p>	<p>Produits chimiques, Tubes au néon, lampes basse consommation Piles et accumulateurs Batteries de voiture, piles boutons, piles alcalines, piles salines... piles rechargeables, accumulateur de téléphone portable Autres déchets ménagers spéciaux:Seringues, médicaments (produit avec son emballage), filtre à huile, déchets des activités de soins...</p>
<p>Déchets fins</p>	<p>Tous déchets entre 8 et 20 mm</p>

