

# UNIVERSITE DE LIMOGES

ECOLE DOCTORALE SCIENCES ET TECHNIQUES

Groupement de Recherche Eau Sol Environnement

Thèse

Pour l'obtention du grade de

## DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LIMOGES EN CO- TUTELLE AVEC L'UNIVERSITE DE BLIDA

Discipline/Spécialité : Chimie et Microbiologie de l'Eau

Présentée et soutenue par

**Naïma TAHRAOUI DOUMA**

Le 16 avril 2013

**Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune  
de Chlef, Algérie**

Thèse dirigée par Guy MATEJKA, Serge CHAMBON et Djamel TOUIL

JURY :

Président du jury

Jean Pierre CHARLES      Professeur, laboratoire supelec, Université de Metz

Rapporteurs

Mustapha DOUANI      HDR, laboratoire eau et environnement, Université de Chlef

Rémy BAYARD      HDR, laboratoire LGCIE, INSA de Lyon

Examineurs

Omar BOURAS      Professeur, Université de Blida

Guy MATEJKA      Professeur, laboratoire GRESE, Université de Limoges

Djamel TOUIL      Professeur, Université de Blida

Invité

Serge CHAMBON      Professeur, laboratoire Odessol, Université de Limoges



## Remerciements

Ce travail de recherche/action, en cotutelle entre l'université de Limoges et l'université de Blida, a été effectué sur une plate-forme au niveau de la station agronomique ; et aux laboratoires pédagogiques de la faculté de biologie de l'université de Chlef, ainsi qu'au niveau du laboratoire GRESE (Groupement de Recherche, Eau, Sol, Environnement) de l'université de Limoges.

Tout d'abord, je tiens à remercier le professeur Mostefa BENSSEDIK, recteur de l'université de Chlef, de m'avoir permis à concevoir une plate-forme au sein de la station expérimentale agronomique de l'université de Chlef à l'Ardh Elbaydha.

Je tiens aussi à remercier gracieusement le professeur Abdelkader BOUTIBA, vicedoyen et le professeur Abdelkader SAADI, doyen de la faculté de biologie de l'université de Chlef, de m'avoir permis de réaliser mon travail au sein des laboratoires pédagogiques de la faculté. Je remercie aussi sincèrement le professeur Michel BAUDU, directeur du laboratoire GRESE, de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire.

Je remercie également et particulièrement mes encadrants, le professeur Guy MATEJKA, le professeur Serge CHAMBON et le professeur Djamel TOUIL, qui m'ont encouragé en permanence pendant la réalisation de ce projet. Grâce à leurs suggestions et leur suivi continu, j'ai pu apprendre ce qui est la chose la plus importante pour un chercheur : la méthodologie de la recherche. Je leur exprime toute ma gratitude. Je leur exprime toute ma gratitude.

Je remercie singulièrement le professeur Jean Pierre CHARLES, le docteur Mustapha DOUANI, le docteur Rémy BAYARD, le professeur Serge CHAMBON et le professeur Omar BOURAS, d'avoir bien accepté d'évaluer ce travail de recherche, et j'en profite pour leur exprimer toute ma considération.

Merci à tous les employés de la station expérimentale agronomique pour leurs implications dans la réalisation des tests agronomiques. J'exprime toute ma reconnaissance à Lahcène BOUDIA, ingénieur agronome chez FERTIAL, pour son aide dans la partie agronomique de ce travail.

Ce projet est un véritable travail d'équipe, et je tiens à remercier Mr Nouredine BENRABAH, directeur de la direction de l'environnement de la wilaya de Chlef, les travailleurs et les chiffonniers du Centre d'Enfouissement Technique de Chlef, pour leur aide et leur collaboration à ce labeur. J'adresse mes remerciements aussi à toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce travail, en particulier le professeur Abdoullah OUEGUED, directeur du laboratoire eau et environnement de l'université de Chlef pour ses précieux conseils.

Je tiens à remercier Mme Edith MATEJKA pour son accueil au sein de sa famille et Mme GIRY, responsable des étudiants étrangers à Limoges, pour sa gentillesse avec tous les doctorants étrangers. Je remercie également et chaleureusement mon amie Chantal SUBILEAU. J'exprime aussi ma gratitude à Michel, Mathilde et Adeline.

J'adresse un grand merci à Magali CASSILAS et à son mari qui m'ont accueilli chez eux. Je remercie aussi Corrine MEFTAH, pour son aide au laboratoire, Lourdès FERREIRA ; pour son aide administrative.

Je remercie également et profondément le professeur Youcef KEHILA, Brahim BOUHADIBA, Fadhila MEZOUARI, Patrick SEGBEAYA et Edem KOLEDZI, pour leurs conseils.

Je tiens à remercier aussi le professeur Geneviève FEUILLADE, le professeur Christophe DAGOT, le professeur Patrick LEPRAT, de m'avoir accueilli au sein de l'ENSIL. Je leur exprime tous mes sentiments d'amitié.

J'adresse un grand merci à Nouredine TOUADRI, pour son aide et sa gentillesse. Je remercie aussi Zahira, Karima, Malika, tous mes étudiants de master et mes doctorants, pour leur aide dans mes campagnes de caractérisation des déchets et les différents criblages des composts.

Et je n'oublie pas tous les membres du laboratoire GRESE, pour les agréables moments de vie passés ensemble : Maud, Delphine, Thouraya, Kais, Moussab, Audrey, Virginie, Thibault, Fabien, Karine, Philippe, David et Camille.

Je remercie aussi mes neveux Abdenour et Hacène, pour leur aide. Je leur exprime toute ma gratitude.

Je tiens singulièrement à remercier mon mari Mohamed BADI, pour ses encouragements et son soutien moral surtout le jour de ma soutenance.

Enfin, je dédie ce travail à la mémoire d'Oumi Backhta, de mon grand-père Abdelkader, de mon père Ahmed ainsi qu'à la mémoire de mon beau-père Jilali. A ma mère et à ma belle-mère, que DIEU les garde en bonne santé. À mes sœurs et frères, à mes nièces et mes neveux, à mes belles sœurs et mon beau frère.

A toutes et à tous je leur dis : « Que DIEU vous protège et vous garde en bonne et parfaite santé ». Merci à tous



# TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
<b>PARTIE 1 SYTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>5</b>
<b>I. Gestion des résidus solides urbains (RSU) dans les PED.....</b>	<b>7</b>
I.1 Notion de gestion intégrée.....	7
I.1.1 Concept de gestion intégrée.....	7
I.1.2 Approches méthodologiques pour une gestion intégrée.....	9
I.2 Gestion des résidus urbains solides dans les P.....	11
I.2.1 Accroissement de l'urbanisation .....	11
I.2.2 Augmentation de la production.....	12
I.2.3 Irrégularités de la collecte et du transport des déchets.....	13
I.2.4 Inexistence du tri sélectif pour la valorisation des déchets.....	16
I.2.5 Absence de contrôle des décharges dites « contrôlées ».....	17
I.2.6 Dysfonctionnements de la filière de compostage des RSU.....	19
I.2.7 Absence des filières de recyclage.....	21
I.2.8 Difficultés réglementaires.....	22
I.3 Exemple de dysfonctionnement du compostage industriel : usine de compostage de Beni Mered à Blida (Algérie).....	25
I.4 Conclusion .....	29
<b>II. Analyse du gisement et de la composition des RSU.....</b>	<b>31</b>
II.1 Définitions.....	31
II.2 Nomenclature des déchets / Liste européenne des déchets.....	31
II. 3 Classification des RSU (AFNOR, 2007).....	33
II.4 Classification des RSU dans les PED.....	34
II.5 Caractérisation des RSU.....	35
II.5.1 Caractérisation physique des RSU.....	35
II. 5.1.1 Densité ou masse volumique spécifique, (T/m3).....	37
II.5.1.2 Tri par taille.....	38
II.5.1.3 Tri par catégories.....	38
II.5.2 Caractérisation chimique des RSU.....	40
II.5.2.1 Taux d'humidité, H%.....	41
II.5.2.2 Pouvoir calorifique inférieur, PCI, en kcal /kg.....	42
II.5.2.3 Teneur en matière organique, MO%.....	43
II.6 Conclusion.....	44
<b>III. Valorisation des résidus solides urbains, RSU, par compostage.....</b>	<b>45</b>
III.1 Généralités sur le compostage.....	45
III.1.1 Définitions .....	45
III.1.2 Objectifs du compostage.....	46
III.1.3 Avantages du compost.....	46
III.2 Déchets urbains compostés.....	48
III.3 Processus du compostage.....	49
III.4 Différents procédés de compostage .....	52
III.5 Paramètres du compostage.....	55
III.5.1 Micro-organismes.....	55
III.5.2 Paramètres physico-chimiques .....	57
III.5.2.1 Température, Te (°c).....	57
III.5.2.2 Taux d'humidité, (H%).....	58
III.5.2.3 Apport en oxygène.....	59

III.5.2.4 Nature du substrat.....	60
III.5.2.5 Acidité, pH (u.pH).....	61
III.5.2.6 Durée.....	62
III.5.2.7 Biodégradabilité et granularité.....	63
III.5.2.8 Pertes en matières pendant le compostage.....	64
III.6 Qualité du compost.....	65
III.6.1 Critères d'évaluation de la maturité et de stabilité d'un compost.....	66
III.6.1.1 Méthodes empiriques.....	66
III.6.1.2 Caractéristiques physico-chimiques classiques.....	67
III.6.1.2.1 pH.....	67
III.6.1.2.2 Rapport C/N.....	67
III.6.1.2.3 Capacité d'échange cationique(CEC).....	68
III.6.1.2.4 Rapport NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	68
III.6.1.2.5 Rapport d'humification (AH/AF).....	68
III.6.1.3 Tests de stabilisation des composts murs.....	68
III.6.1.3.1 Test d'auto-échauffement, TAE.....	69
III.6.1.3.2 Test respirométrique, AT4.....	69
III.6.1.3.3 Test de lixiviation.....	70
III.6.1.3.4 Test Solvita®.....	71
III.6.1.4 Phyto-toxicité.....	71
III.6.1.5 Teneurs en éléments traces métalliques (ETM).....	72
III.6.1.6 Teneurs en éléments indésirables.....	75
III.6.1.7 Teneurs en éléments fertilisants des composts.....	75
III.7 Possibilité de compostage des RSU en Algérie.....	76
III.7.1 Etat actuel de l'amendement des sols algériens.....	78
III.8 Conclusion.....	79
<b>PARTIE 2    METHODES ET MATERIELS ANALYTIQUES.....</b>	<b>81</b>
<b>I.    Méthodes de caractérisation des résidus solides urbains.....</b>	<b>83</b>
I.1 Zone d'étude.....	83
I.2 Description de la plate-forme expérimentale de caractérisation et de compostage des RSU.....	86
I.3 Echantillonnage.....	87
I.3.1 Taille de l'échantillon.....	89
I.3.2 Organisation.....	91
I.4 Caractérisation.....	94
I.4.1 Par taille.....	94
I.4.2 Tri par catégories.....	95
I.5 Composition physico-chimique.....	95
I.5.1 Humidité (%H).....	96
I.5.2 Mesure de la matière organique (solide volatil ou perte au feu).....	96
<b>II.    Méthode expérimentale du compostage des RSU de la commune de Chlef.....</b>	<b>99</b>
II.1 Conditions expérimentales du compostage.....	99
II.1.1 Choix de la forme des andains et de leurs dimensions.....	100
II.1.2 Choix de la composition des substrats mis en andain.....	101
II.1.3 Choix du criblage final du compost produit.....	102
II.2 Paramètres de suivi du procédé de compostage.....	103
II.2.1 Effet exothermique : Température, T°C.....	103
II.2.2 Acidité : pH, (u.pH).....	103
II.2.3 Granularité : granulométrie en %.....	103



II.3 Paramètres de qualité du compost .....	104
II.3.1 Teneur en matière organique, MO% (ou matière volatile) mesurée par la perte au feu .....	105
II.3.2 Teneur en carbone (C) en mg/g MS ou %C .....	105
II.3.3 Teneur en N (NTK), en mg/g /MS .....	106
II.3.4 Teneurs en éléments fertilisants (Ca, K, Mg et Na) .....	107
II.3.5 Teneurs en Phosphore total, Pt, mgP2O5.kg-1MS .....	108
II.3.6 Teneur en éléments trace métalliques : ETM en mg/kg MS .....	108
II.3.7 Teneur en indésirables ou impuretés en % .....	108
II.4 Tests biologiques .....	110
II.4.1 Test de germination (Organisation Mondiale de la Santé, 1978) .....	110
II.4.2 Test d'indice de germination, IG .....	110
II.5 Essais agronomiques sur parcelles agricoles .....	111
II.5.1 Choix du sol .....	111
II.5.2 Caractérisation du sol de la parcelle expérimentale .....	111
II.5.3 Méthodes statistique des blocs aléatoires .....	112
II.5.3.1 Description .....	112
II.5.3.2 Cultures .....	113
<b>PARTIE 3      RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>115</b>
<b>I.      Etude du gisement de résidus solides urbains de Chlef .....</b>	<b>117</b>
I.1 Caractérisation Physique .....	117
I.1.1 Ratio de production .....	117
I.1.2 Caractérisation par taille .....	118
I.1.3 Caractérisation par catégorie .....	120
I.2 Caractérisation chimique .....	126
I.2.1 Humidité, H%.....	126
I.2.2 Matière organique (MVS par la perte au feu), MO% .....	128
I.3 Bilan .....	130
I.3.1 Statistiques : moyenne et écart type .....	130
I.3.2 Classification des déchets en termes de valorisation par compostage et par recyclage.....	132
I.3.2.1 Déchets valorisables par compostage .....	132
I.3.2.2 Déchets valorisables par recyclage .....	134
I.4 Conclusion .....	135
<b>II.      Etude expérimentale du compostage des RSU de Chlef .....</b>	<b>137</b>
II.1 Influence de la fréquence de retournement des andains dans le procédé de compostage par andain.....	138
II.1.1 Evolution de la température et de l'humidité.....	138
II.1.2 Evolution du pH (Acidité) .....	140
II.1.3 Evolution de la teneur en matière organique (MO%/MS) .....	142
II.1.4 Evolution de la granulométrie .....	142
II.1.5 Conclusion .....	144
II.2 Influence de la nature du substrat sur le procédé de compostage .....	144
II.2.1 Evolution de la température et l'humidité .....	144
II.2.2 Evolution du pH .....	146
II.2.3 Evolution de la teneur en matière organique (%MO/MS) .....	146
II.2.4 Evolution de la granulométrie.....	147
II.2.5 Conclusion.....	148
II.3 Influence de la recirculation des refus dans le procédé de compostage.....	148

II.3.1	Evolution de la température .....	149
II.3.2	Evolution du pH.....	150
II.3.3	Evolution de la teneur en matière organique (%MO/MS) .....	151
II.3.4	Granulométrie .....	152
II.3.5	Conclusion .....	153
II.4	Influence des conditions du procédé sur le compost produit .....	154
II.4.1	Caractéristiques chimiques .....	154
II.4.2	Eléments fertilisants .....	155
II.4.3	Teneur en impuretés .....	156
II.4.4	Eléments trace métalliques.....	157
II.4.5	Maturité d'un compost .....	161
II.4.6	Tests de toxicité.....	161
II.4.6.1	Indice de germination, IG .....	162
II.4.6.2	Test de germination .....	163
II.5	Bilans massiques .....	163
II.6	Conclusion .....	165
<b>III.</b>	<b>Etude expérimentale de la valorisation agronomique des composts produits ...</b>	<b>167</b>
III.1	Résultats des composts C1, C2, C3 et C4 de granulométrie 10 mm (Ci/10) .....	167
III.1.1	Rendement de la pomme de terre .....	168
III.1.2	Rendement du navet .....	169
III.2	Résultats des composts C1, C2, C3 et C4 de granulométrie 40mm .....	171
III.2.1	Rendement de la pomme de terre .....	171
III.2.2	Rendement du navet .....	172
III.3	Résultats de mélange des composts Ci/10 et Ci/40 .....	173
III.3.1	Rendement de la pomme de terre .....	173
III.3.2	Rendement du navet .....	174
III.4	Résultats de mélange des composts C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> et C <sub>4</sub> avec les engrais minéraux.....	174
III.4.1	Rendement de la pomme de terre .....	174
III.4.2	Rendement du navet .....	175
III.5	Conclusion .....	176
<b>IV.</b>	<b>Mise en place de la filière de compostage des RSU à Chlef .....</b>	<b>177</b>
IV.1	Relation entre besoin des sols de la wilaya et apport de compost urbain .....	177
IV.2	Analyse du gisement des déchets disponibles .....	179
IV.2.1	Composition moyenne journalière par habitant .....	179
IV.2.1.1	Dans la commune de Chlef .....	179
IV.2.1.2	Dans la wilaya de Chlef .....	180
IV.2.2	Gisements des déchets valorisables par compostage .....	181
IV.2.3	Gisements des déchets recyclables .....	182
IV.3	Choix du procédé de compostage .....	182
IV.3.1	Tri .....	183
IV.3.2	Mise en andain .....	183
IV.3.3	Retournement .....	183
IV.3.4	Arrosage .....	184
IV.3.5	Affinage par criblage et stockage .....	184
IV.4	Intégration du compostage dans la filière gestion des déchets .....	185
IV.5	Méthodologie pour un suivi à long terme de qualité de compostage .....	186
IV.5.1	Composition des déchets entrants .....	186
IV.5.2	Qualité de compost produit .....	188
IV.5.2.1	Teneur en ETM .....	188
IV.5.2.2	Teneurs en impuretés .....	189

IV.5.2.3 Toxicité .....	189
IV.5.2.4 Eléments fertilisants, NPK et oligo-éléments .....	189
IV. 6 Conclusion .....	190
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>191</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>195</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>217</b>



## Index des Figures

Figure 1: Schéma de gestion intégrée des résidus solides urbains (Matejka, 2011).....	7
Figure 2: Approches méthodologiques pour une gestion intégrée des déchets solides urbains (Bouhadiba et al., 2010). .....	10
Figure 3: Identification des principales filières de la gestion des déchets ménagers en France (ADEME, 2003).....	22
Figure 4 : Dispositif institutionnel en Algérie pour la protection de l'environnement.....	25
Figure 5: Méthodologie de caractérisation des déchets urbains.....	36
Figure 6 : Résumé du processus lors d'un compostage: Schéma proposé par Itävaara et al. (1995).....	46
Figure 7: Les différents types de composts issus des déchets urbains (Francou, 2003).....	49
Figure 8: Evolution de la température et durée de compostage pendant les quatre phases (Francou, 2003).....	50
Figure 9: Besoins en oxygène pendant les étapes du compostage (Technique de l'ingénieur).....	59
Figure 10: Variation du pH au cours du compostage (Mustin, 1987).....	62
Figure 11: Aspects techniques et socio-économiques de la filière compostage.....	77
Figure 12: Carte localisant le CET de Meknassa (Echelle : 1/50000). (DHW, 2005).....	84
Figure 13: Plate-forme de caractérisation physique pour le compostage des déchets.....	87
Figure 14: Mode de prise d'échantillons sur les engins de collecte.....	90
Figure 15: Mode de quartage pour obtenir l'échantillon.....	90
Figure 16: Schéma d'échantillonnage des RSU.....	91
Figure 17: Schéma descriptif du protocole de caractérisation des déchets.....	94
Figure 18 : Schéma descriptif du protocole expérimental du compostage des RSU.....	100
Figure 19: Forme géométrique des andains.....	101
Figure 20: Schéma descriptif du protocole expérimental des mesures et des analyses des paramètres de qualité des composts.....	104
Figure 21 : Protocole d'analyse des inertes (XP U44 164 (2004)).....	109
Figure 22 : Composition par taille (en %) des RSU des zones d'étude.....	119
Figure 23 : Composition en % par taille des RSU des cinq campagnes.....	120
Figure 24 : Estimation des déchets valorisables par compostage, au printemps 2010, selon les zones d'études.....	132
Figure 25: Estimation des déchets valorisables par compostage, en été 2010, selon les zones d'étude.....	133
Figure 26: Estimation des composantes valorisables par compostage, en hiver 2011, selon les zones d'études.....	133
Figure 27: Estimation des catégories recyclables, au printemps 2010, selon les zones d'étude.....	134

Figure 28: Estimation des catégories recyclables, en été 2010, selon les zones d'étude.....	134
Figure 29: Estimation des composantes recyclables en pourcentage, en hiver 2011, selon les zones d'étude. ....	135
Figure 30 : Chronogrammes des fréquences de retournements et des arrosages des andains	138
Figure 31 : Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A2.....	139
Figure 32: Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A3.....	139
Figure 33: Evolution du pH au cours du compostage des andains A2 et A3.....	141
Figure 34: Evolution de la teneur de la MO en % des andains A2 et A3.....	142
Figure 35: Evolution de la granulométrie au cours du compostage d'A2.....	143
Figure 36: Evolution de la granulométrie au cours du compostage d'A3.....	143
Figure 37: Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A1.....	144
Figure 38: Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A2.....	145
Figure 39: Evolution du pH au cours du compostage des andains 1 et 2.....	146
Figure 40: Evolution de la teneur en MO durant le compostage des andains 1 et 2.....	147
Figure 41: Evolution de la granulométrie au cours du compostage d'A1.....	147
Figure 42: Evolution de la granulométrie au cours du compostage d'A2.....	148
Figure 43: Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A3.....	149
Figure 44: Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A4.....	149
Figure 45: Evolution du pH au cours du compostage des andains 3 et 4.....	151
Figure 46: Evolution de la teneur en MO durant le compostage des andains 3 et 4.....	152
Figure 47: Evolution de la granulométrie au cours du compostage de l'andain 3.....	153
Figure 48: Evolution de la granulométrie au cours du compostage de l'andain 4.....	153
Figure 49: Bilans matière des quatre procédés de compostage.....	165
Figure 50: Rendements de récolte de la pomme de terre dans le cas des composts C1/10 et C2/10.....	168
Figure 51: Rendements de récolte du navet dans le cas des composts C3/10et C4/10.....	170
Figure 52: Résultats de récolte de la pomme de terre dans le cas des composts C1/40 et C2/40.....	171
Figure 53: Rendement de récolte de navet dans le cas des composts C3/40et C4/40.....	172
Figure 54: Synoptique du procédé de compostage.....	183
Figure 55: Signification des différents paramètres de suivi du compostage (Charnay, 2005).....	184
Figure 56: Production journalière (kg/j) des déchets entrant au niveau du CET de Meknassa.....	186
Figure 57: Production journalière (kg/j) des déchets de la wilaya de Chlef.....	187
Figure 58: Schéma d'un scénario de gestion des RSU de la wilaya de Chlef envisageant un centre de tri-compostage (les refus de tri et de compostage n'ont pas été évalués). ....	188

## Index des tableaux

Tableau 1 : Population totale, population urbaine, taux d'urbanisation comparés dans le monde, les PD et les PED (Source : ONU (2004)).....	12
Tableau 2: Production de RSU dans différentes villes dans le monde en kg/hab/j.....	13
Tableau 3: Taux de collecte des RSU dans différents pays.....	15
Tableau 4: Coûts de traitement (en US\$/tonne) des déchets selon les principales techniques (Cointreau, 1996).....	16
Tableau 5 : Etat des infrastructures d'enfouissement de type CET (Centre d'Enfouissement Technique).....	18
Tableau 6: Bilan des installations de compostage au Maroc.....	21
Tableau 7 : Responsabilités des différents intervenants dans la gestion des déchets en Algérie.....	23
Tableau 8: Composition des RSU de Blida (Rapport sur l'état de l'environnement en Algérie, 2000).....	25
Tableau 9 : Paramètres de qualité du compost produit à Beni-Mered, Blida.....	28
Tableau 10: Liste des catégories et sous-catégories des déchets ménagers.....	33
Tableau 11: Nombre de catégories et de sous-catégorie des RSU de 7 pays européens.....	36
Tableau 12: Densité de déchets urbains.....	37
Tableau 13: Composition physique en % de plusieurs catégories de déchet ménager.....	39
Tableau 14: Composition des RSU (en %) dans plusieurs wilayas algériennes.....	40
Tableau 15: Composition chimique d'un déchet.....	41
Tableau 16: Taux d'humidité des déchets urbains dans les PED.....	42
Tableau 17: Pourcentage en MO/MS des déchets urbains dans quelques pays.....	44
Tableau 18: Avantages et inconvénients des différents procédés de compostage.....	54
Tableau 19: Micro-organismes contribuant au compostage.....	56
Tableau 20: Quantité d'organismes vivants intervenant à un moment ou à un autre pendant le compostage.....	56
Tableau 21: Rapport C/N de quelques matières organiques.....	61
Tableau 22: Pourcentage de réduction des composants au cours de la fermentation (durée de fermentation : 30 jours).....	63
Tableau 23: Evolution des principaux paramètres d'un andain en fonction de la durée de compostage d'ordures ménagères à Labé, Guinée.....	64
Tableau 24 : Paramètres de stabilité et de maturité (en % d'apparition dans la littérature) extrait de l' A.D.A.S Consulting Limited (2005).....	66
Tableau 25 : Nombres de classes de compost dans plusieurs pays (Hogg et al., 2002).....	73
Tableau 26: Critères de qualité pour les amendements organiques d'origine déchets ménagers NFU 44051 (2006, France).....	73

Tableau 27 : Valeurs limites pour les ETM (mg/kg MS) dans différents référentiels.....	74
Tableau 28: Teneurs en ETM (mg/kg MS) dans différents composts.....	74
Tableau 29: Valeurs agronomiques de composts d'ordures ménagères.....	75
Tableau 30: Fertilisation organique menée sur 9 wilayas.....	78
Tableau 31 : Zonage et sectorisation de la commune de Chlef.....	83
Tableau 32: Composition des déchets de la wilaya de Chlef.....	85
Tableau 33: Estimation des taux de déchets recyclables entre 2002 et 2020 (bureau d'hygiène, APC, 2002).....	85
Tableau 34 : Fréquence de la collecte des RSU de la commune de Chlef par engin.....	92
Tableau 35: Planning d'échantillonnage des cinq campagnes. ....	93
Tableau 36: Différentes catégories et sous-catégories de l'échantillon.....	95
Tableau 37: Taille et masse des andains expérimentaux.....	101
Tableau 38: Composition des substrats et fréquences des retournements.....	102
Tableau 39: Symboles des composts produits à partir des différents andains (A1, A2, A3 et A4) pour deux tailles : < 10mm et < 40mm.....	103
Tableau 40: Conditions de germination des graines (maïs et blé).....	110
Tableau 41: Répartition des traitements par mini-parcelle (Ensemencement de pomme de terre et de navet).....	112
Tableau 42: Différents traitements des essais agronomiques.....	113
Tableau 43: Apports en éléments NPK des engrais minéraux.....	113
Tableau 44: Ratio de production par zone.....	117
Tableau 45 : Production journalières des déchets dans les PED.....	118
Tableau 46 : Composition des déchets en catégories et sous-catégories (en % de la masse humide), selon le printemps 2010 et les zones d'étude.....	121
Tableau 47 : Composition des déchets en catégories et sous-catégories (en % de la masse humide), selon l'été 2010 et les zones d'études.....	122
Tableau 48 : Composition des déchets en catégories et sous-catégories (en % de la masse humide), en hiver et selon les zones d'étude.....	123
Tableau 49 : Composition globale des papiers-cartons dans certaines villes algériennes comparée à celles de quelques villes africaines.....	125
Tableau 50 : Teneur en eau de différentes catégories, selon les campagnes et les zones d'étude.....	127
Tableau 51 : Teneur en matière organique en % des différentes catégories, selon les saisons et les zones d'études.....	129
Tableau 52: Moyennes et écarts type des résultats du tri pour les différentes catégories et sous catégories.....	131
Tableau 53: Tableau récapitulatif des différentes conditions de compostage étudiées.....	137



Tableau 54 : Influence de la fréquence de retournement sur certains paramètres (T°C, %H, pH, %MO et granulométrie).....	144
Tableau 55 : Influence du substrat sur les paramètres de suivi du compostage.....	148
Tableau 56 : Influence des refus sur les paramètres de suivi du compostage.....	154
Tableau 57: Caractéristiques chimiques des différents composts.....	154
Tableau 58: Composition des composts en éléments fertilisants (/MS).....	155
Tableau 59: Teneurs (%) en impuretés des composts.....	156
Tableau 60 : Comparaison de deux mesures d la teneur en MO obtenue par deux méthodes.....	157
Tableau 61: Teneurs en Pb dans la matière fine des andains 3et 4.....	158
Tableau 62 : Valeurs limites des teneurs en mg/kg MS en ETM préconisés par certains référentiels européens.....	159
Tableau 63: Teneurs des éléments traces métallique dans les différents composts produits..	160
Tableau 64: Taux d'indices de germination (%) des graines de cresson et laitue sur les extraits de composts purs ou mélangés à l'eau distillée.....	162
Tableau 65: Taux de germination (%) des graines de blé et de maïs sur des composts purs ou mélangés au sable.....	163
Tableau 66: Rendements de récolte de la pomme de terre dans le cas des composts C1/10 et C2/10.....	169
Tableau 67: Rendements de récolte du navet dans le cas des composts C3/10et C4/10.....	170
Tableau 68: Rendements de récolte de la pomme de terre dans le cas des composts C1/40 et C2/40.....	171
Tableau 69: Résultats de récolte du navet dans le cas des composts C3/40et C4/40.....	173
Tableau 70: Rendements de récolte de la pomme de terre avec le mélange des composts C1 et C2.....	174
Tableau 71: Rendements de récolte du navet avec le mélange des composts C3 et C4.....	174
Tableau 72: Rendements de la pomme de terre pour des mélange des composts C1 et C2 et d'engrais minéraux.....	175
Tableau 73: Rendements de navet pour des mélange de composts C3 et C4 et engrais minéraux.....	175
Tableau 74: Besoins en fertilisants dans la wilaya de Chlef (Direction de l'agriculture de la wilaya, campagne agricole 2010/2011).....	178
Tableau 75: Estimation des apports en fertilisants par la production de composts C10 et C40 sur la commune de Chlef.....	178
Tableau 76: Estimation des apports en fertilisants par la production de composts C10 et C40 sur la wilaya de Chlef.....	179
Tableau 77: Production moyenne des catégories de déchets dans la commune de Chlef.....	180
Tableau 78: Production moyenne des catégories de déchets dans la wilaya de Chlef.....	181
Tableau 79: Gisement des déchets au niveau de la commune et de la wilaya de Chlef.....	187



## **Glossaire et abréviations**

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise des Energies

AFNOR : Association Française de Normalisation

APC : Assemblée Populaire Communale

AV : Apport Volontaire

BGK : Methodenbuch zur analyse von kompost

CEC : Capacité d'Echange Cationique

CEFREPADE : Centre Francophone de Recherche Partenariale sur l'Assainissement, les Déchets et l'Environnement.

CEGEP : Centre d'Etude et Gestion de Projet

CEMAGREF : Centre de Machinisme Agricole, Eau et Forêt

CET : Centre d'Enfouissement Technique

DGCL-DEA : Direction Générale des Collectivités Locales- Direction de l'Eau et de l'Assainissement

CNC : Combustibles Non Classés

CSDU : Centre de Stockage des Déchets Ultimes

CPI: Projet de contrôle de la pollution Industrielle

DMA : Déchets Ménagers Assimilés

DSA : Direction des Services Agricoles

ENPC : Entreprise Nationale des Plastiques et Caoutchoucs

ETM : Eléments Traces Métalliques

FCQ: Front Commun Québécois

FCQAO: Methods book for the analysis of compost

GRESE: Groupement de Recherche, Eau, Sol, Environnement

GTZ : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit

IG : Indice de Germination

INC : Incombustibles Non Classés

INSID : Institut Supérieur de l'Irrigation et du Développement

MATE : Ministère d'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

MB : Matière Brute

MH : Matière Humide

METAP-PRGDS : Programme d'Assistance Technique pour l'Environnement Méditerranéen-  
Projet Régional de Gestion des Déchets Solides

MS : Matière Sèche  
MO : Matière Organique  
MODECOM : Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères  
MV : Matière Volatile  
NF : Norme Française  
NPI : Nouveaux Pays Industrialisés  
NPK : éléments minéraux, Azote, Phosphore et Potassium  
NVT: Navet  
ONG : Organisation Non Gouvernementale  
ONU : Organisation des Nations Unies  
PAP : Porte A Porte  
PE : Polyéthylène  
PEHD : Polyéthylène Haute Densité  
PED : Pays En Développement  
PET : Polyéthylène Tétraphthalate  
PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur  
PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur  
PD : Pays Développés  
PDT: Pomme de terre  
PMA : Pays les Moins Avancés  
PROGDEM : Programme National de Gestion des Déchets Ménagers  
PSE : Pseudo plastique  
PVC : Polychlorure de Vinyle  
R et D : Recherche et Développement  
RMT : Réseau Mixte Technologique  
RSU : Résidus Solides Urbains  
SGDSN : Stratégie de Gestion des Déchets Solides de Nouakchott  
TAE : Test d'Auto-Echauffement  
UE : Union Européenne  
UTOM : Usines de Traitement des Ordures Ménagères

# **INTRODUCTION**



Les quantités de résidus solides urbains, RSU, produites annuellement en Algérie sont estimées à 8,5 millions de tonnes. Un algérien en zone urbanisée génère quotidiennement environ 0,7 kg de déchets. Dans les grandes villes, cette production est proche de 0,9 kg/jour/habitant (Kehila, 2010). Ces chiffres sont alarmants au vu de la gestion actuelle des déchets qui se résume en un seul mot d'ordre « ***tous les déchets en décharge*** ». On est loin de l'idéal de gestion intégrée des RSU préconisée pour les PED .Dont le but est d'éviter les rues jonchées de détritrus. De plus, la collecte régulière des ordures ménagères n'est pas assurée par les services communaux laissant ce soin aux ONG chargées de la pré-collecte jusqu'au dépotoir le plus proche.

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

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

- composter la partie fermentescible pour minimiser le stockage des déchets dans les décharges, éviter l'émission de biogaz et réduire les volumes de lixiviat produits;
- apporter des amendements organiques pour la fertilisation des sols puisque la wilaya a une vocation agricole;
- simultanément faire la preuve que la recherche scientifique universitaire peut être appliquée industriellement.

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

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

Le compostage commence à trouver sa place dans la filière de gestion intégrée des déchets dans les PED. L'adaptation de ce genre de système de traitement des RSU pour la wilaya de Chlef a été confirmée par:

- des données fiables et détaillées sur le flux et sur la caractérisation physique et chimique des RSU dans les différents secteurs urbains de Chlef;
- des données sur le suivi des paramètres du procédé dans les conditions climatiques locales et sur les analyses de qualité des composts, c'est à dire les teneurs en éléments fertilisants, toxiques, métalliques et indésirables ;
- des tests agronomiques sur parcelles agricoles pour deux cultures locales la pomme de terre et le navet utilisant les composts produits criblés à 10 et 40 mm en mélange ou non avec des fertilisants chimiques de type NPK.

Ce rapport de thèse comprend trois parties :

-La première partie est consacrée à l'étude bibliographique en évoquant la problématique de gestion des déchets dans les PED, particulièrement en Algérie et spécialement à Chlef, sur le gisement et sur la composition des RSU dans les PED et en Algérie, sur la valorisation des déchets par compostage. Cette partie a permis d'identifier les problèmes de gestion intégrée, de caractérisation physico-chimique et de valorisation des déchets.

-La deuxième partie décrit l'ensemble des matériels et méthodes utilisés dans cette étude. Elle présente notamment la plate-forme expérimentale de caractérisation et de compostage des déchets ainsi que les méthodes d'analyse et caractérisation des déchets et, protocoles expérimentaux de compostage.

-La troisième partie rassemble les résultats obtenus dans ces différents aspects de la gestion des déchets à Chlef. Enfin une conclusion synthétise l'ensemble des résultats obtenus au cours de ce programme de recherche-action et ouvre quelques perspectives pour l'avenir.



# **SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**



## I. GESTION DES RESIDUS SOLIDES URBAINS (RSU) DANS LES PED

### I.1 Notion de gestion intégrée

La recherche de solutions adéquates et durables pour la gestion des résidus solides urbains (RSU) nécessite de tenir compte de tous les aspects techniques, économiques et réglementaires, d'envisager tous les systèmes de gestion des déchets et d'intégrer les différents acteurs (producteurs, population, associations (ONG), collectivités, techniciens du traitement et du recyclage). Mais, la connaissance préalable de la composition des RSU, ainsi que du gisement (flux et localisation) est nécessaire pour répondre aux aspects suivants, indispensables pour garantir la propreté urbaine:

- Identification et évaluation des risques et des dangers pour l'environnement et pour la santé publique ;
- Prévention des difficultés techniques lors des opérations effectuées sur les déchets (collecte, tri, élimination par recyclage, valorisation ou enfouissement).

#### I.1.1 Concept de gestion intégrée

La gestion des déchets concerne tous les types de résidus qu'ils soient issus des ménages, des activités urbaines, des entreprises ou du secteur agricole. Chaque secteur possède une filière spécifique de traitement. D'après le professeur Matejka (2011), la gestion intégrée des RSU comprend plusieurs étapes, décrites à la figure 1, qui doivent être accomplies les unes après les autres en tenant compte des acteurs (partie prenantes à plusieurs titres), des moyens nécessaires et disponibles localement, du marché potentiel et des impacts environnementaux et sociétaux. Cette démarche est importante dans la gestion afin de réduire leur effet nocif sur la santé humaine et intègre tous les aspects techniques, réglementaires, culturels et socio-économiques.

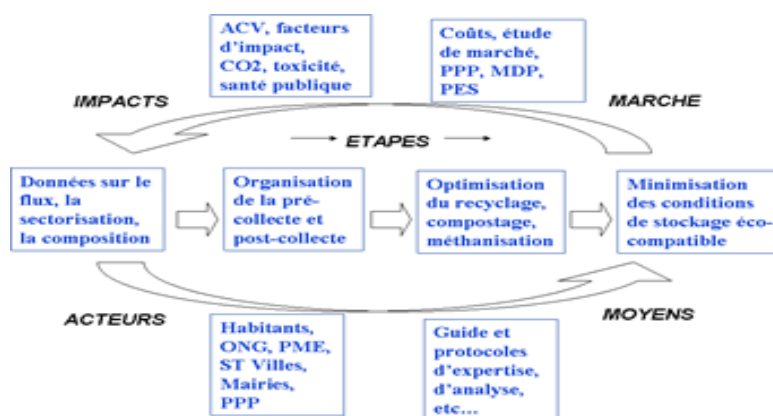


Figure 1: Schéma de gestion intégrée des résidus solides urbains (Matejka, 2011).

Ces dernières années, l'accent a été mis non seulement sur la réduction des impacts des déchets sur l'environnement mais aussi sur leur valorisation (Wicker, 2000 ; FCQ, 1999). L'objectif ultime de la mise en place de la gestion des déchets est de limiter le volume des déchets enfouis dans les décharges pour minimiser les risques de pollution qui peuvent être générés, émission des gaz à effet de serre et lixiviat (MBT, 2003). Hebette (1996) a aussi évoqué les contraintes politiques, institutionnelles, sociales et financières de la gestion des RSU qui souvent pénalisent les stratégies globales de gestion des déchets. La prise en compte de toutes les étapes de cette gestion est indispensable pour un taux élevé de collecte ; or celui-ci n'atteint pas 50% dans la plupart des villes d'Afrique. Il faut également associer les autorités locales et renforcer les capacités par la gestion participative. Enfin, la préservation de l'environnement passe par la récupération et la valorisation des déchets. Dans la même optique, selon Sané (2002), les difficultés de gestion des ordures sont dues aux problèmes de croissance des populations, de développement des activités économiques (industrielles, artisanales, agricoles) et en conséquence de l'augmentation des sites d'émissions polluantes.

Pour Kouame (2005), il faut une implication sans faille, d'abord des populations elles-mêmes, puis des municipalités et enfin de l'Etat pour résoudre le problème de la gestion des déchets. D'après cet auteur, il faut que les populations soient plus actives dans la gestion des ordures et privilégient la récupération et la valorisation par la réutilisation, le recyclage et le compostage. Dans ce contexte, et compte tenu de la complexité de la composition chimique et biologique des déchets, Navarro (1994) a identifié cinq stratégies possibles de gestion des déchets.

**\* *Stratégie 1 : Arrêt de la production ou de la diffusion du produit à l'origine du déchet***

C'est une stratégie radicale qui consiste à ne plus produire des produits qui conduisent en fin d'utilisation à un déchet difficilement éliminable ou qui pourraient générer, au cours de leur production, des déchets difficilement éliminables.

**\* *Stratégie 2 : Optimisation des procédés et innovation technologique***

Cette stratégie conduit non seulement à une réduction des flux de déchets produits et de leur toxicité mais aussi à une optimisation des consommations de matière et d'énergie ainsi qu'une meilleure maîtrise du procédé. C'est souvent un facteur d'économie et d'amélioration de la qualité. Par ailleurs, d'autres stratégies visant la rétention et la concentration de polluants ont été mises en place pour ne rejeter qu'un effluent dépollué dans l'environnement (rejet éco compatible) et pour ne stocker qu'un déchet ultime (Furie et al., 2003).

**\* Stratégie 3 : Mise en œuvre d'une politique de valorisation des déchets**

Elle consiste en une stratégie de recyclage et de réutilisation de déchets pour leur valorisation économique. Dans ce domaine, certains secteurs économiques sont à identifier, leurs besoins présentant des débouchés pour les matières issues de la valorisation.

**\* Stratégie 4 : Rejet éco-compatible avec le milieu naturel**

Le rejet éco-compatible est une stratégie curative : elle consiste au rejet d'effluents dépollués dans le milieu naturel après certaines phases de traitement pour ne stocker qu'un déchet ultime.

**\* Stratégie 5 : Stockage et confinement dans le milieu naturel**

Le stockage ne constitue pas une stratégie proprement parler. Il s'agit de la dernière étape de tout traitement débouchant sur un déchet ultime auquel il faut trouver un exutoire adéquat (Furie et al., 2003). Il est intéressant de rappeler l'ampleur du problème. La production d'ordures ménagères s'élève à environ 1 kg/habitant/jour, avec des variations de plus ou moins 20 % en fonction de la localisation géographique, du type d'habitat, des habitudes régionales (collectes sélectives), de la saison. La composition de ces déchets ménagers est relativement variable selon la région (urbaine ou rurale), la saison et les habitudes locales (collectes sélectives formelles ou informelles).

### **I.1.2 Approches méthodologiques pour une gestion intégrée**

Dans les PED, où l'économie s'épanouit, les revenus augmentent et l'urbanisation s'accélère. Ces trois facteurs favorisent l'augmentation du volume de déchets. Il est donc essentiel que ces pays définissent une stratégie à long terme pour les décennies à venir afin de favoriser la gestion durable des déchets. Pour être efficace, cette stratégie doit prévoir la mise en place de systèmes de gestion intégrée (Bouhadiba et al., 2010) qui repose sur plusieurs approches :

- *approche développement durable* qui doit privilégier la protection de la biodiversité, la promotion des énergies renouvelables, la conservation des ressources naturelles, la lutte contre la pauvreté et la bonne gouvernance ;
- *approche systémique* qui est une prise en compte de tous les acteurs et de tous les aspects technologiques, socioculturels, économiques et réglementaires ;
- *approche multi filière*, pour prendre en compte toutes les voies possibles d'élimination des déchets solides: éviter-réduire, trier-collecter-valoriser, traiter-éliminer en toute sécurité;

- *approche méthodologique*, pour mettre en place des moyens d'évaluation, de conception, de contrôle et d'expertise en partenariat avec des équipes locales de recherche.

L'approche méthodologique (Figure 2) est cruciale pour les différentes étapes de la filière déchets :

**Etape 1:** Protocoles pour caractériser le gisement en flux et en composition des résidus urbains et pour suivre leur évolution spatio-temporelle.

**Etape 2:** Modélisation pour l'optimisation des types et des circuits de collecte.

**Etape 3:** Conception de procédés adaptés localement pour l'élimination des déchets (recyclage, compostage et/ou méthanisation, incinération et stockage ultime).

**Etape 4:** Guide d'audit et de contrôle pour le suivi environnemental des centres de traitement.

**Etape 5:** Expertise des centres d'enfouissement techniques (CET), pour un stockage éco-compatible avec un traitement des lixiviats et des gaz générés.

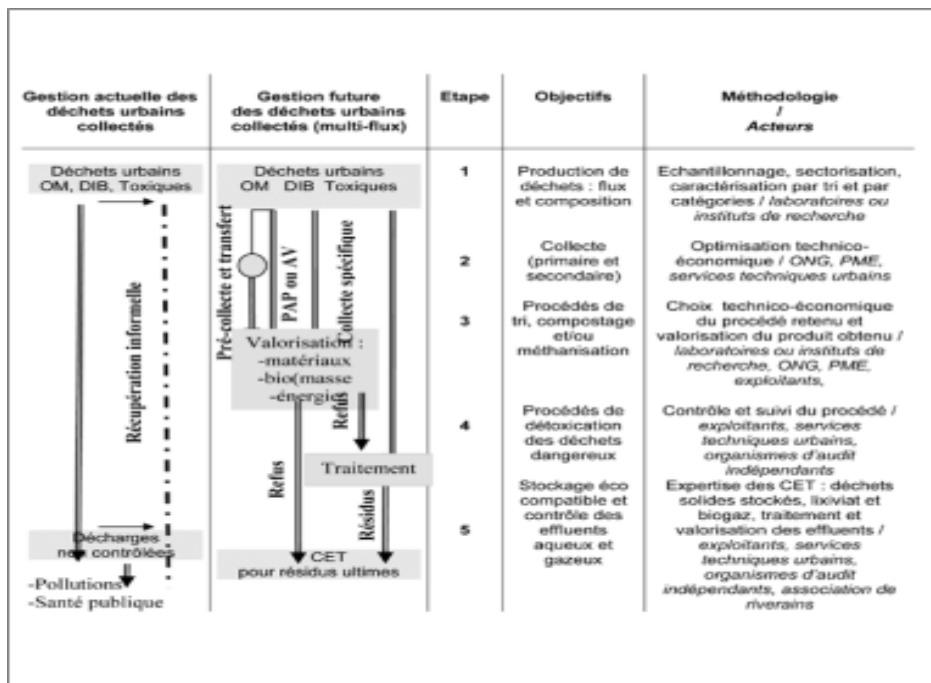


Figure 2: Approches méthodologiques pour une gestion intégrée des déchets solides urbains (Bouhadiba et al., 2010).

La gestion des RSU est donc fonction de la nature des déchets, des ressources financières et de la logistique dont disposent tous les acteurs. Cet ensemble de dispositifs conduit à différentes formes de gestions des déchets :

**\*Une gestion organisée des déchets** qui consiste à appliquer un système performant de gestion des déchets à chaque étape de leur élimination, la collecte, le transport, le tri et la

valorisation, et l'élimination écologique rationnelle des déchets ; ceci est surtout appliqué dans les pays développés (PD).

*\*Une gestion traditionnelle* pratiquée par les pauvres et les gens des villages surtout dans les PED. Cette gestion consiste à stocker les déchets dans des dépotoirs sauvages pour les transporter ensuite vers les champs. Dans certains cas, les populations brûlent directement les déchets et la cendre obtenue est réutilisée comme amendement pour les sols agricoles (Waas et al., 1996).

*\*Une gestion usuelle des déchets dans des PED* consiste à stocker tous les déchets dans des décharges sans règles élémentaires d'hygiène publique (Aina, 2006). Cette démarche a engendré de nombreux problèmes de santé humaine et de protection de l'environnement.

## **I.2 Gestion des résidus urbains solides dans les PED**

La gestion des déchets est souvent absente, avec des services de collecte, de transports gravement déficients. Ces difficultés sont la conséquence de plusieurs phénomènes:

### **I.2.1 Accroissement de l'urbanisation**

D'après Véron (2006) : « le monde ne cesse de s'urbaniser, il devient de plus en plus urbain. En 1950, moins d'un tiers de la population était urbain, un demi-siècle plus tard, près de la moitié de la population vit dans les villes ». Dans les pays en développement moins de 20% vivaient dans les villes en 1950. Mais, en 1975, ce taux d'urbanisation est passé de 26,9% pour atteindre 42,1% en 2003 (Tableau 1). D'après les prévisions de l'Organisation des Nations Unies, le taux d'urbanisation va atteindre 57,1% en 2030 (Bras, 2010).

Beede et al., (1995), ont montré que la génération des déchets est en relation avec l'augmentation des revenus (1% de revenu/habitant correspond à 0,34% de génération de déchets). De même, 1% de croissance de la population est suivi d'une augmentation de 1,04% de génération des déchets.

A titre d'exemple, la population de la Malaisie produit environ 5,5 millions de tonnes de déchets solides avec une population de 22 millions d'habitants, soit 0,68 kg/hab/j (Kathirvale et al., 2003). Cette production est comparable à celle produite à Singapour, soit de 5 millions de tonnes de déchets avec une population de 4,5 millions d'habitants.

Tableau 1 : Population totale, population urbaine, taux d'urbanisation comparés dans le monde, les PD et les PED (Source : ONU (2004)).

	1950	1975	2003	2030
<b>Population totale (en milliards d'habitats)</b>				
Monde	2.52	4.07	6.30	8.13
Pays développés	0.81	1.05	1.20	1.24
Pays en développement	1.71	3.02	5.10	6.89
<b>Population urbaine (en milliards d'habitats)</b>				
Monde	0.73	1.52	3.04	4.94
Pays développés	0.43	0.70	0.90	1.01
Pays en développement	0.31	0.81	2.15	3.93
<b>Taux d'urbanisation (%)</b>				
Monde	29.1	37.3	48.3	60.8
Pays développés	52.5	67.2	74.5	81.7
Pays en développement	17.9	26.9	42.1	57.1

### **I.2.2 Augmentation de la production de RSU**

Le ratio de production en kg/hab/j est en continuelle augmentation, il varie d'un pays à l'autre, d'une ville à une autre et au sein de la même ville, d'un quartier à un autre.

La population dans la ville de l'Iloilo City (Philippines) est de 424 619 habitants, cette population génère environ 80 000 tonnes de déchets générés par an, ce qui donne un ratio de 0,5 kg/hab/j (Paul et al., 2012). Dans ce même pays, le ratio des déchets est de 0,30 kg/hab/j dans les secteurs ruraux. Par contre, Au Vietnam, la production des déchets solides urbains est d'environ 49 millions de tonnes par an environ, soit un ratio de 0,3 kg/hab/j. Pendant l'année 2000. En Thaïlande, la production des déchets était de 38 170 tonnes par jour, en 2001 cette quantité a augmenté pour atteindre 36 640 tonnes par jour (UNEP, 2001). A titre de comparaison, d'autres exemples de ratio de production de RSU dans certains pays des cinq continents sont donnés dans le Tableau 2.



Tableau 2: Production de RSU dans différentes villes dans le monde en kg/hab/j.

Pays	Ville	Références	Production déchets (kg/hab/j)
<i>Afrique</i>			
Algérie	Alger	Kehila et al., 2007	0,75-1
Burkina Faso	Ouagadougou	Tezanou et al., 2001	0,62
Cameroun	Yaoundé	Ngnikam et Tanawa, 2006	0,85
Libye	-	Ben Ammar, 2006	0,6
Maroc	Casablanca	O.N.E.M, 2001	0,89
Mauritanie	-	Arif, 2010	0,3
Niger	Niamey	Ben Ammar, 2006	0,4
Togo	Lomé	Koledzi, 2010	0,91
Tunisie	Tunis	Haouaoui et Loukil, 2009	0,94
<i>Asie</i>			
Jordanie	Amman	Arif, 2010	0,85
Liban	Beyrouth	Arif, 2010	0,7
Malaisie	Kuala Lumpur	Kathirvale et al., 2003	1,7
Vietnam	Moyenne nationale	UNEP, 2001	0,61
Syrie	Damas	Arif, 2010	0,5-0,8
Yémen	-	Arif, 2010	0,35
<i>Amérique</i>			
Brésil	Uberlândia	Fehr et al., 2000	0,51
Mexique	Mexicali	Ojeda-Benitz et al., 2003	0,59
<i>Europe</i>			
Allemagne	Berlin	ADEME, 2010	1,6
Belgique	-	ADEME, 2010	1,35
France	Paris	Fiorello, 2011	1,15
Pologne	-	ADEME, 2010	0,9
Irlande	-	ADEME, 2010	2,0
<i>Océanie</i>			
Samoa (îles)	Apia	Raj, 2000	0,33-1,10
Tonga (îles)	Nuku'alofa	Raj, 2000	0,33-1,10

### I.2.3 Irrégularités de la collecte et du transport des déchets

La collecte est cruciale pour une gestion durable des RSU et pour une propreté acceptable des villes. Eventuellement, l'extraction des déchets est prioritaire avant les filières de traitement et de valorisation. Dans les PED, la collecte peut prendre deux formes suivant le pays, les moyens financiers et les techniques disponibles. Ce sont principalement :

- la collecte traditionnelle assurée par les services techniques communaux ou par des entreprises privées, le plus souvent en porte à porte (PAP),
- la collecte sélective qui se déroule en deux temps : une collecte primaire (pré-collecte) assurée par des ONG, soit en PAP, soit en apport volontaire (AV) aux coins des rues ; et une collecte secondaire assurée par le service communal qui transporte les déchets dans des centres de transit.

La régularité de la collecte sélective n'est pas toujours assurée. Ce qui entraîne l'augmentation de dépotoirs, le surcroît des décharges sauvages au milieu des quartiers et la multiplication des zones d'insalubrité publique avec conséquences fatales. Dans certains cas, la collecte est quasi-inexistante; il revient aux habitants de déposer leurs déchets dans des points où la municipalité et les entreprises privées pratiquent la collecte. Le tri sélectif n'est pas très fréquent à cause de l'absence d'information et de sensibilisation de la population (Charnay, 2005).

Le taux de collecte (rapport entre la quantité enlevée et celle produite) des déchets urbains dans les PD est proche de 100%, mais il varie de 10% à 80% dans les quartiers populaires des centres urbains des PED (Charnay, 2005), ce qui se traduit par des nuisances inacceptables pour la population et l'environnement (Ben Ammar, 2006). Cette narration de collecte oscille entre 50% et 70% dans les centres commerciaux et les quartiers de haut standing (quartiers des représentations diplomatiques ou de la haute bourgeoisie). La maîtrise du problème de la collecte des déchets solides urbains diffère d'un pays à l'autre ; d'après Tha Thu Thuy (1998), cité dans Bras (2010), de Dakar à Yaoundé en passant par Conakry, Abidjan, Accra et Douala, le taux de collecte de déchets ménagers est inférieur à 60% avec une moyenne qui varie entre 30% et 40%. D'autres taux de collecte des RSU sont répertoriés dans le Tableau 3.

Tableau 3: Taux de collecte des RSU dans différents pays.

Pays (ville)	Type de collecte	Taux de collecte	Références
<i>Afrique</i>			
Algérie	P.A.P et A.V	85%	Arif, 2010
Burkina Faso (Ouagadougou)	A.V et P.A.P	36%	Folléa <i>et al.</i> , 2001
Egypte	P.A.P et A.V	40%-90%	Arif, 2010
Guinée (Conakry)	Pré- collecte & P.A.P	10%	Cointreau- Levine, 1996
Maroc	P.A.P et A.V	82%	Arif, 2010
Maroc	P.A.P et A.V	75 à 100%	<a href="http://www.minenv.gov.ma">www.minenv.gov.ma</a> , 2003
Mauritanie	-	30%	Arif, 2010
Togo	P.A.P et A.V	44%	Koledzi, 2010
Tunisie	P.A.P et A.V	70%	Adnani, 2006
<i>Asie</i>			
Inde (Chiennai)	-	82%	Baud <i>et al.</i> , 2001
Vietnam (Hanoi)	Pré-collecte & A.V	70%	Porlier, 2000
Indonésie (Denpasar)	Pré-collecte et A.V	70%	Bertolini, 1989
Jordanie	P.A.P et A.V	90%	Arif, 2010
<i>Amérique</i>			
Brésil	P.A.P et A.V	68%	De Vasconcelos Barros, 2003
Pérou Lima	-	60%	Baud <i>et al.</i> , 2001
<i>Europe</i>			
Allemagne (Berlin)	P.A.P et A.V	92%	CREDOC, 2010
France (Lyon)	P.A.P et A.V	95%	CREDOC, 2010
Roumanie	-	38%	Mansoor <i>et al.</i> , 1999
<i>Océanie</i>			
Tahiti et Moorea	P.A.P et A.V	80%	Source : Etat de l'environnement de la Polynésie française, 2007

**PAP** : Porte à Porte, **AV** : Apport Volontaire.

Pour ces différents types de collecte, le transport des déchets est assuré par des bennes-tasseuses, des camions, des tracteurs et des charrettes à dos de mules ou à bras (DGCL-DEA, 1995). Le ramassage par les bennes-tasseuses ne se fait que dans les centres villes et dans les quartiers de haut et moyen standing où la circulation des véhicules est accessible. A titre d'exemple, en Algérie, le transport est assuré par des équipements performants (camions bennes et bennes-tasseuses) dans les grandes agglomérations, mais il est inexistant dans les petites villes et dans les zones rurales (Tahraoui, 2006). Les bennes-tasseuses et les camions Roll-On sont les moyens de transport des déchets urbains à Dakar (Sénégal) (Diop *et al.*, 1989). Ces moyens de transport coûteux, imposant un investissement élevé, ne sont pas nécessaires puisque les ramassages sont moins fréquents et les arrivages irréguliers entraînent

automatiquement une fermentation des déchets avant leur traitement (Tuladhar & Bania, 1998).

#### **I.2.4 Inexistence du tri sélectif pour la valorisation des déchets**

L'insuffisance des moyens financiers et techniques nécessaires pour mettre en place le tri sélectif ou du moins le tri après collecte des recyclables oblige les municipalités à déverser les déchets dans des décharges généralement non contrôlées. Cette situation entraîne la dégradation de l'environnement et la multiplication des maladies contagieuses, d'autant plus que des déchets dangereux (déchets activités de soin et déchets industriels) sont souvent mélangés aux déchets des ménages et du commerce.

Face à cet état d'insalubrité publique, l'étude de différents modes de valorisation et de techniques d'élimination doit se développer dans les institutions de recherche. Elles sont seules aptes à trouver des solutions locales appropriées. Les instances politiques doivent également mettre en priorité le développement de solutions alternatives locales pour notamment,

- l'amélioration de la collecte et son extension à tous les quartiers périphériques ;
- le recyclage des déchets collectés sélectivement ;
- les bioconversions par compostage ou méthanisation de la fraction organique des RSU ;
- l'incinération avec récupération d'énergie (même si l'humidité des RSU peut être considérée comme un handicap) ;
- la mise en décharge contrôlée ou enfouissement technique ;
- la collecte et le traitement des déchets dangereux.

Ces techniques de traitement nécessitent des coûts importants en investissement et en fonctionnement si l'on compare leur coût à celui de la mise en décharge (Ben Ammar, 2006). Le Tableau 4 réunit des estimations de la Banque Mondiale (Cointreau, 1996) des coûts de traitements des déchets d'après les situations économiques des pays.

Tableau 4: Coûts de traitement (en US\$/tonne) des déchets selon les principales techniques (Cointreau, 1996).

	<b>PED (PMA)</b>	<b>PED (NPI)</b>	<b>PD</b>
<b>Décharge sauvage</b>	0,5 - 2	1 - 3	5 - 10
<b>Décharge contrôlée</b>	1 - 5	3 - 10	20 - 50
<b>Compostage</b>	5 - 20	10 - 40	20 - 50
<b>Incinération</b>	40 - 60	30 - 80	70 - 100

**PED** : Pays En Développement; **PMA** : Pays les Moins Avancés;  
**NPI** : Nouveaux Pays Industrialisés; **PD** : Pays développés.

Hormis l'enfouissement technique, ces méthodes sont souvent considérées par les responsables locaux comme inadaptables aux contextes techniques, économiques et financiers.

#### **I.2.5 Absence de contrôle des décharges dites « contrôlées »**

La mise en décharge est la méthode la plus largement pratiquée pour l'élimination des RSU du fait de son coût faible par rapport aux autres filières d'élimination. Cette méthode doit répondre à certains critères essentiels : - la protection des nappes phréatiques et des sols environnants ; - la limitation des émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), d'autres gaz nauséabonds (mercaptans et autres composés soufrés malodorants) et de composés toxiques (NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S...); - le drainage et le traitement des lixiviats générés ; - la limitation des incendies et des explosions.

Les lixiviats produits dans des casiers avec ou sans géo-membranes doivent être collectés et traités avant leur rejet dans le milieu récepteur (rivière, fleuve,...etc.). De même, les gaz à effet de serre nécessitent après drainage et collecte, un traitement pour éviter la pollution atmosphérique (brûlage dans une torchère, valorisation en gaz combustible ou en énergie électrique). Un contrôle strict à l'entrée de ces « décharges contrôlées » permet, en outre, d'éviter le mélange de déchets dangereux (hospitaliers ou industriels) avec les déchets ménagers et assimilés (commerce et artisanat) surtout quand il s'agit de décharges contrôlées de classe II.

Dans les PD, l'enfouissement des déchets est considéré comme l'exutoire ultime après leur valorisation ou leur traitement. De nombreuses précautions technologiques et financières ont été mises en place pour une protection de la dégradation de l'environnement. La protection contre les infiltrations des effluents dans les sols, le traitement des lixiviats ainsi que la valorisation des biogaz produits par la dégradation anaérobie des déchets ont été mises en place avec la couverture des décharges contrôlées en fin d'exploitation (Aina, 2006). Par contre, dans les PED, l'absence de données fiables et précises sur les caractéristiques physico-chimiques des déchets constitue un handicap capital quant aux choix de traitement des déchets appropriés au contexte de ces pays. Ainsi, les déchets collectés sont mis en décharge sans se soucier de leur potentiel polluant et valorisable (récupération des matériaux recyclables, valorisation des matériaux, compostage). Leur teneur élevée en matière organique et leur grande teneur en eau constituent un véritable obstacle de fonctionnement des décharges dans les PED (Ben Ammar, 2006). Quand l'enfouissement est réalisé dans des centres techniques contrôlés, la réglementation n'est pas toujours respectée.

Certains pays comme la Mauritanie et le Yémen ont démarré depuis peu de temps des expériences de traitement pour la valorisation des RSU (Arif, 2010) .Mais, Les filières de recyclage ou de compostage sont encore limitées à une très faible quantité de déchets, il reste toujours des déchets à enfouir.

Le Tableau 5 présente l'état actuel des CET opérationnels, construits et planifiés dans certains PED.

Tableau 5 : Etat des infrastructures d'enfouissement de type CET (Centre d'Enfouissement Technique) (Arif, 2010).

<b>Pays</b>	<b>CET opérationnels</b>	<b>CET construits</b>	<b>CET Planifiés</b>
<b>Algérie</b>	10	42	27
<b>Egypte</b>	5	0	3
<b>Jordanie</b>	1	0	0
<b>Liban</b>	3	0	0
<b>Maroc</b>	10	3	50
<b>Mauritanie</b>	2	0	0
<b>Syrie</b>	7	6	-
<b>Tunisie</b>	10	4	6
<b>Yémen</b>	0	0	0

Les critères de choix économique et pratique de la décharge ne présentent pas toujours les garanties nécessaires pour éviter la pollution des eaux de surface, des nappes phréatiques, des sols et de l'air. L'implantation de la décharge à Borj Chékir et celle de Gaza en Palestine ont mis en évidence un grand écart entre ce qui était prévu et ce qui s'est passé après la mise en décharge. Dans d'autres pays comme en Tunisie (Ben Ammar, 2006), des comportements inattendus ont été signalés, tels que :

- une production de lixiviat six fois plus importante que celle prévue ;
- un compactage inefficace ;
- des volumes importants de lixiviat non traités.

En Algérie, des auteurs ont signalé des défaillances dans les systèmes de drainage, de stockage et de traitement des lixiviats et du biogaz (Kehila et al., 2007 et Mezouari, 2011). Ces problèmes sont liés à la méconnaissance de la composition des déchets enfouis et surtout de leur teneur en putrescibles, de leur teneur en humidité et les volumes des lixiviat générés.

Dans ce but la commune de Chlef s'est doté d'un espace de 4 ha spécialement aménagé avec des mesures sévères de protection de l'environnement pour aménager un CET. Ce CET reçoit chaque jour 120 tonnes de déchets. Actuellement, ce centre connaît des

problèmes en raison des grandes quantités de déchets enfouis par rapport à ce qui avait été prévu et par la suite de grands volumes de lixiviats générés. Mais, malgré tous les problèmes engendrés par l'enfouissement, le choix de la décharge reste encore pour l'instant le meilleur procédé pour l'élimination des RSU en Algérie. Il permet d'extraire les déchets des villes et de les stocker de la manière la moins critique possible en attendant que d'autres solutions de recyclage matière et de bioconversion soient mises en place.

### **I.2.6 Dysfonctionnements de la filière de compostage des RSU**

Le compostage est actuellement considéré comme une composante écologiquement durable dans un système de gestion intégrée des déchets. Le choix de la valorisation directe de la matière organique et de son intégration dans la filière de compostage présente deux avantages principaux : -la réduction des déchets mis en décharge, ce qui conduit directement à une diminution des grands volumes de lixiviats générés et -l'accroissement de la productivité agricole par le renouvellement des éléments nutritifs des sols et l'assainissement de l'environnement.

Mais, le compostage peut engendrer des problèmes de pollution. En effet, les composts des RSU peuvent contenir de grandes teneurs en éléments trace métalliques (ETM), des éléments indésirables (plastiques, métaux, verre.....etc.) et des micro-organismes pathogènes (Compaoré et al., 2010). Un tri à la source des déchets bruts avant le procédé de compostage conduit à un produit de bonne qualité dans le respect des normes internationales et éventuellement à la récupération de matériaux recyclables (papiers-cartons, plastiques, verres et ferrailles).

Centaines installations de compostage ont été implantées dans les PED. Mais, ces initiatives ont connu des problèmes techniques et financiers en raison surtout des choix des procédés souvent proposés « clés en mains » sans possibilités d'ajustement, entraînant des problèmes de séparation des déchets, des pannes des matériels motorisés, des insuffisances de qualité de compost et des mauvaises odeurs (DGCL-DEA, 1991). Les sources de dysfonctionnements des usines de compostage sont nombreuses : -difficultés de sensibilisation des populations pour le tri ; -employés non qualifiés ; -production d'odeurs nauséabondes ; -compost de mauvaise qualité et difficultés de commercialisation ; -maintenance et renouvellement des équipements (Charnay, 2005).

Zurbrügg (2003b), a constaté que la principale difficulté pour la filière de compostage dans les PED est la commercialisation du compost; sans marché pour le compost produit qui s'accumule, l'usine de compostage se transforme en centre de dépôt d'ordures puis en

décharge sauvage comme ce fut le cas du centre de tri-compostage à Blida en Algérie (Grossmann, 2004). Dans les PED, le débouché agricole du compost est le dernier maillon de la chaîne du processus de compostage. Ces débouchés doivent être assurés et pérennisés quel que soit le lobbying de l'industrie des engrais chimiques (Zurbrügg *et al.*, 2003 c, Bionet, 2002).

D'autres problèmes peuvent être à la source de dysfonctionnements de ces usines, comme, le surdimensionnement ou le fonctionnement au-dessus de leur capacité prévue au départ à cause de l'augmentation de la production des déchets ménagers (Pereira-Neto, 2001). Gamage et al. (1999), ont montré dans leurs travaux que, prévoir de la place pour agrandir l'usine est primordial dans le cas de l'augmentation des déchets générés.

Au préalable, les autorités locales doivent nécessairement sensibiliser la population aux avantages du compostage des déchets ménagers pour produire du compost. Et surtout convaincre les agriculteurs des intérêts de l'utilisation des composts produits dans le maraîchage, les cultures fruitières et les grandes cultures. La sensibilisation de la population doit être aussi lancée auprès des écoles, des associations de quartiers et de femmes conscientes des dangers et des risques sanitaires engendrés par l'accumulation des ordures dans les rues.

Quel que soit le pays, il faut tenir compte des spécificités locales pour la conception des usines et pour la mise en place de la filière complète. L'humidité des déchets, apportée soit par les précipitations, soit par les déchets eux même, est un problème pour les PED. Beaucoup d'eau pendant le compostage peut conduire à une mauvaise dégradation aérobie ou au contraire favoriser la production de gaz malodorants (GES) dans des conditions anaérobies. La présence d'impuretés (moins dangereux : plastiques, verre, papier-cartons ; plus dangereux : métaux et hospitaliers) peut pénaliser la qualité du compost dans la mesure où le tri à la source est insuffisant.

Depuis les années 60, cinq villes marocaines ont été équipées d'unités de compostage, à savoir : Casablanca, Rabat, Marrakech, Tétouan et Mekhnès (secteurs des déchets solides au Maroc, 2003). A l'exception de l'UTOM (Usines de Traitement des Ordures Ménagères) de Rabat, aucune unité n'a fonctionné plus de 6 ans (Tableau 6).



Tableau 6: Bilan des installations de compostage au Maroc (METAP-PRGDS, 2004).

Ville	Année de mise en service	Capacité (tonnes/jours)	Gestionnaire	Année d'arrêt
Casablanca	1975	700	Municipalité	1975
Marrakech	1976	140	Municipalité	1980
Meknès	1980	200	Municipalité	1986
Rabat	1971	180	Municipalité	2000
Tétouan	1964	50	Municipalité	-

Ces initiatives de compostage au Maroc ont rencontré des difficultés financières mais aussi techniques en raison, comme il a été déjà dit, du choix des procédés de séparation des déchets, des pannes du matériel motorisé, de présence de contaminants dans le compost et des mauvaises odeurs (DGCL-DEA, 1991).

Il y a eu d'autres initiatives de compostage au Liban et en Syrie mais, ces projets ont conduit à la production de composts de mauvaise qualité, des difficultés de commercialisation du produit et d'importantes nuisances environnementales (Arif, 2010).

Ce mode de traitement des déchets fut un échec en Algérie à cause de l'inadaptation des techniques et des procédés de compostage aux conditions locales. Parmi ces expériences, ratées, on peut citer celles des années 70 (unités de compostage de Badjarah à Alger, Blida, Tizi-Ouzou et Tlemcen). Aucune de ces unités n'est fonctionnelle actuellement. Celle de Beni Mered à Blida a été conçue pour faire face aux difficultés de gestion des déchets urbains des cinq communes de Blida (Blida, Ouled Yaiche, Beni Mered, Bouarfa et Chrea). Cette solution a été initiée par le Ministère Algérien de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) en partenariat avec la GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). Plus de précisions seront données au paragraphe I.3 (Exemple de l'usine de compostage de Beni Mered, Algérie).

### **I.2.7 Absence des filières de recyclage**

Le taux de recyclage des déchets solides urbains varie d'un pays à un autre. En Mauritanie par exemple, le pourcentage de recyclage est de 8% ; au Maroc 9%, en Algérie 4,5% ; en Tunisie, il est de 5% ; Au Liban 2,5% ; Syrie 8% ; Jordanie 10% ; le Yémen 6% (Arif, 2010). Les activités de recyclage sont en général assurées par le secteur informel. En Algérie, ce type de recyclage par les « chiffonniers ou les zabalines », concerne le ramassage des métaux. Les chiffonniers récupèrent les métaux dans les rues avant la collecte ou pendant le déchargement des camions de collecte au niveau des décharges contrôlées. Les matériaux récupérés sont vendus aux petites entreprises de recyclage.

Le recyclage informel offre des avantages économiques importants qui doivent être conservés. L'option privilégiée consiste à intégrer ce secteur informel dans la planification de gestion des déchets, tout en travaillant à améliorer l'efficacité et les conditions de vie et de travail des personnes concernées par ce secteur (Wilson et al., 2006). La mise en place des systèmes formels de recyclage des déchets en tenant compte des systèmes informels existants permet une gestion différenciée selon la nature et les caractéristiques des déchets et une orientation vers des filières adaptées de valorisation ou de traitement comme dans les PD et en France par exemple (Figure 3).

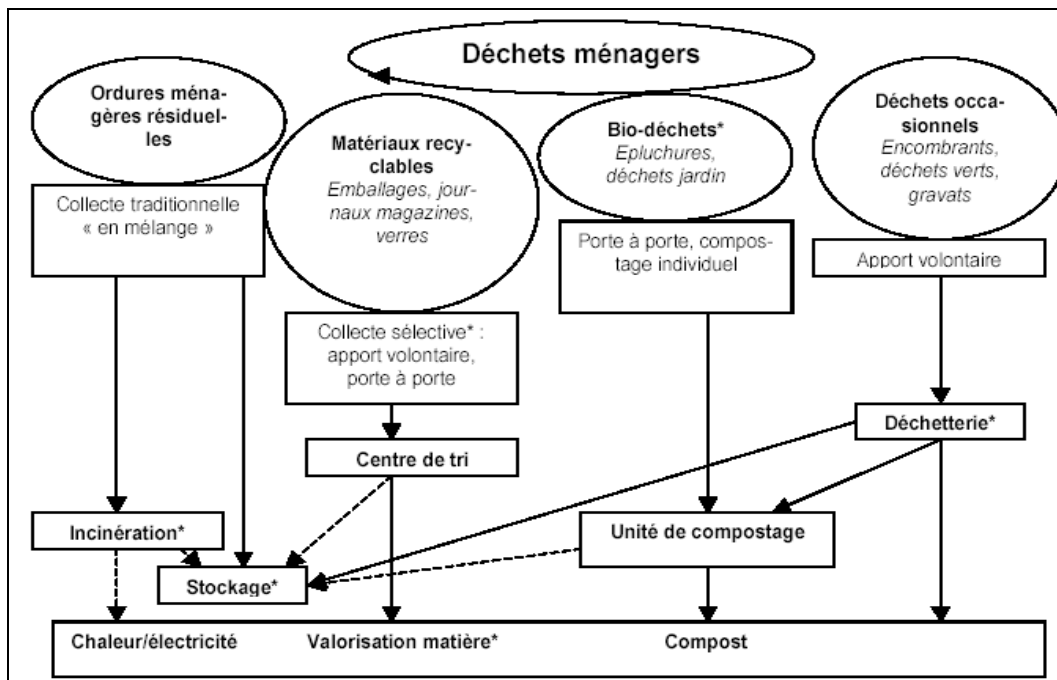


Figure 3: Identification des principales filières de la gestion des déchets ménagers en France (ADEME, 2003).

### I.2.8 Difficultés réglementaires

L'application réglementaire se trouve souvent confrontée à de grandes difficultés très contraignantes pour leur élimination, liées d'une part au manque de moyens locaux et aux faibles budgets attribués, et d'autre part à la nature et à la composition des déchets.

Au Togo d'après Koledzi (2011), la seule loi sur l'environnement date de 2008. La loi n° 2008-005 du 30 mai 2008 charge les collectivités territoriales de la gestion des déchets ménagers et de l'amélioration de la gouvernance environnementale.

Dans le cas de la Tunisie, la réglementation date de 1996, les lois et les décrets visant le contrôle, la gestion et l'élimination des déchets ont été modifiés et complétés en 2008.

Au Maroc, le cadre législatif général de gestion des déchets est constitué principalement de la loi 28-00 sur la gestion des déchets solides. Elle a été adoptée en 2006 et évoque tous les

aspects liés à la gestion des déchets, l'organisation de la collecte, du transport, du stockage, du traitement des déchets et leur élimination de façon écologiquement rationnelle, la valorisation des déchets par le réemploi, le recyclage ou toute autre opération visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie (Article premier de la loi 28-00). Elle a été accompagnée par la mise en place d'un certain nombre de décrets d'application promulgués tels que le Décret n° 2-07-253 du 18 juillet 2008 portant la classification des déchets et fixant la liste des déchets dangereux.

La notion de réglementation visant la protection de l'environnement reste très limitée en Algérie malgré l'augmentation de la quantité des déchets générés (Mezouari, 2011). La première loi visant la protection de l'environnement apparaît en 1983, loi n°83-03 du 5 février 1983, précisant la nocivité des déchets et demande de mettre fin à la mise en décharge des déchets. Le décret n° 84-378 du 15 décembre 1984 vient compléter la loi 83-03. Cette dernière pose la définition des déchets et préconise la mise en décharge contrôlée, accompagnée d'études d'impact.

Pour réglementer la gestion des RSU en Algérie une nouvelle loi a été promulguée, en l'occurrence la loi 01-19 du 12 décembre 2001. Cette nouvelle loi limite les responsabilités de chacun des acteurs du circuit des déchets (Tableau 8) et évoque, pour la première fois, le principe du pollueur-payeur. Ainsi, la nouvelle réglementation reprend non pas le flux de déchets mais, les catégories de flux de déchets. Chaque catégorie de déchet obéira à des règles spécifiques de gestion. On distingue selon cette loi : les déchets ménagers et assimilés, les déchets dangereux et les déchets inertes.

Tableau 7 : Responsabilités des différents intervenants dans la gestion des déchets en Algérie (Djemaci et Ahmed Saïd, 2011).

<b>Acteurs de la filière déchets</b>	<b>Responsabilités</b>
Municipalité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réalisation d'un plan de gestion ;</li> <li>- Gestion des déchets ménagers et assimilés ;</li> <li>- Installation des structures de tri ;</li> <li>- Mission d'information et sensibilisation.</li> </ul>
Secteurs d'activités industrielles et commerciales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Justification de la gestion des déchets ;</li> <li>- Obligation de trier ;</li> <li>- Evacuation des déchets sur des filières de valorisation.</li> </ul>
Secteur informel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collecteurs et trieurs des déchets au sein des quartiers, rue et marché ;</li> <li>- Collecteurs et trieurs au sein des décharges ;</li> <li>- Éboueurs des services municipaux.</li> </ul>

Cette loi a été instaurée pour mettre fin à la mauvaise gestion des déchets car elle fixe les responsabilités du secteur publique, du secteur formel et du secteur informel. Selon cette loi, le secteur public a une responsabilité de contrôle et de mise en application du service de la gestion des déchets, le secteur formel s'enrôle dans la collecte et le recyclage des déchets, et le secteur informel s'engage dans la réutilisation de certains types de déchets (Djemaci et Ahmed Saïd, 2011). Cette loi a pour objectif d'augmenter le taux de recyclage global et par matière. A titre d'exemple, trois possibilités de recyclage et de valorisation (décret n° 02-372 du 11 novembre 2002) sont envisageables pour les déchets d'emballage :

- valorisation par le détenteur sur la base d'une autorisation ;
- recours à des entreprises de valorisation agréées ;
- adhésion au système public de reprise, de recyclage et de valorisation créé à cet effet par le décret exécutif n°04-199 du 19 juillet 2004 fixant les modalités de création, d'organisation, de fonctionnement et de financement par le système public de traitement des déchets d'emballage.

Toutefois, une autre loi a été décrétée, la loi n°03.10 du 19 juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Cette loi concerne directement l'effet des décharges sur la santé publique. Pour la mise en œuvre de ces lois, le Programme National de Gestion des Déchets Municipaux (PROGDEM) vise à éradiquer les décharges sauvages et à organiser la collecte, le transport et l'élimination des déchets dans des conditions garantissant la salubrité de l'environnement.

Malgré tous ces dispositifs réglementaires, les rues sont de plus en plus insalubres et particulièrement dans les grandes villes algériennes. La situation de l'élimination des déchets demeure préoccupante en dépit des efforts consentis et du dispositif institutionnel et réglementaire (Figure 4). De même, on trouve des déchets toxiques provenant des activités de soin et des établissements de soins y compris les déchets anatomiques qui sont collectés et transportés vers les décharges contrôlées ou sauvages en même temps que les déchets ménagers.

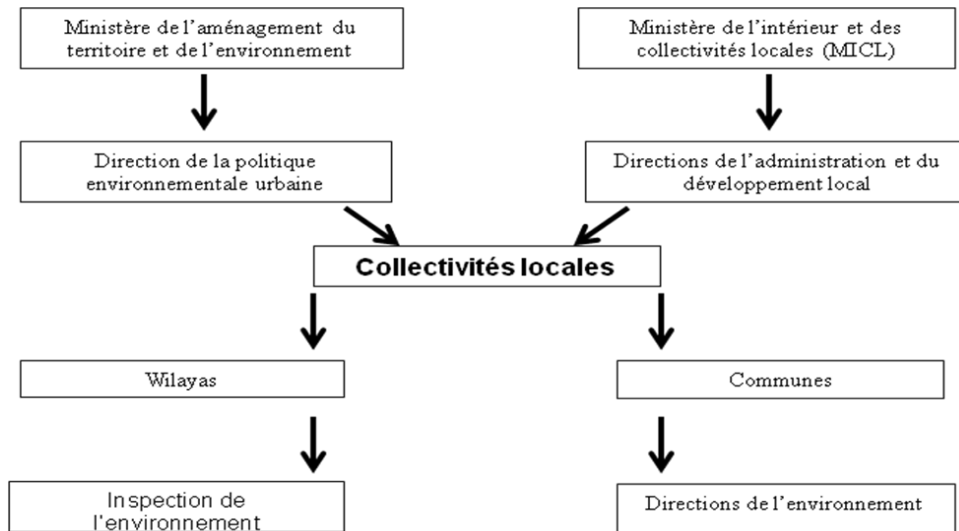


Figure 4 : Dispositif institutionnel en Algérie pour la protection de l'environnement.

### I.3 Exemple de dysfonctionnement du compostage industriel : usine de compostage de Beni Mered à Blida (Algérie)

Construite en 1989 et d'une superficie de 3,7 ha, elle a une capacité de traitement de 100 tonnes par poste de travail de 8 heures. Cette station était sensée produire 40 tonnes de compost par poste de travail. Démarrée en mai 1989, l'exploitation a cessé de fonctionner en 1992 pour reprendre ses activités pendant seulement quatre mois en 1996. Après la rénovation des bâtiments du service, des équipements et des engins, l'exploitation a redémarré en 1999. La station recevait les déchets de cinq communes de Blida, pour une population de 300.000 habitants. Tous les déchets générés y compris hospitaliers et industriels étaient livrés à la station pour un flux de 140 tonnes/j. La composition de ces déchets est classée dans le Tableau 8.

Tableau 8: Composition des RSU de Blida (Rapport sur l'état de l'environnement en Algérie, 2000).

Catégories	% (/MH)
Matières organiques	74
Papiers/Cartons	7
Plastiques	3
Verre	1
Métaux	2
Autres	13

La composition de ces déchets urbains révèle un taux en matière organique de 74%. La teneur en humidité est estimée à 55% avec des variations saisonnières importantes.

Le traitement de cette fraction organique par le compostage était souhaitable. La technique utilisée dans cette installation est la fermentation en andains après prétraitement mécanique dérivant de l'institution allemande RMT (Réseau Mixte Technologique) basée à Kehl en Allemagne. Le procédé de compostage comprend les étapes suivantes :

- Etape 1- enregistrement et contrôle des déchets,
- Etape 2- prétraitement mécanique,
- Etape 3-compostage en andains,
- Etape 4-affinage du compost

**Etape 1-** Les engins de transport déchargent les déchets sur le sol de l'aire de stockage située dans le bâtiment. Là, un grappin suspendu à une grue coulissante charge les déchets et les déverse dans une trémie de réception. Les objets encombrants et les corps étrangers peuvent être enlevés par le chargeur à roues ou par le grappin : un tri préliminaire est donc possible.

**Etape 2-** le prétraitement comporte deux étapes :

*a- Broyage et séparation magnétique*

Une bande à palettes à pente raide amène les déchets de la trémie de réception vers le broyeur. Il s'agit d'un broyeur à marteaux qui, à la fois, broie les composants encombrants et déchire les sachets poubelle. Les putrescibles sont fortement écrasés par ce type de broyage. Le verre et les pierres se désagrègent fortement. Pour la protection de l'installation, les corps étrangers surdimensionnés (pneus, ferrailles etc.) sont extraits via une dérivation et acheminés vers le cribleur par un transporteur. Le matériau broyé est évacué par un convoyeur oscillant installé en dessous du broyeur, puis acheminé par un transporteur vers un cribleur. A mi-chemin est installé un séparateur magnétique à action transversale. Les composants métalliques sont retirés, déposés sur un transporteur et évacués par transporteur vers le côté sud du bâtiment de production. Ce système d'extraction n'était pas prévu lors de la conception initiale de la station.

*b- Tamisage et sortie du bâtiment de production*

Les déchets broyés sont tamisés dans un tambour à mailles de 50 mm de diamètre. Le cribleur est constitué d'un tambour polygonal sans dispositif de nettoyage. Les fractions inférieures à 50 mm sont évacuées comme matériau de fermentation par un transporteur installé en dessous du cribleur et acheminées de l'unité de compostage vers le hangar de fermentation. Juste avant le hangar de fermentation, le matériau est transféré vers un autre transporteur.

Ce transporteur, monté sur une structure en acier d'une hauteur d'environ 4 m, est installé au milieu du hangar de fermentation, dans le sens de la longueur. Un chariot de déversement mobile est placé entre la réception et le poste de déviation. Il est équipé d'un transporteur réversible à disposition transversale permettant le déchargement des matériaux à gauche et à droite du transporteur et leur mise en andains. Les refus (supérieurs à 50 mm) du crible sont versés sur un transporteur ascendant à la fin du crible et sont déchargées du côté ouest de l'unité de compostage.

**Etape 3-** Les matériaux prétraités sont tous déchargés au même endroit à la fin du hangar, puis emmenés par un chargeur à roues et entassés en andains en couches d'une hauteur d'environ 3 m à l'extérieur du hangar de fermentation.

Le hangar de fermentation d'une largeur de 33 m permet de déposer deux andains d'une largeur au sol de 7 m chacun de part et d'autre du transporteur central. La hauteur des andains était d'environ 2,80 m. Ainsi, le hangar de fermentation avait la possibilité d'accueillir 4 andains d'une longueur de 60 m chacun et de 9,5 m<sup>2</sup> de section. Donc, la capacité de stockage était de 2.280 m<sup>3</sup> et chaque andain avait un volume de 570 m<sup>3</sup>.

**Etape 4-** Le compost grossier 50 mm est déversé par chargeur à roues dans une trémie de réception et acheminé par transporteur vers un cribleur. Le revêtement du cribleur présente des mailles de 10 mm de diamètre. La trémie de réception se trouve à l'extérieur, sur la façade sud de l'unité de compostage. Le cribleur a été installé dans l'unité de compostage.

Les composts de taille inférieure à 10 mm sont acheminés par transporteur vers un broyeur à cylindres, afin d'obtenir un compost de qualité plus fine et de désagréger les petites amas. Le compost fin broyé est évacué à l'aide d'un transporteur vers un point de chute situé à l'extérieur de l'unité de compostage. A ce stade, il est chargé par un chargeur à roues et stocké en andains en couches.

Les rejets du crible (granulation de 10 – 50 mm) sont évacués par un autre transporteur vers un point de chute situé à l'extérieur de l'unité de compostage. Les restes du tamisage, à forte teneur en corps étrangers, y sont entreposés dans un box, puis mélangés aux restes du tamisage du compost grossier. Ils doivent être mis en décharge en raison de la teneur élevée en composés indésirables.

La station a connu plusieurs arrêts de fonctionnement et elle n'est plus fonctionnelle depuis 2004 pour les raisons suivantes :

- non disponibilité des pièces de rechange du matériel motorisé ;
- coût élevé des travaux de rénovation ;

- mauvaise maintenance des équipements par un personnel peu qualifié ;
- non maîtrise des frais d'exploitation de plus en plus élevés ;
- type d'ordures ménagères réceptionnées non triées ;
- qualité du compost produit et non contrôlée par un laboratoire ;
- inexistence de stratégie en matière de revalorisation des déchets organiques ;
- présence de substances indésirables dans le compost pouvant conduire à un risque de contamination des sols telles que les plastiques, le verre et les métaux (ferreux et non ferreux) ;
- odeurs nauséabondes dues à une mauvaise maîtrise du procédé de compostage

Le compost produit par la station de compostage de Beni Merad à Blida n'était pas commercialisé. La quantité de compost produite était de l'ordre de 7500 t/an. Les objectifs n'ont pas été atteints pour répondre aux exigences de l'agriculture locale. Selon une étude réalisée par GAPCO en février 2002 dans le cadre d'une mission GTZ, le compost de Beni Mered ne répond pas aux exigences d'un compost valorisable en agriculture (Tableau 9).

Tableau 9 : Paramètres de qualité du compost produit à Beni-Mered, Blida (GAPCO, 2002).

Paramètres	unités	Résultats d'analyse	Tolérance
pH	-	7,7	6,6-8,3
Impuretés > 2mm (plastique, verres, matériaux)	%MS	4,10	< 0,5%
Pierres > 5 mm	%MS	4,10	< 5%
Matière organique	%MS	23,4	15-35
Azote total (N tot)	%MS	0,98	0,4-2,76
Phosphore P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%MS	1,15	0,24-1,79
Potassium K <sub>2</sub> O	%MS	0,57	0,18-2,20
Magnésium MgO	%MS	0,81	0,18-3,85
Calcium CaO	%MS	1,10	0,5-16,0
C/N	-	13,80	13-32

Ces résultats montrent que du point de vue nutritif, le compost de Beni Mered remplit les conditions des composts urbains. Mais, en ce qui concerne les impuretés, le compost révèle des taux élevés par rapport aux normes. Donc, l'épandage régulier entraînera une accumulation de matériaux non biodégradable dans le sol.



Les résultats d'analyse du compost ont montré que les teneurs en plomb, cuivre et zinc étaient élevés par rapport aux tolérances de marge, comme tous les composts produits à partir de déchets non préalablement triés.

## **I.4 Conclusion**

Dans les PED confrontés à de grandes difficultés de gestion urbaine notamment pour l'élimination d'énormes quantités de déchets la mise en place d'une gestion intégrée telle qu'elle a été décrite dans ce chapitre est un début de solution. Toutes les parties prenantes doivent être impliquées à chaque étape de cette gestion, pour la récupération de données nécessaires sur le flux généré, pour l'organisation d'une collecte optimale et équitable, pour l'optimisation des systèmes de recyclage et de valorisation, pour le traitement des déchets dangereux et enfin pour l'enfouissement d'un rejet ultime.

S'il faut tenir compte des acteurs de cette gestion, les moyens dont ils disposent doivent être identifiés, protocoles de caractérisation, guides d'expertise, méthodes économiques et bilans environnementaux. Les différentes expériences dans les pays développés ont montré que deux aspects sont à intégrer : le marché (matériaux recyclables et compost) et l'environnement.

Ce bilan de la gestion des RSU dans le PED a mis en exergue plusieurs constats : - l'accroissement de l'urbanisation ; -l'augmentation des quantités de déchets urbains ; - l'irrégularité de l'efficacité des systèmes de collecte ; -l'insuffisance du recyclage formel et de la valorisation notamment par compostage ; -l'Irrégularité de la collecte et du traitement des déchets dangereux et -le manque de contrôle des centres d'enfouissement rarement conçus pour limiter les impacts environnementaux.

Enfin la description des problèmes d'une usine de compostage en Algérie a permis de découvrir les principales causes de son dysfonctionnement.



## **II. ANALYSE DU GISEMENT ET DE LA COMPOSITION DES RSU**

### **II.1 Définitions**

Dans le langage courant, le terme déchet urbain ou mieux résidu solide urbain désigne une ordure ou tout autre résidu rejeté parce qu'il n'est plus valorisable ou réutilisable dans l'état. Avec le développement technologique et le changement de mode de vie des populations, cette définition possède une notion dévalorisante du déchet. En effet, elle s'avère peu conforme à la réalité et l'introduction des unités de valorisation impose l'adoption d'une définition nouvelle, relativement plus réaliste.

Au sens de la loi algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001(Article3), on entend par déchet « *Tout résidu issu 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* ». Elle reprend la définition du déchet dans la loi française n° 75-633 du 15 juillet 1975 (Article1)

Au sens de la loi française un déchet est défini comme « *Tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui est de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement* ».

Remarque : le terme « résidu » semble plus approprié que « déchet » pour décrire ces ordures dans la mesure où demeure dans « résidu » la notion de reste éventuellement à valoriser pour lui donner une plus-value, étymologiquement « déchet » est un mot qui vient des termes « déchoir ou déchu » qui sont négatifs.

### **II.2 Nomenclature des déchets / Liste européenne des déchets**

Les dispositions relatives à la classification des déchets se trouvent dans les articles R. 541-7 à R. 541-11 et dans les annexes de l'article R. 541-8 du code de l'environnement. Ces dispositions sont issues du décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 (JO du 20 avril 2002), abrogé et codifié dans le code de l'environnement par le décret du 12 octobre 2007 (JO du 16 octobre 2007).

Il s'agit d'une liste unique des déchets dans laquelle, ces derniers sont classés de 01 à 20

- 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.

### **II. 3 Classification des RSU (AFNOR, 2007)**

La classification des déchets est indispensable pour faciliter le choix de leur mode de gestion à la source ou sur le circuit de leur production (Alouimine, 2006 ; Wei., et al, 2000). Selon la commission de la normalisation AFNOR/X300 le 12 juin 2007, les déchets ménagers sont classés en 13 catégories et plusieurs sous-catégories (cf. Tableau 10).

**Tableau 10:** Liste des catégories et sous-catégories des déchets ménagers (AFNOR, 12 juin 2007).

N°	Catégorie	N°	Sous-catégorie
1	Déchets putrescibles	01.01	Déchets alimentaires (reste de cuisine)
		01.02	Produits alimentaires non consommés (sous emballage)
		01.03	Autres putrescibles
		01.04	Déchets de jardin
2	Papiers	02.01	Emballages papiers
		02.02	Journaux, magazines et revues
		02.03	Imprimés publicitaires a
		02.04	Papiers bureautiques
3	Cartons	02.05	Autres papiers
		03.01	Emballages cartons plats
		03.02	Emballages cartons ondulés
4	Composites	03.03	Autres cartons
		04.01	Composites ELA
		04.02	Autres Emballages composites
5	Textiles	04.03	Petits Appareils Electroménagers (PAM)
6	Textiles sanitaires	05.01	Textiles
		06.01	Textiles sanitaires fraction hygiénique
7	Plastiques	06.02	Textiles sanitaires fraction papiers souillés
		07.01	Films polyoléfines (PE et PP)
		07.02	Bouteilles et flacons en PET
		07.03	Bouteilles et flacons en Polyoléfines
		07.04	Autres emballages plastiques
8	Combustibles non Classés (CNC)	07.05	Autres plastiques
		08.01	Emballages en bois
9	Verre	08.02	Autres combustibles
		09.01	Emballages en verre incolore
		09.02	Emballages en verre de couleur
10	Métaux	09.03	Autres verres
		10.01	Emballages métaux ferreux
		10.02	Emballages aluminium
		10.03	Autres métaux ferreux
11	Incombustible non classés (INC)	10.04	Autres métaux
		11.01	Emballages incombustibles
12	Déchets ménagers spéciaux	11.02	Autres incombustibles
		12.01	Produits chimiques
		12.02	Tubes au néon, lampes basse consommation
		12.03	Piles et accumulateurs
13	Eléments fins	12.04	Autres déchets ménagers spéciaux
		13.01	Eléments fins entre 8 et 20 mm

## **II.4 Classification des RSU dans les PED**

Dans les pays du sud, si la classification des déchets est inscrite dans la réglementation, elle n'est que très peu souvent pratiquée par manque de données. Les autorités responsables de la gestion des déchets limitent leurs rôles à la collecte, au transport et à l'enfouissement. Les modes d'élimination restent toujours « *tout dans la décharge* ». Le problème de classification des déchets n'est pas pris au sérieux et le plus souvent les responsables se trouvent confrontés à des difficultés de collecte des déchets dans les endroits inaccessibles par les engins motorisés inadaptés et d'éradication des dépotoirs sauvages dans les ruelles. Le manque de données sur le flux de déchets générés ne permet pas de connaître leur composition.

Néanmoins, on peut différencier trois composantes des RSU (SGDSN, 2003) : les ordures ménagères, les déchets du marché et les déchets administratifs. Dans l'étude de la gestion des déchets, une autre classification classe les déchets en deux groupes selon leur nature (Sané, 2002 cité dans Aloueimine, 2006) : les déchets produits par les ménages et les déchets spéciaux (industriels, commerciaux et hospitaliers). Ces deux types de déchets nécessitent une planification particulière et des modes de traitement spécifiques pour chaque déchet. A part l'enfouissement, le compostage de la partie organique est une solution fiable dans les pays du sud (Aloueimine, 2006). D'après Ben Ammar (2006), les RSU sont classés en trois catégories dans plusieurs pays du sud:

- fraction organique (putrescibles) ;
- fraction des recyclables (papiers-cartons et plastiques) ;
- fraction des inertes (matière fine).

En Algérie, la caractérisation physique des déchets montre que ces derniers sont classés en quatre catégories (CEGEP, 2004) :

1. déchets ménagers et assimilés ;
2. déchets des commerces et de l'artisanat ;
3. déchets de voirie et de propreté urbaine ;
4. déchets des espaces verts et des marchés.

Les déchets ménagers et assimilés (DMA) se subdivisent en trois types :

- déchets putrescibles biodégradables (essentiellement des restes de nourriture) ;
- déchets recyclables (carton-papier, plastique, verre et métaux) ;
- déchets dangereux (piles, médicaments périmés, etc.).

## **II.5 Caractérisation des RSU**

L'objectif de la caractérisation physico-chimique des résidus solides urbains est de fournir le maximum d'informations sur le gisement des matériaux recyclables ; ces informations permettent de dimensionner des usines de traitement des déchets (compostage, méthanisation, prétraitements mécaniques et biologiques, installations d'incinération et de stockage).

Dans le cas du compostage, les déchets se caractérisent par : -la composition en matière organique et en matériaux non compostables qui doivent être triés (Aboulam, 2005); -la composition granulométrique pour le dimensionnement des équipements de tri (Francou, 2003); -la présence de facteurs polluants ; -les teneurs en éléments trace métalliques (Leclerc, 2001).

Dans le cas de l'enfouissement, cette caractérisation permet d'optimiser la capacité des centres de stockage et de prévoir la durée de vie des centres d'enfouissement des déchets. Elle est indispensable pour prévoir et modéliser la production et la composition des lixiviats produits (miroirs des déchets en phase de dégradation anaérobie) et du biogaz issu de la dernière phase méthanogène de la fermentation anaérobie (Aina, 2006).

Les déchets ménagers sont hétérogènes, leur caractérisation physique permet de les regrouper en catégories présentant une certaine homogénéité. L'analyse de leurs paramètres physiques s'effectue en général sur les déchets à l'état brut, donc humide, mais elle peut se faire également sur les déchets secs (Aina, 2006).

### **II.5.1 Caractérisation physique des RSU**

La caractérisation physique vise à distinguer les différents matériaux présents dans les déchets. Cette donnée s'avère particulièrement intéressante dans le cadre d'une gestion globale des RSU, pour l'étude des différentes filières de valorisation possibles sur un gisement de déchets.

Certains auteurs ont donné la composition des déchets suivant sept catégories (Buenrostro et Bocco 2003). Thogersen (1999) a classé les déchets en deux catégories : les fermentescibles (refus de cuisine) et les emballages. L'ADEME, en 2004, a actualisé les résultats d'une campagne de caractérisation des ordures ménagères de 1993 en identifiant 13 catégories et 33 sous-catégories (ADEME., 2005a). Une autre étude de tri et de caractérisation sur les RSU en Californie et aux Etats-Unis fait ressortir 98 types de matériaux groupés en 10 classes (Rapport, 2004) : 11 types de papier, 14 types de verre, 11 types de métaux, 4 types de déchets électroniques, 29 types de plastique, 9 types de déchets organiques, 7 types de déchets de

construction et de démolition, 5 types de déchets ménagers dangereux, 7 types de déchets spéciaux et une catégorie de mélange de résidus de petites tailles ne pouvant être triés. Le nombre de catégories varie selon les méthodes de caractérisation physique.

Dans les pays européens, la caractérisation des déchets ménagers est normalisée, le Tableau 11 regroupe le nombre des catégories et des sous-catégories dans différents pays européens.

Tableau 11: Nombre de catégories et de sous-catégorie des RSU de 7 pays européens (SWA-Tool, 2001).

Pays	Nombre de catégories	Nombre de sous-catégories
Allemagne	13	41
Angleterre	11	33
Autriche	11	25
Finlande, Suède et Norvège	11	≥ 20
France	13	39
Irlande	13	55
Pays Bas	18	17

Par contre dans les PED, il n’y a pratiquement pas de protocole spécifique pour la caractérisation des déchets ménagers. D’après Matejka et al. (2004), le protocole MODECOM normalisé (Figure 5) préconisé par l’ADEME en France, pourra être utilisé mais, il faut tenir compte des spécificités locales dans différents PED.

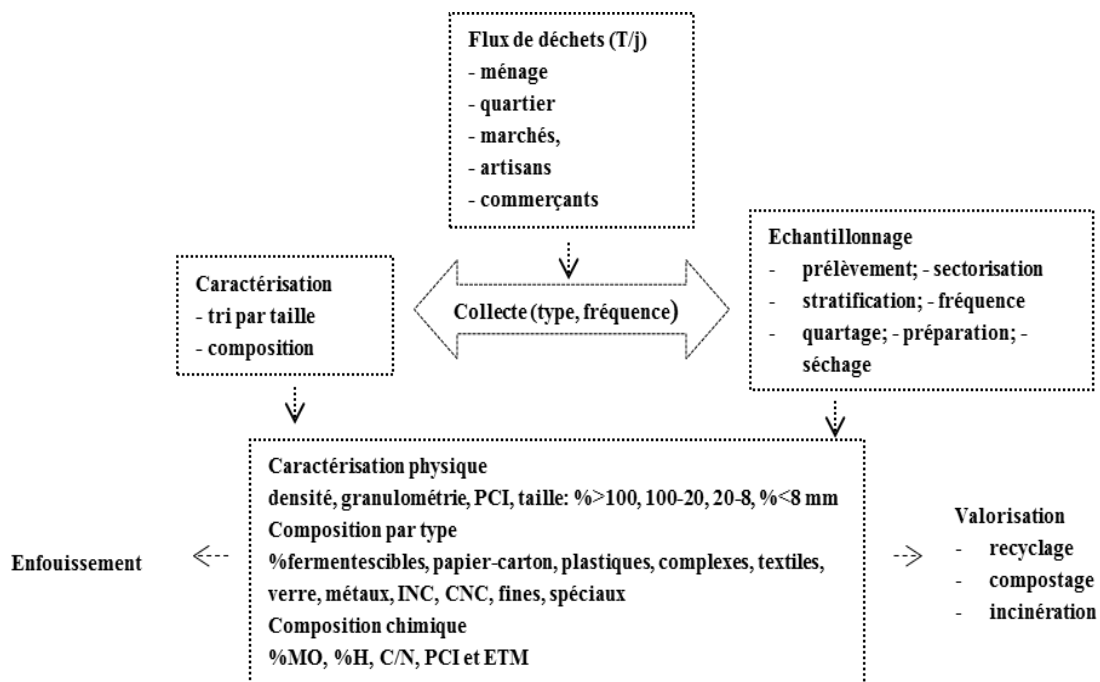


Figure 5: Méthodologie de caractérisation des déchets urbains (Matejka et al., 2004).



### II. 5.1.1 Densité ou masse volumique spécifique, (T/m<sup>3</sup>)

La densité d'un corps à l'état solide ou liquide est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique de l'eau pure à 4°C. La masse volumique de l'eau est égale à 1g/cm<sup>3</sup> ou 1kg/dm<sup>3</sup> ou 1T/m<sup>3</sup>. De ce fait, le terme densité est associé au terme masse volumique. La densité n'a pas d'unité. Mais, dans le domaine des déchets le terme de densité est largement utilisé et exprimé en T/m<sup>3</sup>, qui serait plutôt une masse volumique spécifique. Dans la suite de ce rapport, la densité sera exprimée en T/m<sup>3</sup> sachant que cela correspond à une masse volumique.

La connaissance de la densité ou de la masse volumique des déchets est très importante, pour le choix, d'une part des moyens de pré-collecte, collecte ou transport des déchets et d'autre part du type de traitement à préconiser. Ce paramètre met en évidence la relation qui existe entre la masse des ordures et le volume qu'elles occupent. C'est essentiel pour prédire les risques de pollution de l'environnement. La valeur de la densité varie selon les conditions dans lesquelles elle a été déterminée. La densité en poubelle oscille entre 0,20 et 0,30 T/m<sup>3</sup> ; dans les bennes et les remorques agricoles, elle varie entre 0,30 et 0,40 T/m<sup>3</sup> ; dans les bennes-tasseuses, sa valeur est de 0,45 à 0,55 T/m<sup>3</sup>. Enfin, la densité varie en fonction des saisons et du mode de vie des populations, mais elle varie avec l'humidité des déchets ; plus les déchets sont humides plus la densité se rapproche de 1 T/m<sup>3</sup>

Dans certains PED, la densité varie de 0,3 à 0,5 T/m<sup>3</sup>, fortement supérieure à celle des PD (comprise entre 0,1 et 0,2 T/m<sup>3</sup> pour des ordures riches en emballages et pauvres en matières putrescibles (Scharef et Vogel, 1994)). Cette différence est due essentiellement à la présence d'un pourcentage en matière organique et donc en eau. Le Tableau 12 répertorie les densités de déchets urbains de différents PED.

Tableau 12: Densité de déchets urbains.

Pays (ville)	Densité (T/m <sup>3</sup> )	Références
Algérie (Alger)	0,49-0,55	Mezouari, 2011
Algérie (Biskra)	0,33	Mezouari, 2011
Algérie (Chlef)	0,28-0,32	APC de Chlef, 2002. Bureau d'hygiène.
Cameroun (Nkofoulou)	0,44	Zahrani, 2006
Malaisie (Kuala Lumpur)	0,24-0,8	Tezanou et al., 2001 ; Wicker, 2000 ; Zurbrügg and Ahmed, 1999a
Maroc (Essaouira)	0,44	Zahrani, 2006
Mauritanie (Nouakchott)	0,41	Aloueimine, 2006
Pakistan (Islamabad)	0,13	Chong et al., 2005
Tunisie (Tunis)	0,3-0,5	Ben Ammar, 2006
Togo (Lomé)	0,53-0,76	Koledzi et al., 2011

Les variations saisonnières de consommation influencent les valeurs de la densité des déchets notamment dans les PED. Au Cameroun, la masse volumique des déchets peut passer de 0,18 T/m<sup>3</sup> en saison sèche à 0,4 T/m<sup>3</sup> en saison humide, soit une augmentation de 200% (Ngnikam et al., 1997). En Algérie, la densité des déchets diffère d'une ville à une autre, celle d'Alger varie entre 0,49 T/m<sup>3</sup> et 0,55 T/m<sup>3</sup> par contre celle des déchets de Biskra est de 0,33 T/m<sup>3</sup>. Il faut noter, que cette différence est forcément liée aux taux de différentes catégories de déchets générés dans les deux villes.

### **II.5.1.2 Tri par taille**

Le tri par taille des déchets s'effectue selon deux modes opératoires:

-le tri des déchets bruts : ce type de tri est décrit dans les normes françaises NF XP X30-408 (AFNOR, 1996 c) et NF XP X 30 416 (AFNOR, 1996 d). Ce mode de tri est inclus dans la méthode MODECOM développée par l'ADEME ;

-le tri des déchets après séchage : ce mode de tri est décrit dans la norme française NF XP X30-466 (AFNOR, 2005). Il a été développé par le Centre de Machinisme Agricole, Eau et Forêt (CEMAGREF).

Dans le cas des déchets humides, le criblage se fait sur une table de tri et pour les déchets secs, on utilise un trommel (cribleur rotatif).

La répartition granulométrique est utilisée pour séparer les fractions spécifiques. Cette méthode est préconisée par MODECOM, 1993. Elle est utilisée pour réaliser le tri par taille (4 fractions : gros >100mm, moyens (100-20mm), fins (<20mm) et les extra-fins (< 8mm). L'ADEME (2005b) conseille un tri par taille compris entre 100 et 300 mm et recommande un tri des hétéroclites (> 300 mm). D'autres études (Von Blottnitz et al., 2001) ont appliqué un tri entre 40-80 mm.

### **II.5.1.3 Tri par catégories**

Les putrescibles, papiers, cartons, textiles, textiles sanitaires, plastiques, combustibles non classés, verre, métaux, incombustibles non classés, les déchets spéciaux et les fins sont les principales familles rencontrées et préconiser par le protocole MODECOM, (1993). Toutefois, ce type de classement n'est pas toujours réalisé. Morvan (2000), classe les déchets en sous famille: les métaux (ferreux et autre), les plastiques (film ou non) et les fins (inférieurs à 8 mm ou entre 20 mm et 8 mm). Cette différence entre les familles et l'hétérogénéité des déchets entraîne des difficultés dans la comparaison des résultats. Cette variation est liée au niveau du mode de vie, aux variations saisonnières importantes, à

l'hétérogénéité des situations urbaines et aux événements culturels et religieux (Ramadhan, Aid, etc.) (Ben Ammar, 2006).

L'analyse de plusieurs études bibliographiques relative à la variabilité des déchets dans différents pays est illustrée dans le Tableau 13 (Kehila, 2010 (1) ; Bouchareb, 2010 (2) ; Labidi, 2010 (3) ; Mohamed, 2010 (4) ; METAP, 2004 (5) ; Alouiemine, 2006 (6) ; Estevez, 2003(7) ; Hani, 2010(8) ; Aber, 2010(9) ; Wei et al, 2000(10) ; Ben Ammar, 2006(11), (12) et (13) ; Hafid, 2002(14) , (15) et (16) ; Skordilis, 2004 (17) ; Raj, 2000 (18)) .

Tableau 13: Composition physique en % de plusieurs catégories de déchets ménagers.

Pays	Putrescibles	Papier-carton	plastiques	Métaux	Verre	Autre
<b>Afrique</b>						
Algérie <sup>(1)</sup>	62	9	12	2	1	14
Burkina-Faso <sup>(6)</sup>	60	2	0,	2	-	33
Egypte <sup>(5)</sup>	56	10	13	2	4	15
Maroc <sup>(2)</sup>	65	8	10	1	2	14
Mauritanie <sup>(4)</sup>	5	6	20	4	4	61
Tunisie <sup>(3)</sup>	68	9	11	2	2	8
<b>Asie</b>						
Chine <sup>(7)</sup>	13	4	4	0,1	4	74
Japon <sup>(14)</sup>	30	40-42	8-10	4-8	7-13	-
Jordanie <sup>(8)</sup>	52	13	17	1	3	14
Syrie <sup>(9)</sup>	57	7	7	4	3	22
<b>Amérique</b>						
Brésil <sup>(13)</sup>	32	10	12	-	-	-
Chili <sup>(10)</sup>	49	19	10	2	2	18
Colombie <sup>(12)</sup>	18	7	5	-	-	-
Mexique <sup>(11)</sup>	20	4	-	-	-	-
<b>Europe</b>						
Allemagne <sup>(17)</sup>	15	28	3	7	9	-
France <sup>(15)</sup>	29	25	15	5	13	18
Grèce <sup>(18)</sup>	45	22	11	5	4	-
Turquie <sup>(16)</sup>	21	11	29	-	-	-
<b>Océanie</b>						
Apia (Samoa) et Port Vila (Vanuatu) <sup>(18)</sup>	58	12	10	8	6	6

Cette variabilité des catégories de déchets permet de comprendre le mode de vie des populations et s'acquittent de leur fonctions principales (consommation, alimentation) et

culturelles, ou professionnelles. On peut établir les tendances de comportement sur la base d'analyses de contenu des poubelles effectuées sur plusieurs années (Campan, 2007).

La réalisation des CET au niveau de plusieurs wilayas algériennes a permis aux responsables et aux chercheurs d'envisager des campagnes d'échantillonnage et de caractérisation des déchets collectés et transportés vers les CET. La composition des déchets transportés vers les CET de plusieurs villes algériennes sont répertoriées dans le Tableau 14. Elles permettent d'avoir une idée relativement précise de la composition des RSU dans plusieurs villes aux climats différents, malgré les biais inéluctables dus au type d'échantillonnage au niveau des CET.

Tableau 14: Composition des RSU (en %) dans plusieurs wilayas algériennes.

<b>Catégories</b>	<b>Alger <sup>(1)</sup> 2007</b>	<b>Blida <sup>(5)</sup> 2004</b>	<b>Biskra <sup>(2)</sup> 2009</b>	<b>Chlef <sup>(7)</sup> 2006</b>	<b>Constantine <sup>(4)</sup> 2005</b>	<b>M'sila <sup>(6)</sup> 2003</b>	<b>Oran <sup>(3)</sup> 2001</b>
Matières organiques	58	74	35	72	70	76	67
Papiers-cartons	8	7	8	7	10	6	8
Plastiques	11	3	12	5	10	8	3
Textiles	8	-	19	4	2	-	8
Verres	1	1	1	4	1	1	1
Métaux	1	2	3	2	7	3	3
Divers	13	13	22	6	-	6	10

Mezouari, 2011 (1), (2); Tabet, 2001 (3); Redjal, 2005 (4); rapport sur l'état de l'environnement en Algérie, 2000 (5); Naghel, 2003 (6) ; APC de Chlef, 2009 (7).

## **II.5.2 Caractérisation chimique des RSU**

L'humidité, la matière organique, les teneurs en éléments traces métalliques (ETM) et les teneurs en impuretés représentent le potentiel polluant d'un déchet. Cette pollution peut être organique, minérale ou métallique. Elle peut provenir des papiers-cartons, des plastiques, des fins, des métaux et des déchets ménagers dangereux. Afin d'estimer la pollution des milieux naturels et les risques sanitaires, la connaissance de la composition chimique des déchets est primordiale. La connaissance de l'humidité et la matière organique servent en outre à estimer la filière d'élimination adéquate. Le Tableau 15 illustre la valeur moyenne de la composition chimique d'un déchet déterminée suivant un modèle français.

Tableau 15: Composition chimique d'un déchet (ADEME, 1999a).

<b>Paramètre</b>	<b>Teneur moyenne</b>
Matière organique totale	35 % MH (Masse Humide)
Taux d'humidité	59,2 % MS (Masse Sèche)
C	33,4 % (MS)
Cl	14 g/kg (MS)
S	2,8 g/kg (MS)
N organique	7,3 g/kg (MS)
F	58 mg/kg (MS)
B	14 mg/kg (MS)
Cd	4 mg/kg (MS)
Co	113 mg/kg (MS)
Cr	183 mg/kg (MS)
Cu	1048 mg/kg (MS)
Mn	412 mg/kg (MS)
Hg	3 mg/kg (MS)
Ni	48 mg/kg (MS)
Pb	795 mg/kg (MS)
Zn	1000 mg/kg (MS)

### **II.5.2.1 Taux d'humidité, H%**

Il représente le pourcentage en poids de l'eau contenue dans une masse de déchets solides frais, stockés à l'abri des intempéries et collectée dans un délai raisonnable. Le taux d'humidité se calcul par rapport à la masse initiale.

La norme NF M 03-002 (MODECOM, 1993), recommande de sécher une masse de 20 kg de chaque déchet dans une étuve à  $105 \pm 2$  °C pendant 24 heures jusqu'à une masse constante.

Le taux d'humidité varie selon la nature des déchets (putrescibles, papiers, cartons, etc.), le lieu de production (zone urbaine ou rurale) et les saisons (pluviale ou sèche).

Dans les PED, l'humidité des déchets varie entre 60% et 80%. Elle provient de la forte proportion de matière organique qui oscille entre 60% et 85%. A Nouakchott, l'humidité est de 11% (Aloueimine, 2006). Cette faible valeur est due à la présence de 23% seulement de la partie putrescible dans les déchets. Les travaux de Ben Ammar (2006), montrent que l'humidité de certaines catégories (putrescibles, papiers et cartons) varie entre 40% et 70% en Tunisie. Dans la majorité des PED, la valeur de l'humidité des déchets est supérieure à 50% (cf. Tableau 16). En Europe et dans les PD, l'humidité varie de 25% à 35% à cause du faible pourcentage de la matière organique (10% - 40%).

Tableau 16: Taux d'humidité des déchets urbains dans les PED.

Pays (ville)	% Humidité			Références
	Putrescibles	Papiers-cartons	Fins < 20 mm	
Algérie (Alger)	74	54	66	Mezouari, 2011
Algérie (Biskra)	84	61	64	Mezouari, 2011
Algérie (Chlef)	70-80	50-60	60	Tahraoui Douma, 2006
Cameroun (Nkofoulou)	72	57-72	57	Zahrani, 2006
Burkina Faso (Ouaga dougou)	30	25-30	25	Aina, 2006
Maroc (Essaouira)	64	38	60	Zahrani, 2006
Mauritanie (Nouakchott)	23	5	12	Aloueimine, 2006
Tunisie (Tunis)	84	62	61	Ben Ammar, 2006
Togo (Lomé)	75-81	73-89	33-49	Koledzi, 2011

### **II.5.2.2 Pouvoir calorifique inférieur, PCI, en kcal /kg**

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'un déchet est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de masse de ce combustible à une température et une pression de référence donnée. Le PCI ne tient pas compte de la chaleur de vaporisation de l'eau pendant la combustion. Sa détermination permet d'envisager la possibilité d'une éventuelle incinération des déchets solides. Les déchets peuvent être incinérés lorsqu'ils ont un PCI supérieur à 1200 kcal/kg (Ngnikam et al., 2002).

Le PCI est inversement proportionnelle à l'humidité. Lorsque les déchets contiennent plus de 50% d'humidité, elles sont impropres à l'incinération et c'est le cas des déchets ménagers en Algérie. Donc, la connaissance des deux paramètres (PCI et H%) est essentielle pour le choix du mode de traitement (incinération ou compostage....).

Le PCI des déchets ménagers dans les PED est assez faible. Il est de l'ordre de 1000 kcal/kg (Tunisie, Côte d'Ivoire et Colombie (Wicker, 2000)). Il varie de 2180 jusqu'à 2774 kcal/kg en Malaisie (Kathirvale *et al.*, 2003) et il est d'environ de 2652 kcal/kg en Mauritanie (Aloueimine et al., 2005 a et b). Au Maroc, il varie entre 900 et 1000 kcal/kg (Ben Ammar, 2006).

Dans le cas des déchets algériens, la valeur moyenne d'humidité est comprise entre 45 et 70% et le PCI est inférieur à 1200 kcal/kg, les déchets se prêtent au compostage. L'incinération n'est pas possible (PNUD, Guide de gestion des déchets ménagers et assimilés).

### **II.5.2.3 Teneur en matière organique, MO%**

Le terme matière organique regroupe un ensemble important et hétérogène de substances et de composés carbonés d'origine végétale et animale. Il s'agit par exemple des glucides, protides et lipides, molécules essentielles des putrescibles mais, de cellulose, d'hémicellulose, de lignine et d'autres composés synthétiques d'origine anthropique comme les polymères, les agents lessiviels et les nombreuses molécules de la chimie industrielle plus ou moins biodégradables. A la différence de la matière minérale, la matière organique est souvent en partie biodégradable. Outre le carbone et l'oxygène qui sont les éléments essentiels, elle peut contenir aussi d'autres éléments comme l'azote (N), le phosphore (P), le Soufre (S) etc. La fraction fermentescible des RSU est constituée principalement de matière organique d'origine supposée potentiellement biodégradable en conditions aérobies et/ou anaérobies. La matière organique naturelle est constituée de composés chimiques de masses, de tailles et de propriétés chimiques distinctes, regroupés en quatre familles (Bayard et al., 2006) :

- composés hydrogénocarbonés: saccharides (composés solubles non cellulosiques), cellulose, hémicellulose et lignine ;
- composés lipidiques : acides gras, stérols, graisses et cires ;
- composés protéiques : peptides, polypeptides et protéines ;
- composés humiques : noyaux polycycliques avec chaînes latérales (acides humiques et fulviques, et humines).

La matière organique obtenue par perte au feu est une perte d'espèces organiques et minérales (dioxyde de carbone et sels volatils). Elle est exprimée par la différence de la masse avant calcination et la masse après calcination (Lechler and desilets, 1987). Si la perte au feu (PF) représente essentiellement la matière organique combustible à 550°, cette matière organique n'est pas constituée à 100% de molécules organiques biodégradables ; la PF peut mesurer les composés organiques réfractaires à la biodégradation comme les polymères, les agents lessiviels, le bois, le cuir etc.

La connaissance du pourcentage de la quantité en MO des déchets est un indicateur très important pour le choix du traitement. Généralement dans les PED, les RSU générés contiennent une partie prédominante de putrescibles (plus de 50%) riches en matière organique (Ben Ammar, 2006). Elle provient essentiellement des putrescibles, papiers, cartons, textiles, plastique et de la fraction des combustibles non classés -CNC- (bois, cuir, etc.) et de la matière fine (Aloueimine, 2006). D'après François (2004), les plastiques en contiennent 92 %, les textiles 90 %, le bois 84 %, les putrescibles et le papier-carton 82 %, les autres fractions telles que les incombustibles non classés, le verre et les métaux contiennent

un faibles taux en MO. Différents taux de matière organique (/MS) des déchets sont classés dans le Tableau 17.

Tableau 17: Pourcentage en MO/MS des déchets urbains dans quelques pays.

<b>Pays</b>	<b>% MO (/MS)</b>	<b>Références</b>
Algérie	60-70	PNUE, 2004
France	59	François, 2004
Ile Maurice	85	Mohee, 2002
Malaisie	31	Kathirvale et al., 2003
Mauritanie	52	Aloueimine et al., 2005-b
Tanzanie	80	Mbuligwe et Kassenga, 2004
Tunisie	52	Ben Ammar, 2006

## **II.6 Conclusion**

Dans les pays développés (PD), la nomenclature des déchets, leur classification et leur composition physique et chimique sont normalisées, en termes d'outils méthodologiques et de protocoles qui permettent de comparer les résultats obtenus. La connaissance de ces outils permet de constituer une base de données utiles à la gestion des RSU et notamment au bon fonctionnement des systèmes de traitement des déchets.

Dans les PED les données en matière de classification et de caractérisation des RSU sont inexistantes ou quand elles existent, elles ne sont que partielles. Actuellement, dans ces pays, les autorités locales ont pris conscience de l'importance de ces données et ont lancé plusieurs programmes de caractérisation des RSU en s'appuyant sur des protocoles internationalement reconnus et adaptés aux spécificités locales.

La caractérisation physico-chimique des déchets dans certains PED montre qu'ils possèdent des taux d'humidités et des pourcentages en MO importants. Le traitement par compostage peut être une alternative de la mise en décharge sous condition que la filière compostage soit rendue pérenne.

En Algérie, la production des déchets ne cesse de croître. Les travaux scientifiques réalisés localement en matière de caractérisation des déchets (humidité (50%-80%) et en matière organique (60%-70%)) dans plusieurs villes algériennes, en particulier à Chlef, montrent que les déchets se prêtent à un traitement par compostage. Le compostage est en mesure de répondre aux exigences en matière de protection de l'environnement et de réduction des énormes quantités de déchets enfouis. Ce mode de traitement sera développé dans le chapitre III.



### **III. VALORISATION DES RSU PAR COMPOSTAGE**

#### **III.1 Généralités sur le compostage**

##### **III.1.1 Définitions**

Donner une définition simple du compostage n'est pas chose facile, plusieurs interprétations du compostage existent. Pour Gotschall et al. (1991), le compostage est la culture de la faune et de la flore naturelle du sol activée par aération du tas. Le compostage peut être défini comme un procédé biologique contrôlé de conversion et de valorisation des substrats organiques (sous-produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique) en produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composés humiques (Mustin, 1987). Quant à Gobat et al. (1998), ils considèrent le compostage comme un procédé de traitement intensif des déchets organiques qui met en œuvre, en les optimisant, des processus biologiques aérobies de dégradation et de stabilisation des matières organiques complexes. Pour Hoitink (1995), le compostage est une technique artificielle qui démarre et se poursuit sous conditions maîtrisées au lieu d'attendre le résultat d'une décomposition naturelle incontrôlée. La définition la plus précise du processus reste celle de Godden (1986), qui désigne le compostage comme un processus de transformation biologique de matériaux organiques divers. C'est un processus oxydatif qui comprend une phase thermophile. Les produits formés sont principalement du CO<sub>2</sub> et un produit stabilisé, le compost mûr. Les déchets organiques de départ sont colonisés puis transformés par l'activité successive de différentes populations microbiennes. Chacune de ces populations modifie le milieu puis, elles sont remplacées par d'autres colonies microbiennes mieux adaptées aux nouvelles conditions. D'après l'ITAB (2001d), d'autres définitions peuvent être retenues en fonction du type de produit à traiter ou en fonction de l'objectif du compostage recherché. Le compostage est un processus de décomposition et de transformation contrôlée de déchets organiques biodégradables d'origine végétale et/ou animale, sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie.

Le compostage est un processus complexe, lié à plusieurs facteurs aussi bien physiques, chimiques que biologiques pour son bon déroulement (Figure 6).

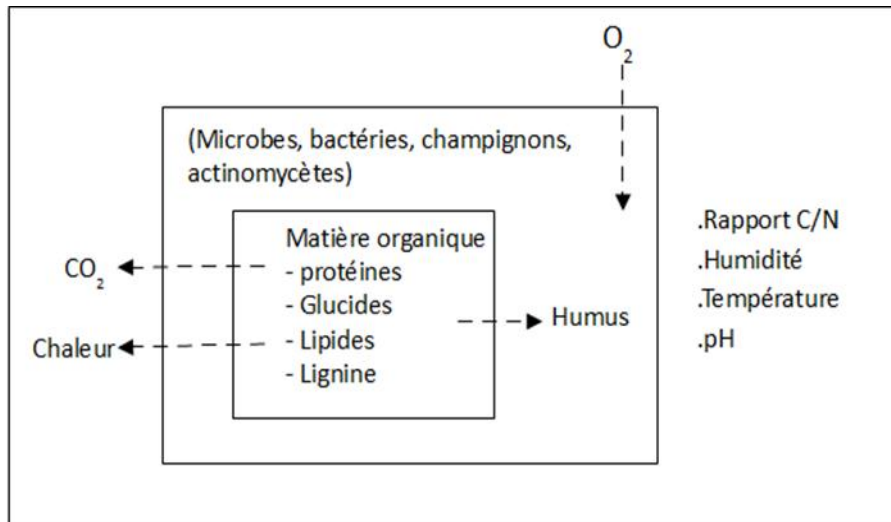


Figure 6 : Résumé du processus lors d'un compostage:  
Schéma proposé par Itävaara *et al.* (1995).

### III.1.2 Objectifs du compostage

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

- stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique, dues principalement à la présence de matières organiques biodégradables. On parle de stabilisation biologique ou bio stabilisation de la matière organique, accompagnée d'une hygiénisation ;
- réduction du gisement par diminution de la masse des déchets ;
- production d'un compost valorisable pour l'amendement organique des sols agricoles.

### III.1.3 Avantages du compost

Le compost est issu de la valorisation des déchets organiques, et il est utilisé pour l'amélioration de la productivité du sol. L'incorporation de cet amendement organique au sol améliore ses propriétés physiques, chimiques, biologiques et texturales, d'où une augmentation des rendements de cultures (Séréme et Mey, 2007).

#### - Effet sur la croissance des végétaux et des racines

Le compost est riche en matière organique et en oligo-éléments tels que le fer, le manganèse, le cuivre, le zinc et le bore. Ces éléments sont nécessaires à la croissance des végétaux.

***-Effet sur la capacité de rétention d'eau et sur la porosité du sol***

Le compost étant composé de particules de tailles différentes, il offre une structure poreuse qui améliore la porosité du sol. Pendant les pluies et l'arrosage, la matière organique contenue dans le compost est en mesure d'absorber de l'eau et de la retenir pour que les végétaux utilisent cette réserve entre les pluies et les arrosages, améliorant ainsi la capacité de rétention d'eau dans le sol. Si l'augmentation du taux d'humus est de 0,2%, la quantité d'eau disponible pour le végétal croîtra de 0,5% et la porosité du sol de 1% (Charnay, 2005).

***- Effet sur les propriétés physiques du sol***

Des épandages successifs de composts augmentent la teneur de la matière organique du sol (Crecchio et al. 2004; Garcia-Gil et al., 2004; Montemurro et al., 2006; Walter et al., 2006).

La majorité des substances humiques sont riches en acides humiques stables (He et al., 1995), ce qui augmente la capacité tampon du sol (He et al., 1995; Garcia-Gil et al., 2004). Aussi, des changements de la structure du sol ont été observés après application du compost pendant 9 ans (Garcia-Gil et al., 2004). L'épandage du compost dans le sol augmente la stabilité des agrégats du sol par le biais de la formation de ponts cationiques, améliorant ainsi la structure du sol (Hernando et al., 1989 ; Annabi et al. 2007).

D'autres études sur l'application des composts urbains et leur effet sur les propriétés physiques des sols (Gallardo *et al.*, 1987; Hernando *et al.*, 1989), aboutissent à des conclusions similaires: - diminution de la densité massique et de l'indice d'instabilité structurale ; - augmentation de la capacité de rétention en eau et modifications du pH.

***- Effet phytosanitaire***

L'influence positive de la photosynthèse des couches végétales qui s'explique par une augmentation du CO<sub>2</sub> dans la première couche d'air au-dessus du sol a été observée par Epstein et al. (1976), cette dernière est causée par le gaz carbonique qui est dégagé au fur et à mesure de la minéralisation du compost par les microorganismes du sol.

L'action directe du compost sur la santé des plantes se traduit par une réduction des maladies aussi bien telluriques que foliaires (Hoitink et Grebus, 1994), cette action est due essentiellement à sa microflore bénéfique. Cependant, tous les composts ne possèdent pas le potentiel de protection des plantes contre les maladies (Fuchs et Larbi, 2004 et Hoitink et al., 1997).

***-Effet sur le rendement***

Certaines recherches suggèrent, qu'une forte contribution des composés azotés nécessaires à la plante, organiques et inorganiques, peut être obtenue après apport de compost (Iglesias-Jimenez et Alvarez, 1993). Le compost fournit efficacement du phosphore, du potassium (36–

48% sont disponible pour la plante), et oligo-éléments au sol et à la plante (Soumare et al., 2003 ; Zhang et al., 2006). L'augmentation du rendement des tomates de fraises cultivées dans un terreau sablonneux a été observée pendant 3 années consécutives (Maynard, 1995).

***-Lutte contre l'érosion des sols***

Les actions du compost contre l'érosion des sols se résument en trois points :

\*Amélioration des propriétés physiques: la matière organique favorise la rétention et la restitution d'eau aux végétaux, tout en optimisant le développement et l'oxygénation des racines.

\*Amélioration des propriétés biologiques: Le compost conserve dans le sol la microfaune et la microflore en contribuant ainsi un bon fonctionnement des échanges entre sol et plante.

\*Amélioration des propriétés chimiques: Le compost diffuse les éléments nutritifs de manière pérenne en stoppant l'acidification des sols.

***-Effet sur la biodiversité***

La biomasse N, C et S augmente dans le sol immédiatement après l'apport de compost au-delà d'un mois, alors que la biomasse P a montré une tendance à la hausse après 5 mois (Perucci, 1990 ; Bhattacharyya et al., 2003b). Dans une perspective à long terme, il a été constaté que plusieurs ajouts de composts augmentent la biomasse microbienne carbonée, et cette augmentation a persisté 8 ans après l'application (Garcia-Gil et al., 2000).

Après l'application du compost des déchets urbains, les activités enzymatiques ont été accrues (Perucci, 1990) et ont persisté 3 mois après l'application (Perucci, 1990). Bien que, les composts semblent avoir une grande incidence sur les activités des enzymes du sol, il n'y a pas de changement à court terme en terme de structure de la communauté bactérienne (Crecchio et al., 2004). Le sol est conservé comme entité vivante avec ses bactéries qui peuvent jouer un rôle dans la dépollution des retombées polluantes sèches ou humides.

### **III.2 Déchets urbains compostables**

Le développement du compostage des déchets urbains dépend des débouchés qu'ont les composts, surtout en agriculture (Francou, 2003). L'obtention du compost qui a une valeur agronomique est très importante. Dans cette optique, les déchets urbains compostables peuvent être classés en plusieurs catégories :

**- Putrescibles des déchets solides urbains :** Déchets organiques biodégradables (reste de cuisine, produits alimentaires non consommés, épluchures des légumes et fruits), ou bio déchets (déchets de jardin, déchets de marchés). Ces déchets sont collectés sélectivement.

- **Déchets ménagers** ou ordures ménagères résultant des activités domestiques des ménages. Les catégories concernées sont : - les putrescibles (restes de cuisine et déchets verts) ; - les papiers-cartons, les CNC et les fines éventuellement qui ont un pourcentage en matière organique suffisant. Ces déchets doivent être collectés sélectivement.

- **Ordures ménagères résiduelles** : Cette fraction de déchets est obtenue après tri des papiers-cartons, verres et emballages.

- **Déchets verts** : représentent tous les déchets végétaux provenant des entretiens des terrains de sports, des jardins publiques ou privés : tontes d’herbe, élagage, feuilles.

- **Boues d’épuration de stations urbaines** issues des traitements des eaux usées urbaines. Le comité Européen de Normalisation les définit comme : un mélange d’eau et de matières solides. Parce qu’elles ont une forte humidité, les boues de stations d’épuration des eaux usées doivent être mélangées avec un structurant (déchets verts, sciure de bois) pour être compostées.

Quelle que soit la nature des déchets urbains compostés et les techniques de compostages (tri-compostage, co-compostage, compostage), les composts urbains (Figure 7) produits doivent être convenables et répondre à des critères de qualité reconnus pour une utilisation agricole (Yulipriyanto, 2001).

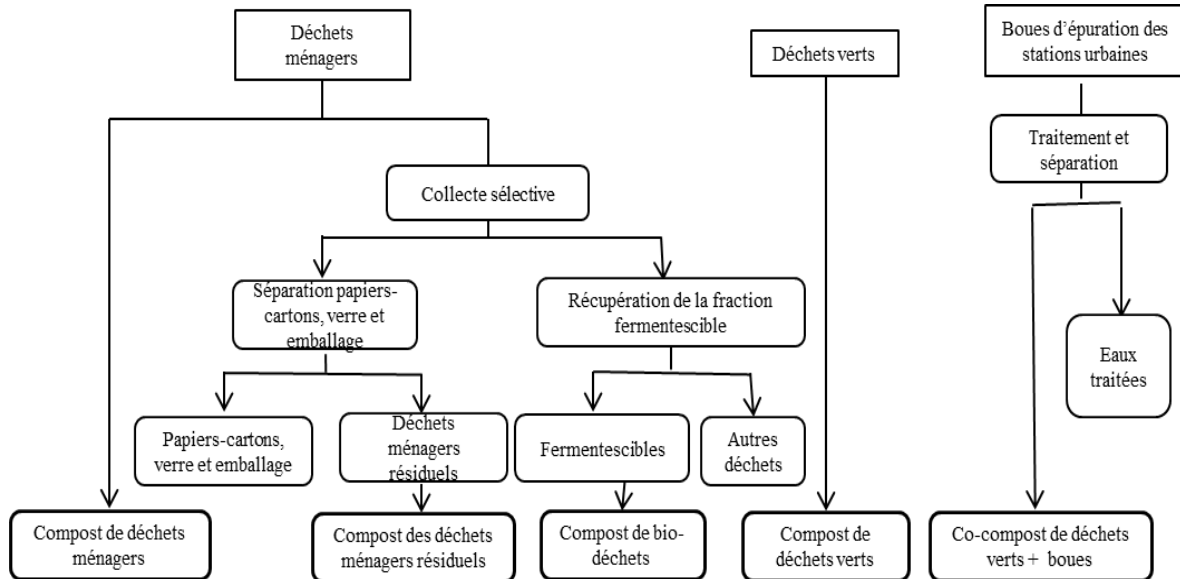


Figure 7: Les différents types de composts issus des déchets urbains (Francou, 2003).

### III.3 Processus du compostage

Le déroulement du compostage est décrit par Poincelot (1972), comme l’évolution d’un mélange hétérogène de matières organiques, contenant des bactéries et des champignons,

qui se décompose en condition aérobie quand les concentrations en humidité et en oxygène sont favorables. Lors du processus, la température augmente en raison de la chaleur qui se dégage pendant l'oxydation biologique, la matière organique se comporte comme un isolant. Les variations de températures induisent différents phénomènes dans l'andain : - changement de population microbienne ; -élimination d'eau, d'acides gras volatils et de l'ammoniac ; - modification de la matière organique. Le volume du mélange diminue considérablement, le pH baisse, puis il augmente.

Le procédé comporte deux étapes principales (Adani et al., 1995). La première se caractérise par l'activité microbienne menant à la décomposition des matières biodégradables et à la stabilité du résidu organique. La deuxième étape se caractérise par la conversion d'une partie de la matière organique restante en substances humiques. L'humification est indiquée comme le facteur principal d'amélioration de la qualité du compost car, les substances humiques sont importantes pour la fertilité et l'amélioration de la structure du sol. Leurs effets sont bénéfiques à la croissance des plantes (Chen et Aviad, 1990 ; Chen et Inbar., 1993). Mais, d'une manière détaillée, Kaiser (1983), décrit le processus de compostage en quatre étapes. Les trois premières correspondent à la fermentation, et la dernière correspond à la maturation. Les phases du procédé de compostage sont : -phase mésophile ; - phase thermophile ; - étape de refroidissement et de maturation. L'évolution de la température lors du compostage au sein de l'andain permet de définir ces quatre phases (Figure 8).

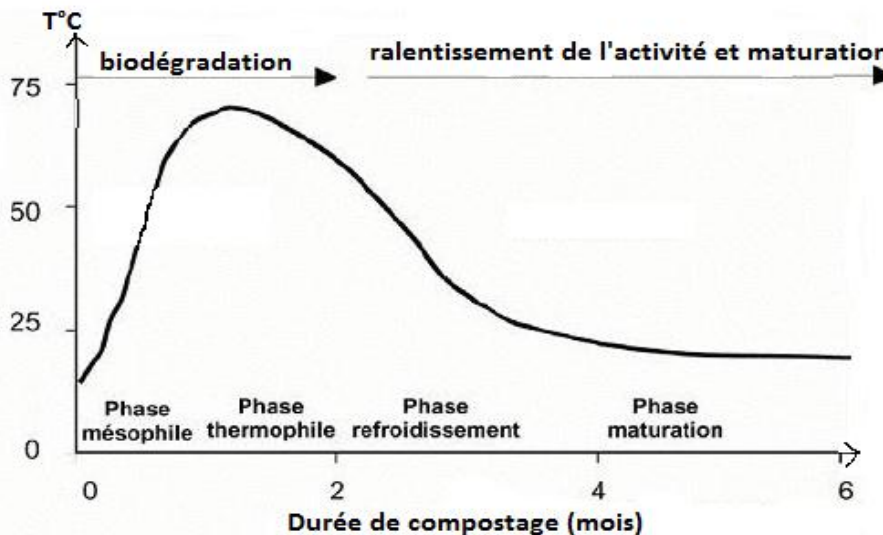


Figure 8: Evolution de la température durant les différentes phases de compostage en fonction du temps (Francou, 2003).

\*Phase *mésophile*: dégradation des composés facilement biodégradables (lipides, glucides et protéines) par les bactéries.

*\*Phase thermophile:* dégradation des polymères (cellulose et lignine) par les champignons et les actinomycètes.

*\*Phase refroidissement:* ralentissement de l'activité microbienne.

*\*Phase de maturation:* maturation du compost et synthèse d'humus.

### **\*Phase mésophile**

Pendant cette phase, la température augmente progressivement à partir de 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 (Kaiser, 1983, Mustin, 1987 ; Riachi, 1998 ; Tuomela et al., 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<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub>). 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.

### **\*Phase thermophile**

Cette phase se caractérise par une température comprise le plus souvent entre 40 et 60°C jusqu'à 70°C (Gobat et al., 1998). Dans cette phase, les champignons thermo tolérants et thermophiles poursuivent le processus (Albrecht, 2007), le pH remonte car, les microorganismes utilisent les acides organiques. Au-dessus de 60°C, la dégradation de la matière organique ne s'effectue plus que grâce aux bactéries et aux actinomycètes thermophiles, et après 70°C, seuls les enzymes secrétés dans les phases précédentes concourent encore à la dégradation.

Pendant cette phase, l'azote minéralisé (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) peut être volatilisé en fonction du pH en forme ammoniacale (NH<sub>3</sub>) (Mustin, 1987; Riachi, 1998). Une part importante de la matière organique est perdue sous forme de CO<sub>2</sub> (environ 50%) et l'assèchement du compost est lié à l'évaporation de l'eau. L'humidification par arrosage et l'aération par retournement de l'andain sont très importants pendant cette phase. La production de chaleur est équivalent à la perte de chaleur.

### **\*Phase de refroidissement**

Cette phase se caractérise par une diminution de la quantité de matières organiques facilement dégradables ce qui provoque un ralentissement de l'activité microbienne. Ceci favorise un refroidissement du compost. Cette phase de refroidissement peut être très

progressive ou au contraire très rapide en fonction de la nature du substrat, des conditions climatiques ou de la taille du tas de compost (isolation). Au cours de cette phase, des micro-organismes mésophiles colonisent à nouveau le compost (Francou, 2003). La production de chaleur est inférieure à la perte de chaleur.

**\* Phase de maturation**

Des auteurs (Mustin, 1987 ; Chevalier, 1990 ; Leclerc, 2001) décrivent la phase de maturation comme une phase de stabilisation pendant laquelle, le taux de décomposition décroît et la température chute. Pendant la maturation, il y a des réactions secondaires de condensation et de polymérisation qui conduisent 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 la façon avec laquelle s'effectue le 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 au sol lorsqu'on l'incorpore à ce dernier. Dans cette phase, une partie de l'azote protéique devient résistante à la dégradation microbienne en s'incorporant aux acides humiques (Yulipriyanto, 2001).

La maturation du compost peut être testée par la stabilité de la population microbienne qui est déterminée par mesure de la biomasse microbienne, de l'activité métabolique et la concentration des composés facilement biodégradables (Bernal et al., 1998). Actuellement, les méthodes biologiques qui mesurent la phytotoxicité des composts sont les plus utilisées. Ces méthodes incluent les tests de germination et l'accroissement racinaire (Zuconi et al., 1981) car, le compost jeune peut contenir des substances phytotoxiques comme les acides phénoliques et les acides gras volatils (Kirchmann et Widen, 1994).

### **III.4 Différents procédés de compostage**

Le compostage des résidus urbains est possible à condition de réaliser une collecte sélective afin d'éviter l'innocuité du compost produit. Au regard des évolutions techniques de compostage, il semble plus pertinent de porter attention aux procédés de compostage selon la quantité et la qualité des gisements à composter et assurer la réduction des nuisances environnementales et la rapidité des opérations.



Les différents procédés de traitement biologique par compostage des déchets organiques sont :

- Bioréacteur-stabiliseur ;
- Compostage par andain à l'air libre ;
- Compostage avec aération forcée ou par retournement des andains ;
- Co-compostage en plein air avec retournement ;
- Compostage en sac ventilé ;
- Compostage avec aération forcée sous bâtiment ou compostage en casier ;
- Compostage individuel.

Remarque : Pour les RSU en mélange, une constante est observée, l'absence de broyage en tête de procédé a l'avantage de,

- favoriser une meilleure séparation de la matière organique de la fraction indésirable notamment les plastiques ;
- ne pas disperser les fractions métalliques en concentrant les ETM dans le produit final.

Les avantages et les inconvénients de ces différents procédés de compostage des déchets organiques sont répertoriés dans le Tableau 18.

**Tableau 18:** Avantages et inconvénients des différents procédés de compostage.  
**Source :** Cercle National du Recyclage, 2000. « Traitement biologique des déchets organiques ».

Procédé et durée du processus	Capacité (T/an)	Avantages	Inconvénients
-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 des lixiviats
-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 2 mois de fermentation puis 3 mois de maturation	Environ 25000	-Traitement de plusieurs flux de déchets organiques différents -Faible coût - Impact environnemental presque nul -Besoin de peu de moyens techniques -Rapport C/N idéal	-Si un flux est pollué, les deux le deviennent -Emission d'odeurs
-Compostage en sac ventilé -environ 11 semaines	25000 à plus de 75000	-absence d'odeurs -absence de lixiviats -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

### **III.5 Paramètres du compostage**

Les principaux paramètres liés au processus de compostage se divisent en deux catégories:

-Les paramètres liés à la nature de la matière organique des déchets: teneur en eau (H%), rapport carbone sur azote (C/N), pH et granulométrie.

-Les paramètres influençant directement la vie microbienne au cours du compostage: température, humidité et aération. Les micro-organismes assurent la transformation de la matière organique.

#### **III.5.1 Micro-organismes**

En raison des changements d'états physiques et biologiques de la matière organique au cours de sa fermentation, Albrecht (2007), considère que le compostage est l'une des biotechnologies la plus complexe. Plusieurs études ont démontré en effet, qu'il y a une succession de communautés microbiennes au cours de la dégradation de la matière organique. Les bactéries, les actinomycètes, les champignons (ou mycètes), les protozoaires et les algues sont les principaux micro-organismes qui interviennent lors du compostage (Mustin, 1987; Deloraine et al., 2002; Abdennaceur et al., 2001). Selon Tuomela et al.; (2000), les bactéries ont une présence quantitative prédominante pendant la phase mésophile; elles sont responsables de la dégradation des composés facilement biodégradables (glucides, protides et lipides) par contre, les champignons et les actinomycètes attaquent les polymères difficilement biodégradables (celluloses, lignines) pendant la phase de ralentissement de l'activité microbienne (Mustin, 1987). Une estimation par espèces de ces micro-organismes contribuant au compostage et leur action est répertoriée dans le Tableau 19.

Tableau 19: Micro-organismes contribuant au compostage (Mustin, 1987).

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 millier 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.

Zeglès et Masscho (1999), donnent une autre répartition des micro-organismes qui interviennent au cours du compostage pendant la dégradation de la matière organique (Tableau 20).

Tableau 20: Quantité d'organismes vivants intervenant à un moment ou à un autre pendant le compostage (Zeglès et Masscho, 1999).

Type d'organisme vivant	Nombre par kilogramme de compost
Bactérie	De 1 milliard à 10 milliards
Actinomycètes	De 1 million à 100 millions
champignons	De 10.000 à 1 million
Algues	10 millions
Protozoaires	Jusqu'à 5 milliards
Virus	Indéterminés
Acariens	10.000
Collemboles	10.000
Autres insectes et larves	2.000
Lombrics	Jusqu'à 1000
Crustacés (cloportes)	Jusqu'à 1.000
Gastéropodes (escargots, limaces)	20

### **III.5.2 Paramètres physico-chimiques**

On distingue deux principaux paramètres du compostage pouvant influencer l'activité microbienne : les paramètres de conduite du procédé (température, taux d'humidité et teneur en oxygène) et les paramètres du déchet (nature et structure du substrat, rapport C/N, pH, durée du compostage, biodégradabilité et granulométrie).

#### **III.5.2.1 Température, $T_e$ (°C)**

La température est un paramètre capital pendant le 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. Aussi, les températures trop basses également sont à empêcher car, elles ne permettent pas d'atteindre les objectifs assignés (Mustin, 1987).

Des travaux de recherches (Klamer et Baath, 1998, Hassen et al., 2001) ont démontré qu'une température située entre 40 et 70°C pendant les deux premières phases du compostage réduit la quasi-totalité des pathogènes. D'après Liang et al. (2003), l'hygiénisation du compost est liée directement au contrôle du retournement, aérobiose, durée suffisante et humidité. L'Agence de Protection de l'Environnement recommande de maintenir une température de 55°C pendant 15 jours pour obtenir l'hygiénisation (destruction des micro-organismes pathogènes d'origine fécale) du compost dans le cas d'une aération libre (USEPA, 1993).

Les études de McKinley et Vestal (1985), montrent que la température est le facteur principal qui affecte le métabolisme microbien. L'optimum de température pendant le compostage des substrats se situe en dessous de 55°C. 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 atteindre un niveau qui assure la réduction des pathogènes, généralement, c'est 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 et al., 1983).

Remarque : la température optimale du compostage, sera celle qui permet :

- une bonne hygiénisation du compost,  $T_e > 60^\circ\text{C}$  pendant au moins 4 jours
- une vitesse de dégradation rapide,  $T_e > 40^\circ\text{C}$
- une humification active en évitant les trop fortes températures qui aboutissent à la réduction des micro-organismes et à la « cuisson » du compost.

### **III.5.2.2 Taux d'humidité, (H%)**

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).

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).

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 (Jeris et Regan, 1973). Ces hypothèses sont vérifiées par les travaux de Kuala et Aldine (2004), qui ont montré que le développement microbien est réduit par une teneur en eau trop faible mais, une saturation des espaces interstitiels et un étouffement des micro-organismes est provoqué avec des teneurs en eau élevées.

L'humidité idéale généralement est comprise entre 50 et 60% (Barrington et al., 2002 ; Mustin 87) selon la nature des déchets à composter. 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'entraient pas d'inhibition des micro-organismes. L'espace lacunaire sera d'autant plus élevé que la teneur en matériaux structurants (ligno-cellulosiques) sera élevé (Mustin, 1987).

Pendant le compostage on a production d'eau par les réactions de biodégradabilité de la matière organique et perte d'eau par évaporation sous l'effet de l'aération et de la chaleur. Des arrosages sont nécessaires pour compenser cette perte d'eau.

### III.5.2.3 Apport en oxygène

La présence de l'oxygène est un facteur très important au cours du compostage. L'oxygénation des andains est assurée, soit par des retournements, soit par ventilation, soit par la combinaison des deux. Les retournements réguliers, ou les mélanges mécaniques, permettent d'exposer de nouvelles surfaces à la biodégradation et de réduire les hétérogénéités de la matrice du compost (Smars et al., 2002).

Généralement, le seuil minimal pour maintenir des conditions aérobies est d'environ 5% d'oxygène à l'intérieur des andains. Ce seuil délimitera un déséquilibre de la flore et l'évolution du système vers le processus de méthanisation (Devisscher, 1997). Les micro-organismes responsables de l'oxydation de la matière organique utilisent l'oxygène présent dans la phase gazeuse des pores (interstices entre les grains de déchet) et y libèrent leurs produits de respiration (Tremier et al., 2005). Selon Van Ginkel et al., (2001), la porosité (volume d'air sur le volume total du matériau) est optimale autour de 30-40% dans l'andain. La circulation de l'air à l'intérieur de l'andain est importante, elle permet les échanges gazeux et évite l'asphyxie due au gaz carbonique. Donc, la ré-oxygénation de l'andain au cours du compostage en l'aérant est importante pour maintenir une activité microbienne suffisante (Figure 9).

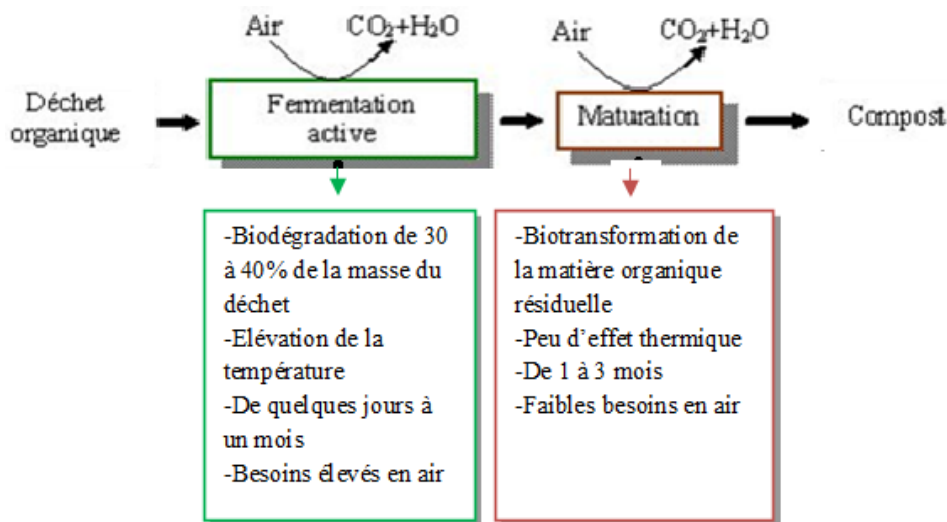


Figure 9: Besoins en oxygène pendant les étapes du compostage (Technique de l'ingénieur).

Les apports d'oxygène sont nécessaires pendant le processus de compostage. Mustin (1987), estime les besoins en air pendant la phase mésophile (4-6 semaines) entre 0,1 jusqu'à 0,5 m<sup>3</sup> air /min/T de MS et ils varient de 0,5-1 m<sup>3</sup> air /min/T de MS pendant la phase thermophile (quelques jours à 1 ou 2 semaines) ou phase de dégradation aérobie maximale. La phase de

maturation est une phase de synthèse, l'apport en oxygène est faible, il est de l'ordre  $< 0,1 \text{ m}^3$  air /min/T de MS.

Selon la nature du substrat composté et la durée de sa fermentation, l'air et l'eau sont parfois indispensables pendant la phase de maturation.

#### **III.5.2.4 Nature du substrat**

Les matériaux initiaux ont une grande importance sur le bon déroulement du compostage. Lors d'un compostage, les micro-organismes ont besoin d'oxygène et de nourriture pour le bon déroulement de la dégradation. Donc, les matériaux de départ servent de support et de nourriture aux microorganismes. C'est pourquoi, il doit y avoir des matériaux structurants pour accroître la porosité de l'andain (déchets verts, paille.....) et d'autres sources de carbone qui contribuent à la nourriture des micro-organismes (sciure, déjection animale,.....).

##### **a) Structure**

Lors d'un compostage, pour que le matériel soit réduit en taille, il faut toutefois sauvegarder des lacunes suffisantes pour la circulation d'air.

Les substrats solides même humides gardent leur forme mais, les substances pâteuses tendent à s'écraser. C'est pourquoi, dans le cas du compostage des déchets ménagers solides, la préparation des matériaux initiaux à composter s'effectue de deux manières, mécanique ou biologique (De Bertoldi et al., 1983). Dans le cas de bioréacteur-stabilisateur, le processus mécanique est un broyage et mixage des déchets. Lors du processus biologique, les déchets sont placés dans un réacteur (1 à 3 jours) où les déchets subissent une réduction de taille. Après un criblage de la fraction fermentescible, la fraction biodégradable subit une fermentation et maturation de 3 à 6 mois.

Dans le cas d'un compostage en andain, Si les andains ne nécessitent pas une aération par retournement, la taille des matériaux initiaux doit être plus importante (Rynk, 1992). Donc, la quantité des matériaux structurants doit être adaptée de façon à avoir une bonne aération des andains (Yulipriyanto, 2001).

##### **b) Rapport C/N**

Le rapport C/N de la partie fermentescible est un paramètre essentiel qui caractérise la valeur nutritive des micro-organismes ((azote, phosphore, potassium et oligo-éléments), parce qu'ils exigent du carbone comme une source d'énergie (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



(Gootas, 1959 ; Mustin, 1987 ; Villebonnet, 1988). Si la valeur de C/N est au-dessous de 25, l'azote est, en grande partie, perdu sous forme d'ammoniac par voie de volatilisation et s'il est trop élevé la dégradation est longue (Soudi, 2001).

Si le rapport C/N des matériaux compostables est faible, on ajoute des matières riches en carbone : des copeaux de bois, de la paille, du papier ou toute autre matière ligneuse. Dans le cas contraire, un rapport C/N fort, on ajoute des matières riches en azote comme tonte de gazon et certaines boues résiduaires (Aboulam, 2005). Un bon rapport C/N permet de réduire la masse de la matière organique initiale de 35 à 50%. Le Tableau 21 donne quelques valeurs du rapport C/N de différentes matières organiques compostables.

Tableau 21: Rapport C/N de quelques résidus organiques (Aboulam, 2005).

Substrats	C/N
Ordures ménagères brutes	15 à 25
Boues activées	6
Gazon	10 à 20
Feuilles mortes	20 à 50
Fanes de pomme de terre	26
Sciures de bois	150 à 511
Algues marines	17
Papiers-cartons	120 à 170
Déchets de légumes	11 à 12
Tailles d'arbustes	50 à 100
Paille des céréales	90 à 120

### **III.5.2.5 Acidité, pH (u.pH)**

Parmi les conditions chimiques, le pH a un rôle important sur la pullulation des micro-organismes présents pendant la décomposition des déchets. Selon, Zorpas et al., (2003), Sundberg et al., (2004), le pH varie entre 5,5 et 8,0. Le pH au départ du compostage est légèrement acide, en raison de la formation d'acides organiques pendant la décomposition de substrats organiques et de la volatilisation de l'ammoniac initial. Par la suite, la disparition des matériaux organiques facilement dégradables et la minéralisation conduisent à une augmentation du pH (McKinley et Vestal, 1985). A la fin du compostage, il est aussi possible d'avoir un pH acide dû aux ions H<sup>+</sup> libérés pendant la nitrification (Fang et Wong, 1999). En réalité, l'évolution du pH dépend des matériaux initiaux (Eklind et Kirchmann, 2000a).

Le pH dépend du bon déroulement du compostage, une aération efficace, par exemple, permettant une bonne dégradation de la matière organique et conduisant à un pH final plus élevé (Ferrer *et al.*, 2001). Les équilibres acido-basiques passent par plusieurs phases (Figure 10) :

- Phase I : phase acidogène, le pH diminue avec la production de  $\text{CO}_2$  et l'apparition d'acides organiques en fin de phase correspondant au début de la phase thermophile.
- Phase II : phase d'alcalinisation, le pH augmente, hydrolyse de l'azote protéique et organique avec production de  $\text{NH}_3$ , flore thermophile dominante.
- Phase III : phase de stabilisation du pH, le rapport C/N diminue, les réactions sont lentes.
- Phase IV : le pH est stable, l'humus joue un rôle tampon.

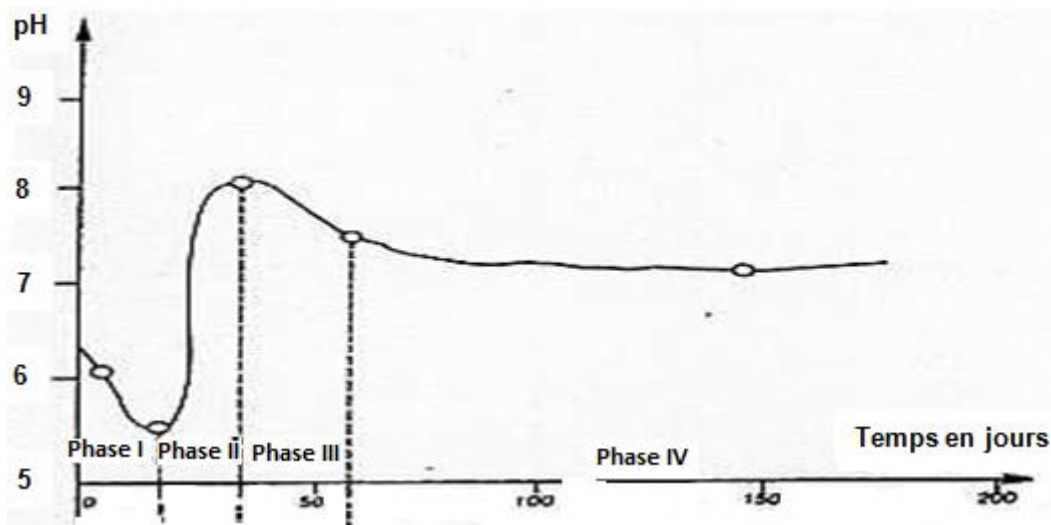


Figure 10: Variation du pH au cours du compostage (Mustin, 1987).

### III.5.2.6 Durée

La durée de compostage fait appel à un ensemble de conditions et de paramètres physique et chimique 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.

D'après Rynk (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. Par contre, pour Tuomela *et al.* (2000), la durée de compostage dépend de la nature de la matière organique, de l'efficacité du processus et du degré d'aération.

Pour un compostage en andain avec des fréquences de retournement régulières, la durée de compostage peut être de l'ordre de 6 à 7 semaines de fermentation suivies par 10 à 12 semaines de maturation (Yulipriyanto, 2001).

### **III.5.2.7 Biodégradabilité et granulométrie**

La granulométrie est considérée comme la mesure de la dimension des particules d'un mélange. La réduction moyenne de la taille des particules pour un compostage entraîne une augmentation du taux d'activité microbologique et une dégradation rapide des substrats (Mustin, 1987). Une granulométrie fine au départ du compostage diminue la circulation de l'air à l'intérieur du tas et une granulométrie trop élevée du substrat entraîne un assèchement du compost, et par la suite une augmentation difficile de la température. Au cours du compostage, le volume et la masse de l'andain diminuent. La granulométrie des substrats évolue au cours du compostage sous l'action des retournements et de la trituration des andains au cours du procédé mais, en raison des réactions de biodégradation des molécules organiques. Certains résultats expérimentaux (Tableau 22) renseignent sur le pourcentage de réduction de certains composants présents dans un andain au cours d'une fermentation (Jeris et al. 1973).

Tableau 22: Pourcentage de réduction des composants au cours de la fermentation (durée de fermentation : 30 jours).

<b>Substrat</b>	<b>Pourcentage de réduction (%)</b>
Matière sèche	40
Glucides	65
Lipides	85
Fibres ligno-celluliques	30
Protéines	22
Volume totale (pour une teneur en eau maintenue à 65%)	42 à 50

La biodégradabilité est liée à la nature et à la structure des molécules constituant la matière organique ainsi qu'à son état de division : sa granulométrie. Les déchets ménagers ont une biodégradabilité (50-75%) supérieure à celle des déchets verts (25-50%). Cette biodégradabilité augmente avec la teneur en sucres libres, en hémicellulose ou amidon ainsi qu'avec la réduction de la granulométrie du déchet. L'augmentation de la surface spécifique permet une meilleure accessibilité des constituants aux micro-organismes. Généralement, les déchets compostables doivent avoir une granulométrie comprise entre 2 et 10 centimètres (Techniques de l'Ingénieur).

Pour les ordures ménagères les différentes catégories n'ont pas la même facilité à être assimilées par les micro-organismes pendant le compostage. Ainsi, les déchets de cuisine et les déchets verts sont facilement assimilables, les papiers-cartons sont moyennement et lentement assimilables, les bois, textiles composites sont difficilement assimilables, les métaux et les plastiques divers hors les biodégradables sont non assimilables.

### **III.5.2.8 Pertes en matières pendant le compostage**

La disparition de la matière organique par l'activité des bactéries aérobies conduit à une perte de matières sèches dans le compost. Il est admis que pour le compostage d'ordures ménagères, la perte de matière sèche soit de l'ordre de 25 à 35 %. Cette réduction est due d'une part, à la diminution du volume par tassement du tas et aux destructions progressives du substrat. D'autre part, elle est la conséquence de la diminution de la masse de la matière organique (Mustin, 1987). Parallèlement à ces deux phénomènes, l'élévation de la température entraîne des pertes d'eau par évaporation.

En volume cette perte de matière en fin de compostage se situe vers 60 à 70%, ce qui se traduit par une augmentation de la densité du tas au cours du compostage qui peut atteindre 1 T/m<sup>3</sup> (Matejka et al., 2001).

A Labé en Guinée, le suivi de l'évolution des principaux paramètres d'un andain en fonction de la durée du compostage des déchets ménagers montrent la perte de la matière organique, la diminution du volume de l'andain et l'augmentation des substrats < 10 mm (Tableau 23), ce qui confirme une perte de matière pendant le compostage.

Tableau 23: Evolution des principaux paramètres d'un andain en fonction de la durée de compostage d'ordures ménagères à Labé, Guinée (Matejka et al., 2001).

<b>Jours</b>	<b>Unité</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>102</b>
<b>Volume</b>	m <sup>3</sup>	17.8	16.1	10.5	8.9	8.2	6.1
<b>ΔVolume</b>	%	-	-10	-41	-50	-54	-66
<b>Humidité</b>	%	50	45	50	40	45	40
<b>pH</b>	u pH	6.6	6.5	7.3	8.4	9	8.2
<b>MO</b>	%	46.2	46.7	-	35.7	-	33.6
<b>N</b>	%	0.98	0.96	-	2.66	-	1.07
<b>C/N</b>	-	27.4	13.9	-	6.7	-	15.7
<b>&lt; 10 mm</b>	%	32	45	45	50	50	60

### **III.6 Qualité du compost**

Les critères de la qualité d'un compost sont très importants pour une utilisation de ce dernier comme amendement et source de nutriments pour les plantes (Amir, 2005). Pour Lasaridi et al., (1998), la qualité d'un compost demeure une notion évasive. D'après Albrecht (2007), il existe deux approches distinctes pour décrire la qualité d'un compost.

La première approche est la stabilité de la matière organique en fin de compostage. Plusieurs auteurs (Garcia et al., 1993; Bernal et al., 1998; Chen, 2003; Grigatti et al., 2004; Castaldi et al., 2005c; Adani et al., 2006; Tang et al., 2006 ; Albrecht, 2007) considèrent que le degré de stabilité du compost est estimé par la biodégradation des matières organiques et par leur humification.

La seconde approche est la maturité du compost. Certains auteurs (Nicolardot et al., 1982; Iglesias-Jimenez & Perez-Garcia ,1989; Becker & Kotter ,1995; Robertson & Morgan ,1995; Houot et al., 2002 ; Francou, 2003 ; Albercht, 2007), considèrent qu'un compost est mûr quand sa matière organique est stable. D'autres auteurs suggèrent qu'un compost est mûr lorsqu'il n'a pas d'effet inhibiteur sur la croissance des plantes (Tiquia & Tam, 1998 ; Rynk, 2003 ; Alburquerque et al., 2006). En effet, un compost stable ne veut pas dire qu'il est toujours mûr. L'apport des composts immatures dans un sol engendre des effets négatifs sur la germination, sur la croissance et sur le développement des plantes (Tiquia et al. 1998). Dans cette optique, les tests de phytotoxicité sont les meilleurs moyens d'évaluer la toxicité d'un compost (De Bertoldi et al., 1983). Les différents tests utilisés sont :

- Les tests de croissance de plantes (Hirai et al., 1986; Garcia et al., 1992; Helfrich et al., 1998)
- Les tests de germination (Zucconi et al., 1981; Garcia et al., 1992) ; (Wu et al., 2000)
- Les test de développement racinaire (Zucconi et al., 1981; Brinton & Evans ,2000)

Ces tests sont réalisés sur différents végétaux (maïs, cresson, .....etc), les doses de compost incorporé varient de 0 à 100%. La phytotoxicité est causée par un ensemble de causes : excès d'ammoniac, présences d'acides organiques, présences de pathogènes, présence de métaux, une forte salinité, un échauffement racinaire et une immobilisation de l'azote ((Hirai et al., 1986; Iglesias-Jimenez & Perez-Garcia ,1989; Garcia et al., 1992; Abad Berjon et al., 1997 cités dans Francou, 2003).

Les travaux de plusieurs auteurs (Zucconi et al., 1981; De Vleeschauwer et al., 1981; Nicolardot et al., 1982; Helfrich et al., 1998; Hartz & Giannini ,1998; Itävaara et al., 1995) montrent que la stabilité d'un compost entraîne une diminution de phytotoxicité mais, il se

trouve que même les composts fortement stable présentent une phytotoxicité à cause de leur salinité parce que cette dernière n'est pas liée à la stabilité des composts . De même, l'effet dépressif du compost n'est pas toujours lié aux paramètres de qualité du compost. D'après De Haan (1981); Abad Berjon *et al.*, (1997), l'effet dépressif du compost est lié aux doses appliquées, et à la sensibilité de différentes cultures (Iannotti *et al.*, 1993).

Le compost est considéré comme un amendement organique, il doit obéir à des normes. En France, la norme AFNOR U44 051 (datée de 1981 et modifiée le 5 avril 2006) fixe des teneurs minimales en matière organique et en eau et des valeurs limites en éléments traces métalliques (ETM), en polluants organiques, en micro-organismes et en éléments inertes et impuretés. Cette norme permet de ne pas marginaliser la filière de compostage et de réintroduire dans l'environnement un compost qui apporte des éléments fertilisants nécessaires aux sols et aux cultures.

### III.6.1 Critères d'évaluation de la maturité et de stabilité d'un compost

Les principaux paramètres d'évaluation de la maturité et la stabilité d'un compost sont présentés dans le Tableau 24 (ADAS Consulting Limited, 2005). Un seul de ces paramètres ne peut à lui seul évaluer la qualité du compost, c'est l'ensemble de ces paramètres qui peuvent être utilisés pour évaluer et pour contrôler la stabilité et la maturité d'un compost.

Tableau 24 : Paramètres de stabilité et de maturité (en % d'apparition dans la littérature) extrait de l' ADAS Consulting Limited (2005).

<b>Stabilité</b>	<b>%</b>	<b>Maturité</b>	<b>%</b>
Activité biologique ou respiratoire	36	Effet sur les plantes	45
Degrés ou stade de décomposition	20	Degré de décomposition (C/N)	20
Mauvais odeurs	14	Activité biologique ou respiratoire	11
Consommation d'azote	8	Bénéfice agraire (texture, rétention d'eau...)	9
Disponibilités des nutriments	6	Odeurs	9
phytotoxicité	4	Pathogène	4
Carbone disponible ou autre sources	2	Couleur	2
Couleur	2	-	-
Dissolution des métaux lourds	2	-	-
Humidité	2	-	-
Risques environnementaux pour la santé	2	-	-
Texture	2	-	-
	100		100

### **III.6.1.1 Méthodes empiriques**

Il s'agit d'observer le compost. Un compost mûr doit avoir les caractéristiques suivantes (Albrecht, 2007) :

- il ne dégage pas d'odeur d'ammoniac;
- sa température est basse même si l'humidité reste bonne;
- il est granuleux, foncé et sent la terre;
- on y trouve des arthropodes comme les cloportes et les mille-pattes.
- on ne distingue plus à l'œil nu les composés d'origine.

### **III.6.1.2 Caractéristiques physico-chimiques classiques**

De nombreux travaux de recherche se basent sur les caractéristiques chimiques pour évaluer le degré de maturité du compost tels que : le pH, le rapport C/N, la capacité d'échange cationique(CEC), le rapport  $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ , le rapport d'humification (Acide Humique/Acide Fulvique), .....etc.

#### **III.6.1.2.1 pH**

Les pH acides caractérisent des compostes instables, donc immatures tandis que les composts mûrs sont caractérisés par des pH compris entre 7 et 9 (Avnimelech et al., 1996). Le pH varie lors du compostage pour se stabiliser à la neutralité dans beaucoup de cas à la fin du processus. Le pH n'est pas une mesure précise pour déterminer la maturité du compost. C'est pourquoi, un pH bas peut indiquer une aération déficiente plutôt qu'un stade précis du processus. Mais, selon Albrecht (2007), le pH a été l'un des premiers indicateurs de la maturité des composts.

#### **III.6.1.2.2 Rapport C/N**

Le rapport Carbone organique/Azote organique est généralement mesuré pour évaluer la maturité des composts. Le C/N diminue au cours du compostage, ce qui se traduit par la dégradation du carbone qui est libéré sous forme de  $\text{CO}_2$ . En fin de compostage, deux situations peuvent se présenter :

Le C/N du compost est élevé (20-15): la matière organique évoluera lentement dans le sol et la libération des minéraux sera faible, par contre le compost donnera des substrats durables qui contribueront au renforcement de la structure du sol. Un C/N important caractérise donc un compost stable à haut pouvoir amendement.

Le C/N du compost est faible (<10) : la matière organique évoluera rapidement dans le sol et la minéralisation et l'ammonification sera optimale. Un C/N faible caractérise donc un compost instable et pauvre en composés humifères.

Pour certains auteurs (Iglesias- Jimenez & Garcia 1989), un compost mûr a une valeur inférieur à 20 et même à 15. Mais, Chefetz et al., (1996) et Namkoong et al., (1999), expliquent qu'un compost caractérisé par un rapport de 10 à 15 peut être considéré comme stable. Le C/N dans les composts est comparé au rapport C/N, proche de 10, des sols humiques (Charnay, 2005).

Beaucoup d'auteurs (Morel et al, 1986 ; Serra-Wittling, 1995), considèrent que la valeur du rapport C/N est insuffisante pour déterminer la maturité d'un compost. Alors que Roletto et al (1985a), considèrent que le rapport C/N est un indicateur de la maturité des composts.

#### **III.6.1.2.3 Capacité d'échange cationique CEC)**

Le processus d'humification produit des groupes fonctionnels et augmente l'oxydation de la matière organique, provoquant un accroissement de la CEC. Une CEC supérieure à 60 meq/100g de matière organique est nécessaire pour considérer un compost comme mûr (Jimenez & Garcia, 1989).

#### **III.6.1.2.4 Rapport $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$**

Le rapport  $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$  est utilisé par certains auteurs comme indicateur de maturité. Mais, Francou (2003), considère que ce rapport est peu utilisé et les résultats obtenus sont différents. L'apparition des nitrates dans le compost est un indicateur de maturité de ce dernier. Les micro-organismes nitrifiants induisent une diminution de la concentration en ammonium  $\text{NH}_4^+$  et une apparition d'ions nitrate  $\text{NO}_3^-$ .

#### **III.6.1.2.5 Rapport d'humification (Acide Humique/Acide Fulvique)**

Ce rapport a été cité par plusieurs auteurs qui ont étudié les matières organiques humifiées ou substances humiques. Ce rapport est un indicateur de maturité des composts. Il s'agit d'un fractionnement de la matière organique en humine, acides humiques et fulviques. De nombreuses études montrent une augmentation du rapport acide humique sur acide fulvique (AH/AF) au cours du compostage (Veeken et al., 2000 ; Jouraiphy et al., 2005; Huang et al., 2006). Les résultats trouvés dans la littérature sont assez concordants avec des valeurs inférieures à 1 pour des composts immatures, et supérieures à 1 ou 3 pour les composts mûrs.



### **III.6.1.3 Tests de stabilisation des composts murs**

La stabilité du compost mur est estimée en termes d'activité microbienne (taux de respiration ou libération de chaleur (Iannotti et al., 1993)). Plusieurs tests physico-chimiques ou biophysiques permettent d'évaluer cette stabilité des composts murs : - l'auto-échauffement qui ne doit pas dépasser 30 °C ; - test respirométrique ; - test colorimétrique et test de lixiviation...etc.

#### **III.6.1.3.1 Test d'auto-échauffement, TAE**

Le degré de décomposition de la matière organique peut être évalué par sa tendance à remonter en température (auto-échauffement). Cette montée de température est due au dégagement de chaleur pendant l'activité microbienne. Ce test d'auto-échauffement, développé en Europe, est recommandé par l'organisme de normalisation allemande (Bundes Gütegemeinschaft Kompost BGK) [F.C.Q.A.O, 1994] puis aux Etats-Unis [05.08 D Respirometry U.S.D.A, 2002]. Le compost est placé dans des conditions spécifiques de température, d'humidité et en enceinte thermostatée à  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  à l'intérieur d'un vase Dewar. La température est suivie pendant 10 jours.

L'indice de maturité est fonction de la plus haute température atteinte lors du test. Ce dernier est qualifié de :

- *mûr* pour un degré de maturation de V (température  $< 30^\circ\text{C}$ ) ou un degré de IV (température  $< 40^\circ\text{C}$ ),
- *compost frais* pour un degré de maturation degré III (température  $< 50^\circ\text{C}$ ) ou un degré de II (température  $< 60^\circ\text{C}$ ).

#### **III.6.1.3.2 Test respirométrique, AT4**

Les méthodes respirométriques reposent sur le principe selon lequel, un compost en fin de maturation présente une activité réduite qui peut être mesurée soit par sa consommation en oxygène soit par sa production de dioxyde de carbone. Cette activité respiratoire des micro-organismes présente dans le compost dans des conditions spécifiques d'incubation (humidité, température) est évaluée par le test respirométrique. D'après Bernal et al., (1998b) cité dans Charnay (2005), un compost non mûr a une demande en  $\text{O}_2$  et un taux de production de  $\text{CO}_2$  importants, dus à une intense activité microbienne provoquée par la biodégradabilité du substrat. Plusieurs méthodes ont été citées dans de nombreux travaux, parmi ces méthodes, la méthode de respirométrie simplifiée, dite de la "cocotte-minute", mise au point par Nicolardot et al., (1982), permet de déterminer la consommation en oxygène du

compost en mesurant la dépression créée durant l'incubation d'un échantillon (dont la teneur en eau est ajustée à 80% de sa capacité de rétention) dans une enceinte étanche, le gaz carbonique produit étant piégé par de la soude. Un compost urbain est considéré mûr quand sa consommation en oxygène devient inférieure à 40 mg par Kg de compost sec et par heure. Une autre méthode permet de définir l'indice de biodégradabilité. Elle consiste à mesurer l'évolution de la production de dioxyde de carbone dans des mélanges de sol et de compost (Morel et al. 1979). Le compost a atteint un degré de stabilité d'autant plus élevé que l'indice est plus faible et se rapproche de celui du sol non amendé. Iannotti et al., (1993), ont mis au point, une méthode qui consiste à mesurer l'évolution dans le temps de la consommation d'oxygène par un échantillon de compost incubé à 37°C grâce à une électrode à oxygène. Le taux de consommation horaire en oxygène de la matière diminue avec le temps d'incubation en relation avec son degré de stabilisation. Parmi toutes ces méthodes citées dans la littérature, le S.O.U.R (Specific Oxygen Uptake Rate) est la plus utilisée. Elle correspond au taux maximum d'O<sub>2</sub> consommé, exprimé en mg O<sub>2</sub>/gVS/h. Selon Rynk (2003), Les mesures directes de l'activité des micro-organismes, sont les plus fiables. Malgré, l'avantage d'une mise en œuvre rapide de ces méthodes respirométriques, elles ne prennent pas en compte les effets dépressifs des composts liés à la phytotoxicité induite par la présence de pesticides dans les ordures, ou de substances transitoires phytotoxiques produites lors de la dégradation (Zucconi, 1981a).

### **III.6.1.3.3 Test de lixiviation**

La plupart des éléments toxiques (Pb, Zn, Cu, Cr, Cd .....etc.) sont à l'état traces (on compte mg/kg ou ppm) d'où leur nom éléments traces métalliques. La présence de ces éléments dans les composts demeure une pollution du sol si les composts sont destinés à l'agriculture. Une fois, les ETM passe dans le sol, leur répartition dans le sol ne demeure pas figée au cours du temps. En permanence les éléments passent d'une forme à une autre sous l'influence de modifications naturelles au anthropiques (changement de pH, de degré d'aération, de température d'hydratation, d'environnement chimiques). Le test de lixiviation sert à mesurer la mobilité de ces éléments dans les composts. L'objectif de ce test est d'extraire de façon normalisée les éléments polluants pour quantifier le risque maximal de transfert de ces éléments. Ce test est réalisé afin de déterminer le potentiel de relargage des ETM dans les composts. Le test de lixiviation réalisé sur les composts permet de déterminer la capacité maximale de relargage depuis la matrice solide vers la solution correspondant à la pollution susceptible d'être remobilisée et transférée aux plantes à court ou à moyen terme.

Ce test est réalisé selon la norme NFX 31-210. Cette méthode se déroule en deux phases : la première consiste à filtrer une à trois fois à froid un mélange sous-produit/eau (1/10) avec récupération et dilution des filtrats. La deuxième phase consiste à doser le ou les éléments étudiés dans les lixiviats obtenus à l'issue de la première phase. Par exemple, l'extraction du plomb se fait par l'eau, le chlorure de calcium et l'EDTA à pH = 7.

#### **III.6.1.3.4 Test Solvita®**

Ce test est réalisé sur des composts dont l'humidité est ajustée à un niveau correspondant à l'activité microbienne optimale. D'après Francou (2003), ce test donne l'estimation de la minéralisation du carbone et l'estimation de la volatilisation de l'ammoniac. Il est basé sur la minéralisation du carbone et la volatilisation de l'ammoniac commercialisé sous le nom de test Solvita® (Woods Research® Management, USA). Ce test donne des informations importantes sur les concentrations excessives et toxiques d'ammoniac dans les composts. Cette méthode Solvita® est un test simple et peu onéreux de la stabilité des composts et de l'émission de NH<sub>3</sub> (Changa et al., 2003). Ces mêmes auteurs confirment que la méthode Solvita® est un test simple et peu onéreux de la stabilité des composts et l'émission de NH<sub>3</sub>.

#### **III.6.1.4 Phyto-toxicité**

Les tests de phyto-toxicité sont des tests de germination (Garcia *et al.*, 1992 ; Wu *et al.*, 2000) et de croissance (Helfrich et al., 1998 ; Garcia et al., 1992 ; Hirai *et al.*, 1986). Ces tests sont réalisés sur des cultures sensibles (maïs, tomate, laitue, cresson...etc.). Les tests de germination et les tests de croissance s'avèrent nécessaires pour l'évaluation de la toxicité (Gariglio et al., 2002; Said-Pullicino et al., 2007). Les composts immatures libèrent de l'acide acétique, de l'acide organique et d'autres composés (acétaldéhyde, éthanol, acétone, éthylène...) contribuant aux effets phytotoxiques (Jimenez & Garcia, 1989). L'effet phytotoxique est aussi dû à l'émission d'ammoniac (Tang et al., 2006). En effet, la présence de l'ammoniac dans le sol, même en petite quantité, empêche la germination des graines, la croissance des racines et le développement des plantes (Jimenez et Garcia, 1989). Dans la même optique, Wong (1985), a montré que l'oxyde d'éthylène synthétisé pendant la décomposition du compost dans le sol a un effet phytotoxique.

Un indice de germination (IG) de 50% et un taux de germination de plus de 50% sont reconnus comme étant ceux d'un compost sans effet phytotoxique (Chikae et al., 2007). C'est le cas des travaux de Zucconi et al., (1981) et Wu et al., (2000) qui montrent que le taux de

germination des tomates et du cresson avec un compost mûr donne une valeur de 90%. Les tests de phyto-toxicité sont les seuls moyens actuellement d'évaluer la toxicité liée à leur incorporation dans le sol. En effet, les composts mûrs ne doivent pas empêcher la germination des graines et la croissance des plantes. Il faut choisir les graines qui sont sensibles aux composts mûrs.

### **III.6.1.5 Teneurs en éléments traces métalliques (ETM)**

L'accumulation de grande teneurs en éléments traces métalliques dans les sols présente un risque de pollution sur un long terme. S'il n'y a pas de tri des déchets à la source, les composts produits de ces déchets peuvent contenir des teneurs importantes en ETM. La teneur des ETM dans les composts est un critère de qualité si cette dernière ne dépasse pas les normes préconisées.

Certains éléments traces sont indispensables aux processus biologiques donc, à la production agricole végétale et animale : ce sont les oligoéléments (Zn, Cu, Cr, Mo, B). D'autres éléments (Cd, Pb, Ni, Hg, Sn) ne jouent aucun rôle utile. Mais, ils sont tous potentiellement polluants. Cela dépendra de leur concentration dans le milieu considéré (sols, air, eau, sédiments) mais surtout, de leur forme chimique. Les métaux des apports anthropiques sont sous des formes assez réactives (par ex. liées aux matières organiques) et entraînent éventuellement des dangers.

La teneur en éléments traces et la présence des éléments indésirables ont servi à établir, en fonction de l'utilisation finale du produit, deux catégories de composts (types A et B).

**\*Le compost de type A** est un compost qu'on peut utiliser à n'importe quelle fin. Le respect des critères de teneurs limites en éléments traces du compost de type A peut être atteint notamment avec le compostage de résidus solides municipaux triés à la source, de bio-solides municipaux, de bio-solides d'usines de pâtes et papiers ou de fumiers.

**\*Le compost de type B** est un compost dont l'utilisation est restreinte. Il faut noter que, pour qu'il soit considéré comme étant sans restriction d'utilisation, un compost doit respecter toutes les exigences relatives aux éléments traces et aux éléments indésirables établies pour le type A. Si le compost ne respecte pas une des exigences établies pour le type A, mais qu'il est conforme aux exigences établies pour le type B, il est classé comme compost de type B.

Dans les PED, pas de distinction entre les différents composts produits, mais dans PD, une distinction est réalisée entre les différentes qualités de composts : mature, frais, type A, type B ou mulch (B.G.K, 1998). Le Tableau 25 regroupe différents nombre de classes de composts dans différents pays.

Tableau 25 : Nombres de classes de compost dans plusieurs pays (Hogg et al., 2002).

Pays	Nombre de classes	Description des classes
Allemagne	2	selon la teneur en métaux lourds
Australie	4	produit composté & produit pasteurisé, eux-mêmes subdivisés en mulch fin et mulch
Autriche	3	Classe A, A et B
Canada	3	AA, A, B (selon MO% & teneurs en inertes)
France	2	Classe A & B
Luxembourg	2	frais & Mature
Pays Bas	2	très bon et bon compost (selon la teneur en métaux)

Ces différents types de composts doivent répondre aux teneurs limites en ETM qui sont préconisés dans la réglementation. Par contre, un grand nombre de PED ne possèdent pas de réglementation en matière de maturité et de stabilité des composts. L'utilisation de normes européennes est le seul moyen de vérifier la qualité de compost à usage agricole.

En France, la nouvelle version de la norme NFU 44 051 de 2006 fixe des limites précises pour les amendements organiques (Tableau 26).

Tableau 26: Critères de qualité pour les amendements organiques d'origine déchets ménagers NFU 44051 (2006, France).

Critères	Unité	Limité
Matières organiques	% MB	> 20
Indésirables -films et PS > 5mm -autres plastiques >5mm -verres et métaux >2mm	% MS	< 0,3 < 0,8 < 2
ETM	mg/kg MS	
As	18	
Cd	3	
Cr	120	
Cu	300	
Hg	2	
Ni	60	
Pb	180	
Se	12	
Zn	600	

Le Tableau 27 regroupe plusieurs valeurs limites pour les ETM des composts dans différents référentiels.

Tableau 27 : Valeurs limites pour les ETM (mg/kg MS) dans différents référentiels.

Pays	Norme	Classe	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Allemagne	Biowaste Ordinance I		-	1	70	70	0,7	35	100	300
Australie	ARMCANZ*	Biowaste	20	3	400	200	1	60	200	250
Autriche	Compost ordinance	A <sup>+</sup>	-	0,7	70	70	0,4	25	45	200
		A	-	1	70	150	0,7	60	120	500
		B	-	3	250	500	3	100	200	1800
Canada	BNQ**	AA, A	13	3	210	100	0,8	62	150	500
France	NF U 44-051	Compost urbain	18	3	120	300	2	60	180	600
Pays Bas		Compost urbain	5 15	0,7 1	50 50	25 60	0,2 0,3	10 20	65 100	75 200
		Compost très propre								
Ecolabel	2001/688/EC	-	10	1	100	100	1	50	100	300
Charte Qualité	Cérafel	-	-	1	100	300	1	50	100	600

\*A.R.M.C.A.N.Z: Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand,

\*\*B.N.Q : Bureau de Normalisation du Québec.

Les teneurs limites en cadmium et mercure sont faibles dans tous les pays. Par contre, les teneurs des autres éléments restent très différents d'un pays à l'autre avec des différences importantes. Le Tableau 28 regroupe des teneurs en ETM dans différents composts produits.

Tableau 28: Teneurs en ETM (mg/kg MS) dans différents composts.

ETM (mg/kg MS)	Canada (Hornweg & Thomas, 1999)	Guinée (Matejka et al, 2001)	Mali (Soumaré et al., 2003)	Togo (Koledzi, 2011)
Cd	2,6	1,5	-	1
Cr	210	140	-	-
Cu	128	75	10	-
Hg	83	140	3,5	-
Ni	315	-	110	40
Pb	0,83	-	0,026	460
Zn	32	-	6,5	-

Généralement les composts produits à partir des déchets ménagers sans tri à la source contiennent des fortes teneurs en ETM. Les sources des métaux sont principalement les piles (Hg, Zn, Pb, Cd), les peintures (Cr, Cd, Pb), les plastiques (Cd, Ni, Zn), les papiers-cartons (Pb), les composants électriques (Pb, Cd), les céramiques et les cosmétiques (Meoun et Le Clerc, 1999); Miquel, 2001).

### III.6.1.6 Teneurs en éléments indésirables

Les impuretés contenues dans les composts, qu'on appelle « matières inertes », ne sont pas biodégradables et nuisent à la bonne qualité du compost. Les composts doivent être exempts de toutes impuretés, pendant leur utilisation prévue. La norme française préconise des valeurs limites en inertes et impuretés (cf. Tableau précédent).

### III.6.1.7 Teneurs en éléments fertilisants des composts

La valeur agronomique des composts peut être définie comme l'aptitude des composts à améliorer la fertilité du sol. En effet, Les composts sont des produits riches en matières organiques et en composés minéraux (N, P, K, Mn, oligo-éléments,...) susceptibles d'améliorer la fertilité du sol (Soumaré et al., 2003). Plusieurs auteurs ont mis en évidence l'augmentation de la production de certaines cultures occasionnée par l'application des composts sur le sol cultivé sans ou avec d'autres engrais minéraux (Iglesias-Jimenez & Alvarez ,1993; N'Dayegamiye et al., 1997; Mamo et al., 1999). La fonction des composts est comparable à celle des engrais chimiques quant à leur aspect fertilisant, en enrichissant le sol en N, P, K mais, leur principal effet est, en tant qu'amendement organique, ils agissent sur la stabilité physique, biologique et chimiques des sols (De Bertoldi et al., 1983). Les composts sont des sources en oligo-éléments comme le phosphore, le potassium, le magnésium, et le calcium et ils peuvent tous être apportés par le compost de déchets urbains (Charnay, 2005). Dans le Tableau 29 sont illustrées quelques valeurs agronomiques de différents composts produits à partir de déchets urbains.

Tableau 29: Valeurs agronomiques de composts d'ordures ménagères (Charnay, 2005).

Eléments fertilisants	Unités	Mali (Soumaré et al., 2003)	Guinée (Matejka et al., 2001)	Benin (Soclo et al., 1999)	France (Bajon et al., 1994)	Espagne (Pascual et al., 1999)	Togo (Koledzi, 2011)
pH	u.pH	8,5	8,5	7,8	8	7,5	9,3
K <sub>2</sub> O	mg/g MS	10,6	10,9	6,2	0,8	5,8	17,3
CaO	mg/g MS	90	57,5	54,6	3,4	-	16,2
MgO	mg/g MS	4,6	7,5	3,6	0,5	-	2,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/g MS	0,92	10,5	45,8	0,4	9,6	13,6
C/N	-	11,68	13,6	17,6	14,7	9,2	24

La valeur agronomique d'un compost est généralement en relation avec son potentiel d'amendement organique. Il s'agit de l'aptitude des composts à entretenir ou augmenter le

stock de matière organique du sol. Cette valeur est liée à la teneur en matière organique du compost et à son niveau de stabilité. Une étude (N'Dyegamlye et al., 2005) d'une durée de 4 ans a démontré que les apports de composts de résidus ménagers ont progressivement augmentés les rendements des cultures (maïs, blé et l'orge). Les apports de composts ont amélioré le potentiel de rétention d'eau et ils ont augmenté les teneurs en matière organique du sol, comparativement au témoin et au traitement avec les engrais minéraux seuls. Valorisés selon les normes réglementaires, les composts de déchets urbains peuvent améliorer la productivité et la qualité du sol.

### **III.7 Possibilité de compostage des RSU en Algérie**

En Algérie, le problème des déchets est celui qui se pose probablement avec le plus d'acuité, au regard aux impératifs de santé publique et de protection de l'environnement.

En effet, ces dernières années, l'Algérie connaît une dynamique d'investissement et de consommation jamais égalée auparavant. Cette conjoncture a fait que de plus en plus de déchets sont produits sans pour autant qu'une politique de prise en charge de cette nuisance ne soit clairement définie et structurée.

La gestion des déchets se résume sur le principe du « tout à la décharge » a fait que ces structures soient destinataires de déchets de tout genre allant du plus banal au plus toxique. Ajoutés à cela l'émergence et le développement d'activités incontrôlées de récupération de matériaux réutilisables pratiquées toujours dans des conditions d'insalubrité totale, le plus souvent par des adolescents ne s'entourant d'aucune mesure de protection.

Pour faire face à cette situation, une nouvelle réglementation nationale est apparue. La loi 01-19 du 12 décembre 2001 incite, en effet, à une gestion rationnelle et environnementale des déchets.

En réponse à cette nouvelle situation, les municipalités doivent mettre en place des solutions adéquates en matière de gestion rationnelle et écologique des déchets comme par exemple, la valorisation de ces déchets selon des filières de récupération pour désengorger les sites de stockage et optimiser la pollution de l'environnement.

Des études expérimentales (Aina, 2006 et Mezouari, 2011), ont permis d'identifier et de quantifier avec précision les matériaux recyclables présents dans les déchets en Algérie. La composition physico-chimique a été réalisée, la teneur en eau et le pourcentage de matière organique ont été mesurés :

-les déchets ménagers sont essentiellement des putrescibles ;



-une forte teneur en humidité et un taux élevé en matière organique sont observés à cause de la forte teneur en putrescibles.

La mise en place de cette base de données est un atout important pour un choix adéquat à un traitement par compostage des déchets. Le compostage des RSU en Algérie peut répondre aux enjeux suivants:

- il permet de réduire la quantité des déchets pour désengorger les décharges contrôlées et sauvages et de réduire les grandes quantités de lixiviat ;
- il permet d'éviter la contamination des nappes phréatiques et des cours d'eau
- il favorise l'amendement des sols arables ;
- il réduit le problème du chômage en créant des emplois.

Ainsi, de nombreuses tentatives de développement de la filière compostage ont été mises en Algérie mais actuellement, cette filière n'est pas réellement opérationnelle. Pour rendre cette filière pérenne, il est indispensable de prendre en compte la filière compostage dans son ensemble. Il est primordial de considérer les aspects technologiques, économiques et socio-culturels à chaque étape, l'étude du gisement et la valorisation agronomique du compost produit. Il faut que chaque étape des indicateurs soient identifiés sous la forme de paramètres mesurables, pour permettre d'évaluer et d'optimiser les conditions de réussite de cette filière qui implique par essence de nombreux acteurs (Figure 11).

<b>ASPECTS TECHNIQUES</b>	<b>OUTILS</b>	R&D	Gestion	Communication	R&D	Gestion	R&D	R&D
	<b>INDICATEURS</b>	* Caractérisation * Flux	Satisfaction des usagers	Réactions des usagers	* Productivité * Qualité du compost	* Rentabilité * Voirie adaptée	* Productivité * Qualité du compost	* Valorisation * Rentabilité
	<b>PARAMETRES</b>	* Composition * T/J	* Taux de collecte * Coût	* Densité * Temps de séjour	* Rendement, coût * %MO, %impuretés	* Flux-T/J * Camions (nbre, type)	* Rendement, coût * %MO, %impuretés	* Productivité * Coût T/ha
<b>ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES</b>	<b>FILIERE COMPOSTAGE</b>	Production	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <i>option 1</i> Pré-collecte — Dépôt — Compostage informel                 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <i>option 2</i> Collecte — Compostage industriel                 </div> </div>			Collecte	Compostage industriel	Epannage
	<b>ACTEURS</b>	Habitants Usagers	Secteur informel	Commune Habitants	Secteur informel	Secteur public ou privé	Secteur public ou privé	Agriculteurs Particuliers
	<b>ORGANISATION</b>	Familles Associations de quartier	ONG, PME Associations	Services techniques	ONG, PME Associations	Services techniques Entreprise	Services techniques Entreprise	Coopératives Associations
	<b>MOYENS</b>	Information, éducation sensibilisation	Coordination Réglementation	Coordination Réglementation	Formation Technicité	Financement Investissement	Financement Investissement	Informations
	<b>PRODUCTION</b>							

R & D : Recherche et Développement

Figure 11: Aspects techniques et socio-économiques de la filière compostage (Charnay, 2005).

### III.7.1 Etat actuel de l'amendement des sols algériens

En Algérie, la fertilisation agronomique est caractérisée par une utilisation d'engrais chimiques (apport de N, P, K) de manière identique au niveau des différentes zones agro-pédo-climatiques. Pourtant, la matière organique a un rôle important dans le sol puisqu'elle

permet d'abriter et de stimuler l'activité biologique, de retenir l'eau, de fixer les éléments fertilisants. L'amendement organique reste limité à l'utilisation de différentes sources en matière organique provenant des productions animales, des résidus de cultures, du traitement des boues résiduaires, des résidus issus de l'industrie, etc... Malgré ces ressources, l'utilisation des fumures organique reste très limitée par rapport à l'utilisation d'engrais minéraux de type N-P-K.

Dans ce contexte, l'INSID (Institut Supérieur de l'Irrigation et du Drainage, 2002-2007) a mené une enquête sur l'amendement organique au niveau de quelques wilayas représentées par 451 exploitations agricoles. L'objectif de cette enquête est la connaissance des pratiques agricoles au niveau des exploitations ciblées et notamment l'argument de la pratique de la fertilisation. L'amendement organique est pratiqué en moyenne par 52% des exploitants ciblés. Il est très hétérogène malgré son application sur la majeure partie des cultures. Dans certaines exploitations, elle est complémentaire à la fumure minérale.

Les apports en fumure organique sont effectués chaque année ou une année sur deux selon la disponibilité en fumier et selon les possibilités financières des exploitants. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 30. Ces résultats illustrent les doses moyennes de différentes fumures utilisées comme amendements organiques pour différentes cultures.

Tableau 30: Fertilisation organique menée pour 9 wilayas (INSID, 2002-2007).

Cultures	Apports	Wilayas								
		Alger	Bel Abbès	Blida	Boumerdès	Cheff	Mostaganèm	Rélizane	Tiaret	Tipaza
Céréales-Fourrages	Type de fumure	-	Bovin Ovin Avicole	-	Bovin	Bovin Ovin Avicole	Bovin Ovin	Bovin Ovin	Bovin Ovin	Bovin
	Dose (qt/ha)	-	172	-	110	136	101	175	194	40
Arboriculture	Type de fumure	Bovin Avicole Equin	Bovin Equin	Bovin	Bovin	Bovin Ovin Avicole	Bovin Ovin Caprin Equin	Bovin Ovin	Bovin Ovin Avicole	Bovin
	Dose (qt/ha)	134	37	33	278	39	170	290	94	123
Cultures maraîchères	Type de fumure	Bovin	Bovin Equin	-	Bovin Avicole	Bovin Ovin Avicole	Bovin Ovin	Bovin Ovin	Bovin Ovin Avicole	Bovin
	Dose (qt/ha)	20	230	-	55	121	171	300	79	386
% des exploitations		67	54	-	38	54	43	25	52	65

**qt** : quintaux

Dans ces wilayas, les ressources hydriques sont importantes et largement utilisées pour l'irrigation, ce qui explique l'importante activité agricole.

Cette étude montre la disponibilité de différentes fumures. Mais actuellement, il est difficile d'évaluer quantitativement et qualitativement leur effet sur les productions agricoles parce

que ces sources de matière organique (fumures) ne remplissent pas les conditions des amendements organiques.

Afin de changer la vision d'utilisation de la matière organique par les agriculteurs et de montrer son importance dans le domaine de l'agriculture, il est impératif en Algérie et dans les PED :

- de composter les résidus des productions animales (fientes de volailles, bouses de vaches, fumier), les résidus de cultures, les boues de station d'eaux résiduaires, les résidus urbains ;
- de faire élaborer par les instituts techniques nationaux des outils, pour mener à bien le procédé de compostage et pour assurer le contrôle de qualité du compost produit ;
- de suivre la législation en usage dans les pays développés en matière de filière compostage des RSU et d'incorporation du compost dans les sols.

Enfin, la filière de compostage est l'objet d'une réflexion profonde en Algérie, elle réduit la quantité de déchets à plus de 50% pour désengorger les CET et les décharge sauvages et permet le retour de la matière organique au sol.

### **III.8 Conclusion**

En conclusion de ce chapitre, il est tout d'abord nécessaire de préciser que le compost peut avoir un impact positif sur les sols et notamment en Algérie où les sols agricoles souffrent de pénurie de matière organique nécessaire pour compenser les pertes liées à la production végétale mais, également pour retenir l'eau qui fait souvent défaut en climat méditerranéen, qui est le plus souvent un climat aride. Le compost produit à partir de RSU est une solution qu'il ne faut pas négliger car, ce compost apporte la matière organique indispensable dans le domaine de l'agriculture.

Si la solution est connue pour diminuer les intrants chimiques, il est nécessaire de trouver le procédé le plus adapté aux déchets générés et aux conditions locales.

Ce chapitre présente les solutions technologiques les plus adaptés pour les PED. Le compostage par andains est une première solution pour permettre aux autorités locales de lancer des expériences de compostage en ciblant les déchets bruts. Mais, il faut suivre l'inventaire des différents paramètres de suivi du procédé de compostage pour obtenir un compost de qualité. Les normes de qualité du compost sont nécessaires pour contrôler la qualité chimique et agronomique des composts produits.

Ces différents paramètres ont été identifiés, il s'agit dans un premier temps des paramètres physico-chimiques classiques (Te, pH, MO%, H%, C/N) de suivi du procédé et de contrôle de la qualité du compost (% indésirables (films plastiques, PSE, autres plastiques,

bois, verre, textiles) MO% et teneurs des polluants (ETM, polluants organiques)). Des tests de maturité du compost ont été décrits pour juger la maturité (indice de germination et germination). D'autres tests existent comme le test d'auto-échauffement (TAE), les tests respirométriques (AT4), les tests de lixiviation qui ont été cités dans ce chapitre sans être analysés profondément car ils n'ont pas été utilisés par la suite dans l'étude expérimentale de ce travail.

## **METHODES ET MOYENS D'ANALYSES**

## *Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses*

## I. METHODES DE CARACTERISATION DES RESIDUS SOLIDES URBAINS

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

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

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

### I.1 Zone d'étude

Située dans la région nord-ouest de l'Algérie, la wilaya (préfecture) de Chlef s'étend sur une superficie de 4 791 km<sup>2</sup> avec une population avoisinant le million d'habitant, soit une densité de 194 hab/km<sup>2</sup>. Avec une surface agricole de près de 13 000 ha, la wilaya est une région à vocation agricole, orientée principalement vers la céréaliculture, l'arboriculture et le maraîchage. Elle compte 13 daïras (arrondissements/sous-préfectures) et 35 communes.

La commune de Chlef s'étend sur une superficie de 124 km<sup>2</sup>, elle compte une population de 164 841 habitants répartis dans cinq zones, chaque zone comporte plusieurs secteurs (Tableau 31).

Tableau 31 : Zonage et sectorisation de la commune de Chlef.

Zones	Est	Ouest	Centre-ville	Nord	Sud
Secteurs	-Radar -Zebouj -Ouled Mohamed -Kfafssa -Aouabed	-Hay Benssouna; -Hay Chorfa+anciennes zones (2,3 et4) -Hay Chorfa zones 1,5 et 6 -Hay Chrfa (712 +130 logements)	-Ville coté Est -Ville côté Ouest -Marché du gros.	-Hay Chegga -Hay Elhourria -Zone rurale nord.	-Hay Salem -Hay Moussalaha -Hay frères Abbed -Hay Lalla Aouda -Hay Hassania
Habitants	33264	44125	8975	19421	59056

## Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses

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

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

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

Géographiquement, le CET de Meknassa se situe à huit kilomètres au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya de Chlef, sur une plate-forme appartenant à la commune de Oued-Sly (cf. Figure 12). Elle est limitée à l'ouest, par la route communale Sidi Laroussi-Sidi Slimane, au nord, par Bocca de Meknassa et à l'est et au sud, par des terrains agricoles en exploitation.

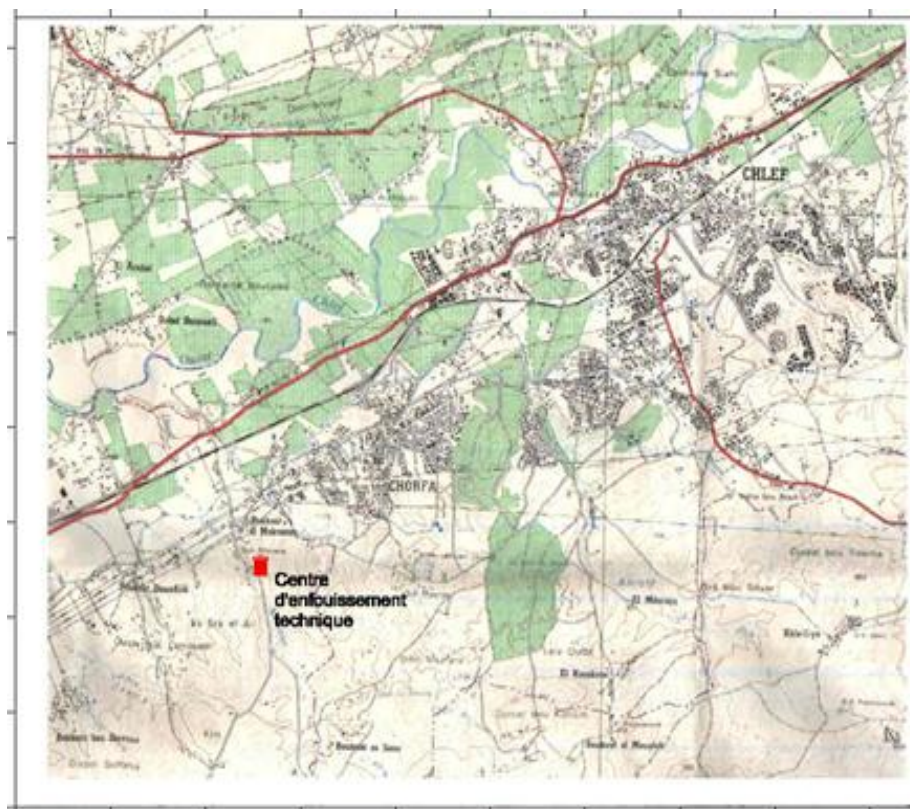


Figure 12: Carte localisant le CET de Meknassa (Echelle : 1/50000). (DHW, 2005).



## Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses

La production de déchets est évaluée à 0,7 kg/hab/j au niveau de la commune. Ce ratio est calculé sur la base d'un rapport entre la quantité journalière produite par jour et le nombre d'habitants de la commune. Cette valeur n'est pas figée en raison des fluctuations du régime alimentaire (APC Chlef (2009), bureau hygiène).

Avec la réalisation du CET, il a été possible d'estimer la composition physique des déchets collectés et transférés vers le centre d'enfouissement. La composition de ces déchets est très hétérogène. Elle est caractérisée par la présence de putrescibles, de papiers-cartons, de plastiques, de textiles, de métaux, de verres et autres déchets tels que le gravats issus des travaux de chantiers et de démolition. Les pourcentages des différentes catégories sont rassemblés dans le Tableau 32.

Tableau 32: Composition des déchets de la wilaya de Chlef (Bureau d'hygiène de Chlef au niveau de l'APC, 2009).

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

Les autorités responsables de la gestion des déchets (bureau d'hygiène, APC, 2002) ont donné des estimations des déchets recyclables entre 2002 et 2020. Une partie de ces quantités recyclables est récupérée par le secteur informel (Tableau 33).

Tableau 33: Estimation des taux de déchets recyclables entre 2002 et 2020 (bureau d'hygiène, APC, 2002).

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

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

## ***Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses***

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

Lors de l'estimation des pourcentages des catégories prédominantes (putrescibles, papiers-cartons) des déchets de la commune de Chlef (Tahraoui Douma, 2006), les teneurs en eau et en matière organique ont été déterminées. La valeur moyenne de la teneur en eau variait entre 50 à 60% et celle de la teneur en matière organique oscillait entre 70 et 85%. Ces valeurs sont des indicateurs importants pour le choix de traitement des déchets par compostage. La valorisation par compostage des fermentescibles est donc envisageable, le compost produit ayant un impact bénéfique sur l'agriculture et sur l'environnement avec notamment la réduction du volume des déchets enfouis.

### **I.2 Description de la plate-forme expérimentale de caractérisation et de compostage des RSU**

Dans le cadre de ces travaux de recherche, une plate-forme de 205 m<sup>2</sup> a été conçue au sein de la station expérimentale agronomique de l'Université de Chlef à l'Arhd Elbaydha. La plate-forme servira pour caractériser et pour traiter par compostage les RSU de la commune de Chlef. La plate-forme est bétonnée pour éviter l'infiltration du lixiviat dans le sol (Figure 13).

La plate-forme est constituée de deux surfaces

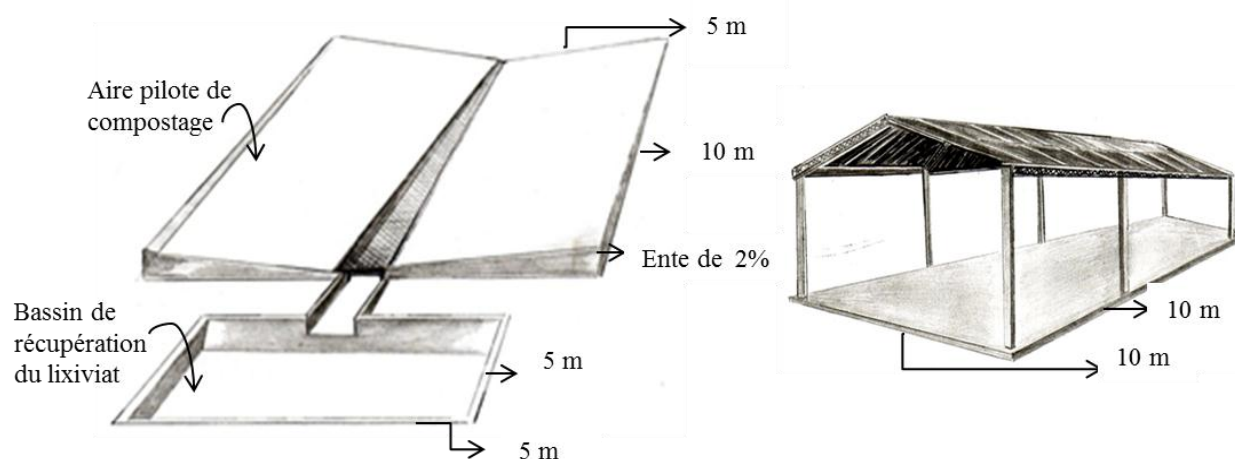
\*Une aire couverte de 100 m<sup>2</sup> réservée pour le tri des déchets, le criblage ainsi que pour le stockage du compost.

Les matériels suivants sont disponibles:

- une sonde thermométrique pour les prélèvements des températures des andains;
- une table de tri avec deux cribles de 100 et 20 mm et un bac de récupération de la matière fine < 20mm ;
- des balances électroniques de capacités 5 kg et 130 kg;
- des petits matériels : pelles, fourches, sacs, gants, masques, bottes ;
- plusieurs tamis à mailles carrées de 100 mm et 20mm pour déterminer la granulométrie des substrats au cours du compostage et des tamis de 40 mm et 10 mm pour cribler le compost produit.

Tous ces équipements étaient disponibles pendant la caractérisation et le compostage des déchets sur la plate-forme.

## Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses



a : aire pilote de compostage



b : aire de tri et de stockage

Figure 13: Plate-forme de caractérisation physique et de compostage des déchets.

\*La deuxième partie de la plate-forme est une aire pilote de compostage non couverte, d'une surface de  $105 \text{ m}^2$ . Cette dernière est divisée en deux emplacements, la longueur de chaque emplacement est de 10 m et la largeur est de 5 m, permettant ainsi de réaliser deux andains simultanément. Chaque emplacement est incliné de 2% pour permettre l'écoulement du lixiviat et le drainage de l'eau pendant les intempéries. Le lixiviat est dirigé par un petit canal vers un bassin de récupération. Elle a une capacité de traitement ponctuel de 4 tonnes de déchets. (Figure 13a).

### I.3 Echantillonnage

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

L'échantillonnage prend un sens précis dans le cas des résidus solides urbains:

## *Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses*

L'échantillonnage définit toute opération d'analyse d'une partie représentative d'un lot de déchets afin, que la composition de l'échantillon donne une estimation relativement voulue du contenu pris d'un camion pendant la production d'une journée par exemple (Ben Ammar, 2006).

Dans ce contexte, quelles que soient les informations désirées sur les déchets, l'obtention d'un échantillon représentatif est nécessaire pour la pratique des différentes analyses sur les déchets (densité, tri en catégories et sous-catégories, humidité, teneur en matière organique.....etc.). Donc, un échantillon est représentatif :

- si tous les déchets générés ont une probabilité non nulle d'appartenir à l'échantillon et d'être sélectionnés;
- si le choix de l'échantillon des déchets se fait au hasard pour obtenir une représentativité des déchets à caractériser figurants sur la liste des RSU (choix d'une benne, un camion, un tracteur après la collecte.....etc.).

Rappel : D'après Lanini (1998), un échantillon est représentatif, lorsque ce dernier présente les mêmes caractéristiques de la matière dont il est issu. Dans ce cas, la fiabilité de la représentativité d'un échantillon dépend de plusieurs facteurs importants citons : - l'hétérogénéité du gisement des déchets (flux, composition, catégories et sous-catégories) ; - variation au sein d'un pays, une ville et même dans les différents quartiers (hauts standing, moyen standing). De même, il faut aussi tenir compte des aspects suivants (Alouimine, 2006) :

- Zonage et sectorisation : zones urbaine, rurale ou industrielle et secteurs haut, moyen et bas standing;
- Facteurs climatiques : la composition des déchets dépend de la consommation saisonnière par la population ;
- Aspects socio-économiques : ils se rapportent au niveau de vie de la population qui consomme les fruits et les légumes (grande quantité de la partie putrescible) dans les PED ou les produits alimentaires conditionnés (emballages : papiers, cartons, plastiques et verre) dans les PD ;
- Durée de la fréquence de collecte de l'échantillon : production quotidienne ou hebdomadaire ;
- Source de l'échantillon : prise de l'échantillon au niveau du producteur, à partir des bennes ou des sites de transit, au niveau des décharges ou au niveau des usines de traitement.

## *Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses*

Dans le cadre de cette étude, pour la caractérisation physico-chimique (granulométrie et composition) des échantillons des RSU ont été prélevés aléatoirement à partir des camions (ou bennes, ou bennes tasseuses et /ou tracteurs) arrivant au CET de Meknassa après la collecte des déchets.

Pour les opérations d'échantillonnage et de tri, le site de la décharge aurait été préférable parce qu'il y avait une plate-forme de tri construite mais non utilisée. Par mesure de sécurité le site du CET a été choisi seulement pour constituer l'échantillon.

### **I.3.1 Taille de l'échantillon**

La caractérisation physique des déchets ménagers solides se fait selon le besoin pour orienter ou caractériser les modalités de traitement des déchets. Dans ce cas, la masse de l'échantillon de déchets à trier dépend de l'objectif que l'on se fixe pour cette caractérisation. Par exemple, un échantillon de 100kg donne une précision importante sur les déchets putrescibles mais, par contre, les métaux ou le verre auront une probabilité de précision très faible dans le tri (SENES Consultants Limited, 1999). Différentes études ont été faites dans ce domaine, d'après François (2004) une quantité de 1 kg à 50 kg est suffisante pour caractériser les déchets enfouis. Par contre Aina (2006), au cours de ses travaux a pris un échantillon d'une masse compris entre 120 et 150 kg. MODECOM recommande une prise d'échantillon de 500 kg de déchets sèches (MODECOM, 1993 et ADEME, 2005-b) après quartage afin de limiter les erreurs de mesure ou une prise de 200 kg de déchets humides après quartage successif d'une charge entière d'un camion . Alors que, Morvan (2000), recommande de réaliser le tri sur déchets secs sur la même quantité de 500 kg. Dans la même optique, Ben Ammar (2006), propose 10 prélèvements de chaque benne d'une masse de 20 kg, ce qui donne un lot de 200 kg de déchets. D'autres méthodes proposent un poids de 100 à 200 kg après un quartage répété d'une charge entière de camion (Mohee, 2002), ou 30 échantillons d'un poids total de 200 à 300 kg prélevés sur une période de 6 mois (Kathiravale et al., 2003). Afin, de définir la taille de l'échantillon au cours de cette étude, deux facteurs ont été pris en compte :

- La sectorisation et le zonage de la collecte actuel des déchets de la commune de Chlef (Est, Ouest, Centre-Ville, Sud et Nord).
- Les déchets de la commune de Chlef ne contenant pas d'encombrants, des échantillons de 200 kg (Figure 14) ont été préparés après plusieurs opérations de quartage de masses prises à plusieurs niveaux (derrière, milieu et devant) des camions, des bennes ou/et des tracteurs.

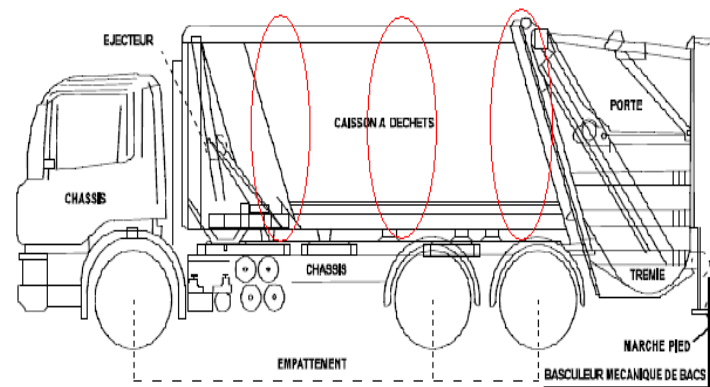


Figure 14: Mode de prise d'échantillons sur les engins de collecte.

L'opération de quartage a été répétée pour les cinq zones de la commune de Chlef pendant cinq campagnes au cours de deux années successives (2009/2010 et 2010/2011). La masse d'échantillon de 200 kg nécessaire pour la suite des analyses de caractérisation est obtenue après 3 quartages successifs d'une masse de 1000 kg obtenue après la prise d'une masse de déchets de plusieurs camions d'une zone (Figure 15).

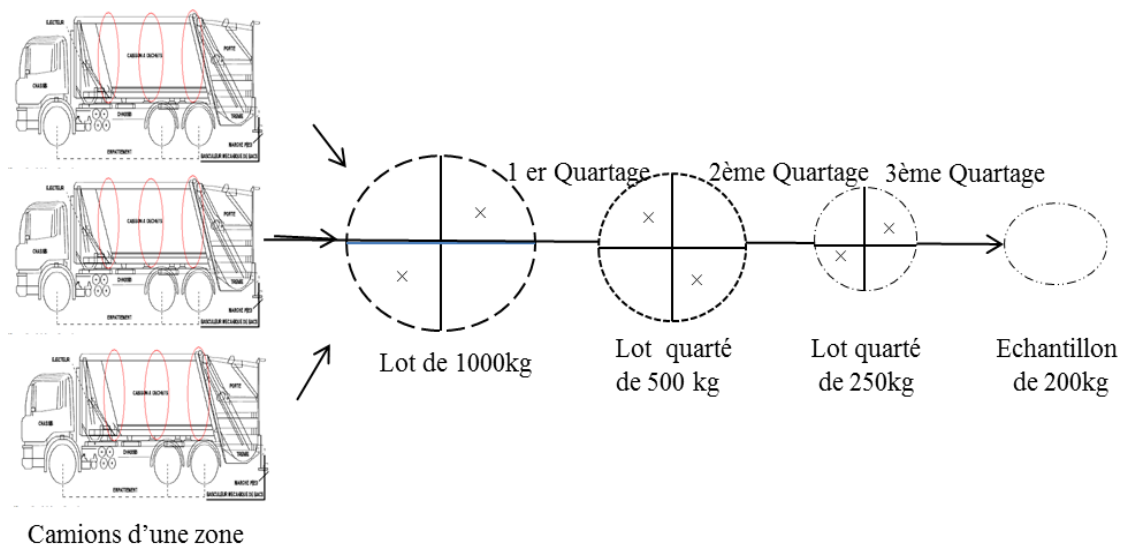


Figure 15: Mode de quartage pour obtenir l'échantillon.

Les cinq campagnes de caractérisation des déchets ont permis de constituer 125 échantillons, soit une masse de 25 000 kg de déchets, ce qui donne 25 échantillons par campagne, soit une masse de 5 000 kg de déchets, dont le prélèvement a été effectué selon le schéma d'échantillonnage de la Figure 16.

## Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses

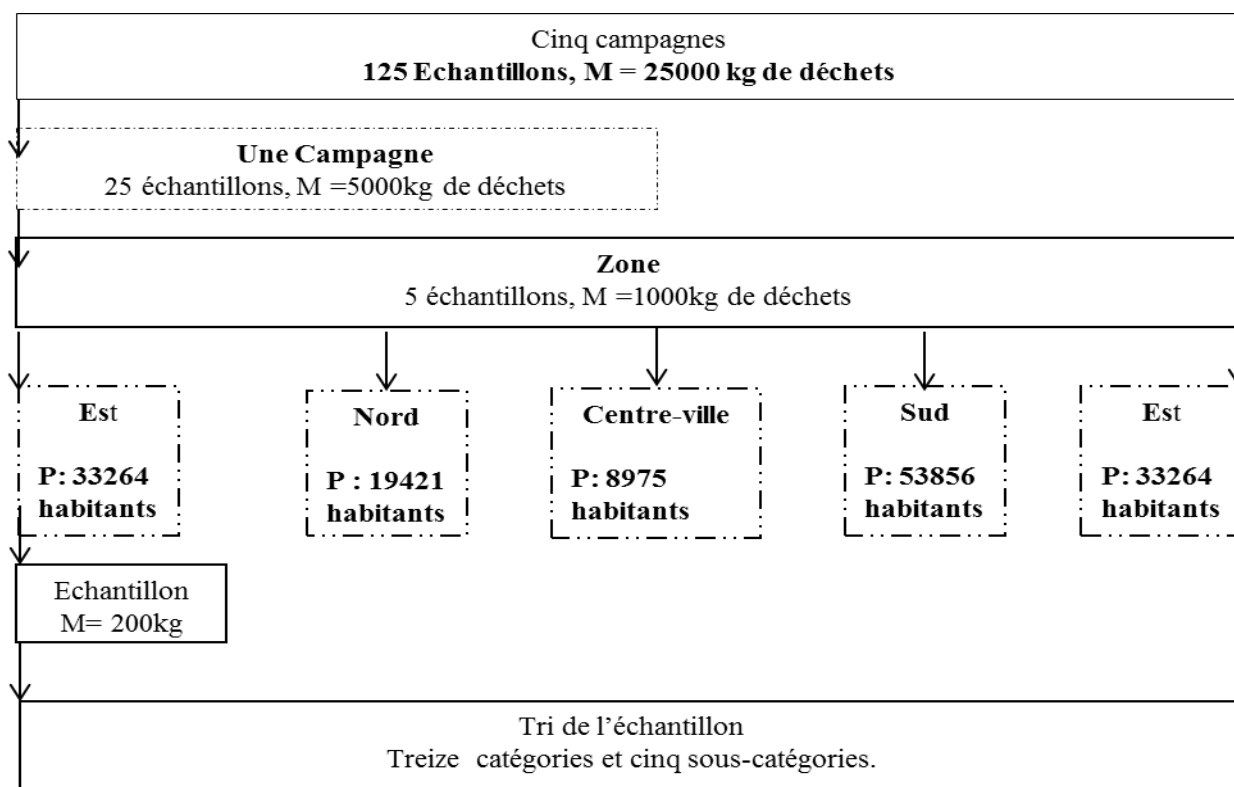


Figure 16: Schéma d'échantillonnage des RSU.

Remarque : Pour avoir le maximum d'informations sur les déchets générés dans la commune, un échantillonnage par secteur dans chacune des cinq zones était prévu. Une difficulté est apparue: il s'agissait du non-respect de la collecte. En effet, d'après la direction de l'environnement, la collecte se faisait dans chaque secteur (une benne, ou un camion et /ou un tracteur agricole par secteur) pour chaque zone. La réalité était différente: une seule benne faisait la collecte des déchets dans tous les secteurs dans chaque zone, contrairement à ce qui était programmé par la direction de l'environnement de la wilaya. Suite à ce fait, Il a été décidé d'opter pour prendre un échantillon par zone au lieu d'un échantillon par secteur.

### I.3.2 Organisation

Pour suivre la variabilité du flux et la composition des déchets de la commune de Chlef dans le temps, des campagnes de caractérisation des déchets se sont déroulées selon trois étapes :

**Etape 1** : prélèvement de l'échantillon au niveau du CET de Meknassa et transport vers la plate-forme de l'Arth Elbaydha, situé à 21 km du CET de Meknassa ;

## Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses

**Etape 2 :** tri des déchets à l'aide d'une table de tri selon le protocole MODECOM (ADEME, 1993 ; Aina et al., 2006).

**Etape 3 :** Analyses chimiques des déchets réalisées au niveau des laboratoires de l'Université de Chlef.

Pour appréhender la variabilité de la composition des déchets générés dans l'agglomération de Chlef, il est nécessaire de tenir compte de la fréquence hebdomadaire de rotation des véhicules de collecte dans les cinq zones de la commune (Tableau 34).

Tableau 34 : Fréquence de la collecte des RSU de la commune de Chlef par engin (Direction de l'environnement, 2010).

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

Selon la fréquence de rotation des véhicules, des plannings de caractérisation des déchets des cinq campagnes ont été fixés (Tableau 35). Les prélèvements ont été répartis sur deux ans et à différentes saisons (printemps, été et hiver) pour appréhender en détails le gisement et la composition des déchets générés au niveau de la commune.



**Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses**

Tableau 35: Planning d'échantillonnage des cinq campagnes.

<b>Zone</b>	<b>Samedi</b>	<b>Dimanche</b>	<b>Lundi</b>	<b>Mardi</b>	<b>Mercredi</b>	<b>Jeudi</b>
<b>1<sup>ère</sup> Campagne (11-15 avril 2010)</b>						
<b>Ouest</b>		Prélèvement (11/04/10)				
<b>Est</b>			Prélèvement (12/04/10)			
<b>Centre-ville</b>				Prélèvement (13/04/10)		
<b>Sud</b>					Prélèvement (14/04/10)	
<b>Nord</b>						Prélèvement (15/04/10)
<b>2<sup>ème</sup> Campagne (22-26 mai 2010)</b>						
<b>Ouest</b>					Prélèvement (26/05/10)	
<b>Est</b>				Prélèvement (25/05/10)		
<b>Centre-ville</b>			Prélèvement (24/05/10)			
<b>Sud</b>		Prélèvement (23/05/10)				
<b>Nord</b>	Prélèvement (22/05/10)					
<b>3<sup>ème</sup> Campagne (22 -26 juin 2010)</b>						
<b>Ouest</b>						Prélèvement (24/06/10)
<b>Est</b>					Prélèvement (23/06/10)	
<b>Centre-ville</b>				Prélèvement (22/06/10)		
<b>Sud</b>			Prélèvement (26/06/10)			
<b>Nord</b>		Prélèvement (25/06/10)				
<b>4<sup>ème</sup> Campagne (3-10 juillet 2010)</b>						
<b>Ouest</b>	Prélèvement (03/07/10)					
<b>Est</b>		Prélèvement (05/07/10)				
<b>Centre-ville</b>			Prélèvement (06/07/10)			
<b>Sud</b>				Prélèvement (07/07/10)		
<b>Nord</b>					Prélèvement (10/07/10)	
<b>5<sup>ème</sup> Campagne (28 février-5 mars 2011)</b>						
<b>Ouest</b>			Prélèvement (28/02/11)			
<b>Est</b>		Prélèvement (27/02/11)				
<b>Centre-ville</b>	Prélèvement (05/03/11)					
<b>Sud</b>					Prélèvement (02/03/11)	
<b>Nord</b>						Prélèvement (03/03/11)

## Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses

Le tri des déchets par catégories et sous catégories demande de l'expérience. Le personnel chargé du tri doit être qualifié et donc formé dans la séparation et l'identification des divers matériaux. Aussi, pour la réalisation de ces campagnes de caractérisation des déchets ménagers de la commune de Chlef, le tri a été réalisé par les étudiants en master de l'université de Chlef encadrés par des enseignants et moi-même.

### I.4 Caractérisation

#### I.4.1 Par taille

Le tri par taille se fait avec la table de tri en respectant les diamètres de chaque bac : - gros ( $> 10$  mm) ; - moyens (20-100 mm) ; - fins ( $< 20$  mm). Les déchets gros et moyens sont ensuite séparés en catégories et en sous-catégories (MODECOM, 1993).

Au cours de cette phase de tri, on a partagé le lot de 200 kg en 4 lots de 50 kg pour faciliter l'opération du tri manuel.

Chacun de ces s'échantillons de 50 kg est déchargé sur la table de tri pour subir le tamisage (Figure 17) suivant : Tri des gros ( $> 100$  mm) ; Tri des moyens (20-100 mm) ; Récupération des fins ( $< 20$  mm).

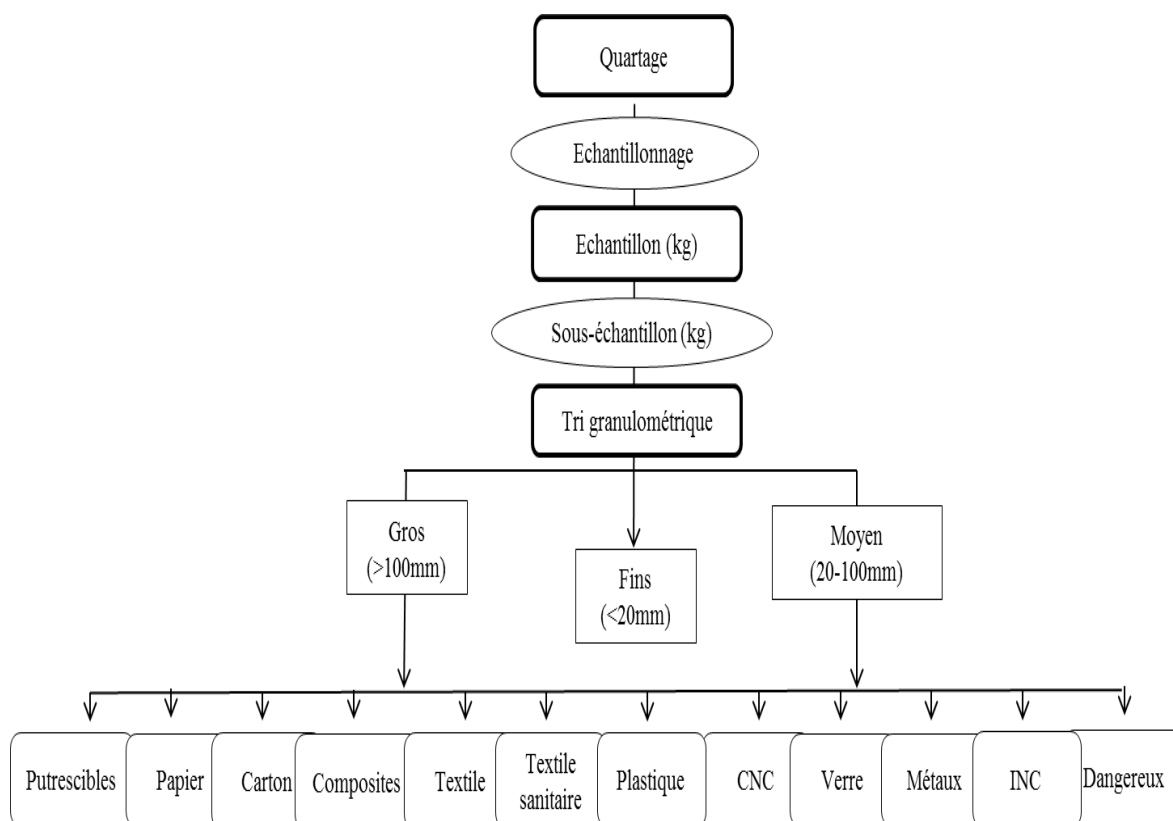


Figure 17: Schéma descriptif du protocole de caractérisation des déchets.

### **I.4.2 Tri par catégories**

Selon l'objectif de l'étude plusieurs types de catégories ont été identifiés : 13 catégories (putrescibles, papiers, cartons, composites, textiles, textiles sanitaires, plastiques, CNC, verre, métaux, INC, déchets dangereux et les fines) ont été distinguées selon le Tableau 36.

Tableau 36: Différentes catégories et sous-catégories de l'échantillon.

<b>Catégories</b>	<b>S/catégories</b>
<b>1. Putrescibles</b>	01.01 Déchets alimentaires (reste de cuisine)
	01.02 Produits alimentaires non consommés (sous emballage)
	01.03 Autres putrescibles
	01.04 Déchets de jardin
<b>2. Papiers</b>	02.01 Emballages papiers
	02.02 Journaux, magazines et revues
	02.03 Imprimés publicitaires a
	02.04 Papiers bureautiques
	02.05 Autres papiers
<b>3. Cartons</b>	03.01 Emballages cartons plats
	03.03 Autres cartons
<b>4. Complexes</b>	04.01 Composites ELA
	04.02 Autres Emballages composites
	04.03 Petits Appareils Electroménagers (PAM)
<b>5. Textiles</b>	05.01 Textiles
<b>6. Textiles sanitaires</b>	06.01 Textiles sanitaires fraction hygiénique
	06.02 Textiles sanitaires fraction papiers souillés
<b>7. Plastiques</b>	07.01 Films polyoléfinés (PE et PP)
	07.02 Bouteilles et flacons en PET
	07.04 Autres emballages plastiques
	07.05 Autres plastiques
<b>8. CNC</b>	08.01 Emballages en bois
	08.02 Autres combustibles
<b>9. Verres</b>	09.01 Emballages en verre incolore
	09.02 Emballages en verre de couleur
	09.03 Autres verres
<b>10. Métaux</b>	10.01 Emballages métaux ferreux
	10.02 Emballages aluminium
<b>11. INC</b>	11.02 Autres incombustibles
<b>12. Dangereux</b>	12.01 Produits chimiques
	12.02 Tubes au néon, lampes basse consommation
	12.03 Piles et accumulateurs
	12.04 Autres déchets ménagers spéciaux
<b>13. Fines</b>	13.01 Eléments fins < 20 mm

### **I.5 Composition physico-chimique**

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

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

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

### **I.5.1 Humidité (%H)**

L'humidité est un paramètre qui est déterminée par le séchage des déchets à des températures données. Certains auteurs recommandent de déterminer l'humidité à des températures différentes. Das et al. (2002), recommandent 75°C, Morvan (2000), 80°C, Brewer et Sullivan (2003), 85°C ; Garcia (2005), 105°C et Charnay (2005), 80°C. La norme NF M 03-002 (MODECOM, 1993), recommande de sécher une masse de 20 kg de chaque déchets dans une étuve à 105 ± 2 °C pendant 24 heures jusqu'à une masse constante.

La majorité des travaux ont déterminé la valeur de l'humidité par séchage d'une masse allant de quelque 100g à 10kg de déchets dans une étuve à 105°C jusqu'à une masse constante (Braun et Jaag, 1970 ; Diop, 1988 ; Tchobanoglous et al., 1993; Mohee, 2002; Kelly, 2002, François, 2004; Aina, 2006; Aloueimine, 2006; Ben Ammar, 2006; Mezouari, 2011 ; Koledzi, 2011).

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

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

Avec:

**%H:** pourcentage d'humidité

**M<sub>initiale</sub>:** masse de l'échantillon avant séchage

**M<sub>finale</sub> :** masse de l'échantillon après séchage

Ainsi, l'humidité a été mesurée directement sur des échantillons de 300g qu'on a formé après quartage successif de 10 kg reconstitués à partir des catégories des déchets triés. Soit 12 échantillons des catégories étudiés par campagne (analyse triplée pour chaque catégorie). Le séchage a été réalisé dans les laboratoires pédagogiques de chimie de l'université de Chlef.

### **I.5.2 Mesure de la matière organique (solide volatil ou perte au feu)**

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

## *Partie 2 Méthodes et moyens d'analyses*

Le pourcentage en matière organique (%MO/MS) est déterminé par calcination d'un échantillon de déchet après séchage dans un four à une température de 550°C (MODECOM, 1993). La teneur de cette dernière est obtenue selon la formule 2:

$$MO\% = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

**Avec :**

**%MO :** pourcentage matière organique

**M<sub>1</sub> :** masse de l'échantillon sec avant calcination

**M<sub>2</sub> :** masse de l'échantillon après calcination

La température de calcination est généralement la même dans la plupart des travaux. Par contre, la durée de calcination varie d'un auteur à un autre, par exemple : Boda (2002), la fixe de 20 mn ; Kelly (2002), de 2 heures et Chaimpo et al., (1996), de 60 mn. La norme NF U 44-160 préconise de calciner une masse voisine de 25 g à 550°C pendant 2 heures.

On a opté pour la norme NF U 44-160 pour évaluer la teneur en MO par calcination. Ce choix permet ainsi de comparer les résultats avec la majorité des travaux utilisant ce protocole et surtout avec les travaux sur les déchets générés dans les PED. Les analyses ont été répétées trois fois pour chaque catégorie citée ci-dessus, soient 12 échantillons par campagne.



## **II. METHODES EXPERIMENTALES DU COMPOSTAGE DES RSU DE LA COMMUNE DE CHLEF**

Les expériences du compostage dans les PED ont toujours été des échecs. Les raisons de ces échecs se résument essentiellement, en une absence de base de données sur les déchets et en des insuffisances dans le choix des procédés de compostage. En outre, la maîtrise des conditions de fonctionnement de ces procédés nécessite d'élaborer des paramètres de suivi et de contrôle de leurs performances, ce que les exploitants ignorent très souvent.

### **II.1 Conditions expérimentales du compostage**

Pour permettre d'optimiser le procédé qui pourra répondre aux besoins des collectivités locales en matière de traitement des déchets ménagers, il est indispensable de choisir une technique de compostage facilement adaptable aux PED. Dans la littérature, les travaux de plusieurs auteurs (Ngnikam, 2000 ; Wahyono & Sahwan, 2000 ; Van Beukering *et al.*, 1999 ; Gonzalez del Carpio, 1998 ; Tuladhar & Bania, 1998 ; Asomani-Boateng *et al.*, 1996 ; Zurbrügg & Ahmed, 1999 ), indiquent que la méthode de compostage en andain a été choisie dans plusieurs pays industrialisés (Espagne, France, Royaume Uni, Italie, Allemagne) et même dans les pays en développement (Inde, Sri Lanka, Mexique, Népal, Argentine, Indonésie, Ghana, Burkina Faso, Bénin, Chine, Sénégal, Cameroun, Pakistan). C'est pourquoi, dans cette étude le choix s'est porté sur la technique d'andains aérés par retournements successifs avec apport éventuel d'eau.

En outre, il est nécessaire d'expérimenter à l'échelle pilote plusieurs paramètres qui conditionnent l'efficacité du procédé. A la suite de l'étude bibliographique, le choix s'étant porté sur la technique d'andains aérés par retournements successifs avec apports éventuels d'eau, il était nécessaire d'étudier différentes conditions de compostage principalement : -la nature du substrat, déchets bruts ou pré-triés, -la fréquence des retournements et les apports en eau, -le retour en tête de fermentation de refus de criblage et, -l'affinage final par criblage à différentes tailles < 40mm et < 10mm

Le schéma (Figure 18) du procédé expérimental pratiqué sur la plate-forme pilote est le suivant :

Etape 1 : préparation du substrat : déchets bruts ou prétraités par tri de certaines catégories ;

Etape 2 : construction des andains ;

Etape 3 : fermentation avec aération par retournement, deux fréquences de retournements ont été choisis : -Aération par jour (2<sup>ème</sup> J ; 4<sup>ème</sup> J ; 8<sup>ème</sup> J ; 15<sup>ème</sup> J ; 30<sup>ème</sup> J) et aération par

semaine (1<sup>er</sup> S ; 2<sup>ème</sup> S ; 3<sup>ème</sup> S ; 4<sup>ème</sup> S ; 7<sup>ème</sup> S ; 9<sup>ème</sup> S ; 11<sup>ème</sup> S). L'arrosage a été appliqué pendant la phase de dégradation de telle sorte de maintenir l'humidité de l'andain entre 40 et 60 %.

Etape 4 : maturation pendant 3 mois ;

Etape 5 : affinage final par criblage sur mailles de 40 mm et de 10 mm.

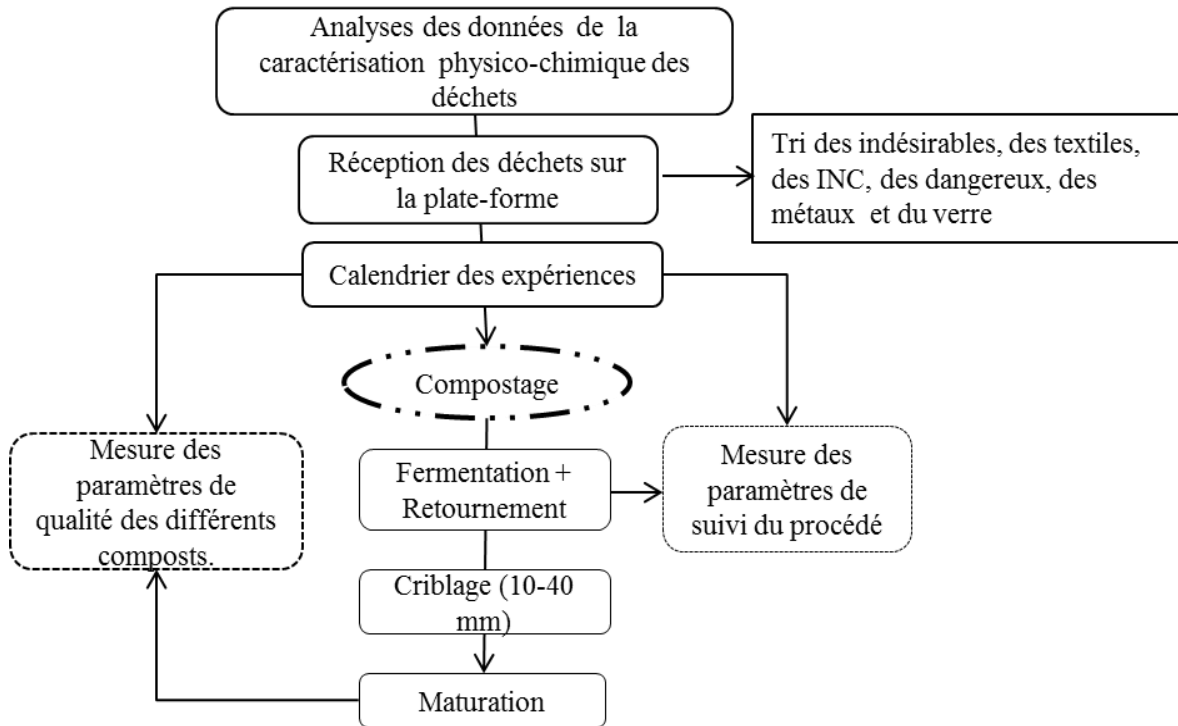


Figure 18 : Schéma descriptif du protocole expérimental du compostage des RSU.

### II.I.1 Choix de la forme des andains et de leurs dimensions

Auparavant, il faut toutefois rappeler les différentes formes d'andains avant de faire le choix d'un type

**\*Les andains en couches :** Les déchets sont superposés en couche. Chaque couche est constituée de déchets broyés, les matériaux sont compactés. Ce système est confirmé non rentable, il a été quasiment abandonné par la majorité des exploitants.

**\*Les andains en triangle :** Ces andains présentent généralement des hauteurs de 2 m et une largeur de 2,5 à 3 m. Une couche extérieure d'épaisseur 0,3 m, soit environ 40% du volume du tas, limite l'activité biologique dans cette zone, limitant ainsi, la montée de la température. Dans le cas des pluies abondantes, la pluie s'écoule sur les côtés et se rassemble à la base de l'andain. Il faut donc prévoir un système d'évacuation afin d'empêcher le détrempeage de l'andain. Ce type d'andain ne résiste pas aux intempéries.



**\*Les andains trapézoïdaux :** Selon cette forme, il est possible de constituer des andains d'une hauteur de 3 m pour 7 à 8 m de base avec une pente de 70%. Dans ces conditions, la zone externe représente 15 à 17% du volume total. L'andain trapézoïdal possède d'une part une bonne aptitude au stockage de l'eau en cas de sécheresse et d'autre part une bonne aptitude à l'absorption de l'eau en cas de fortes précipitations (Grossmann, 2003). Ce type d'andain peut être adapté par les PED.

Pour cette étude, le choix s'est porté sur la forme trapézoïdale. L'expérience de compostage s'est étalée sur deux ans, 2010 et 2011, et sur plusieurs saisons. Les dimensions et les masses des différents andains sont reportées dans le Tableau 37.

Tableau 37: Taille et masse des andains expérimentaux.

Andains		Masse (Kg)	Dimensions (m)			
Type	date		B	b	H	L
A <sub>1</sub>	Printemps 2010	1352	1,5	0,5	1,35	7
A <sub>2</sub>	Été 2010	2000	2,5	1	2	9
A <sub>3</sub>	Hiver 2011	1200	1,5	0,5	1,2	7
A <sub>4</sub>	Printemps 2011	1500	1,5	0,5	1,4	8

Les quatre andains avaient la forme schématisée par la Figure 19.

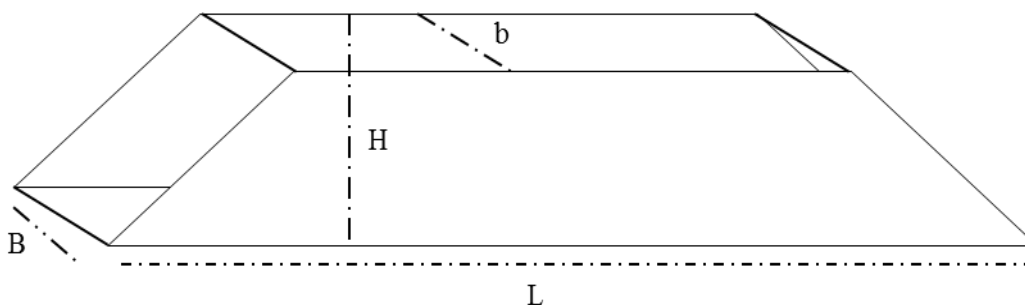


Figure 19: Forme géométrique des andains.

### II.1. 2 Choix de la composition des substrats mis en andain

Les substrats mis en andains pour être compostés sont constitués d'un mélange de déchets provenant des cinq zones de la commune de Chlef après un tri des indésirables (métaux, verre, déchets dangereux et même parfois les plastiques) au niveau du CET pendant le déchargement des camions, des tracteurs, des bennes et des bennes tasseuses après collecte. Une fois les déchets triés et pesés, ils ont été ensuite transférés vers la plate-forme de

compostage de l'Ardh Elbaydha. La composition des substrats et les fréquences de retournement des andains sont répertoriées dans le Tableau 38.

Tableau 38: Composition des substrats et fréquences des retournements.

Andain	Composition du substrat	Aération	Mode de retournement
A <sub>1</sub>	Putrescibles: 57,7% Papiers: 15% Cartons: 20,7% Matières fines (<20mm): 6,6%	2 <sup>ème</sup> J; 4 <sup>ème</sup> J; 8 <sup>ème</sup> J; 15 <sup>ème</sup> J; 30 <sup>ème</sup> J.	R1
A <sub>2</sub>	Putrescibles: 72% Papiers: 4% Cartons: 4,5% <b>Plastiques (20-100mm):10%</b> <b>CNC:1,5%</b> Matières fines (<20mm): 8%	2 <sup>ème</sup> J; 4 <sup>ème</sup> J; 8 <sup>ème</sup> J; 15 <sup>ème</sup> J; 30 <sup>ème</sup> J.	R2
A <sub>3</sub>	Putrescibles: 66,5% Papiers: 4,2% Cartons: 3,3% Plastiques (20-100mm): 8% <b>Textiles (20-100mm): 5%</b> CNC: 2,8% Matières fines (<20mm): 10,2%	1 <sup>er</sup> S; 2 <sup>ème</sup> S; 3 <sup>ème</sup> S; 4 <sup>ème</sup> S; 7 <sup>ème</sup> S; 9 <sup>ème</sup> S; 11 <sup>ème</sup> S.	R3
A <sub>4</sub>	Putrescibles:54% Papiers:5% Cartons:6% Plastiques (20-100mm): 8% ; Textiles (20-100mm): 3% ; CNC:1,3% <b>Refus andain (&gt;40mm):14,7%</b> Matières fines (<20mm): 8%	1 <sup>er</sup> S; 2 <sup>ème</sup> S; 3 <sup>ème</sup> S; 4 <sup>ème</sup> S; 7 <sup>ème</sup> S; 9 <sup>ème</sup> S; 11 <sup>ème</sup> S.	R4

J : Jour ; S : Semaine.

Chaque tas est retourné selon les fréquences citées dans le tableau précédent pour permettre l'aération et l'homogénéisation (Van Haaren et al., 2009) de chaque andain.

La démarche utilisée dans cette étude consiste à mettre en place des essais démonstratifs ayant pour objectif de proposer un procédé simple et efficace de traitement des déchets urbains solides par compostage.

### II.1.3 Choix du criblage final du compost produit

Le criblage des composts a été réalisé en utilisant des tamis de maille carrée de 40 mm et de 10mm. Les symboles des criblages sont classés dans le Tableau 39.

Tableau 39: Symboles des composts produits à partir des différents andains (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> et A<sub>4</sub>) pour deux tailles : < 10mm et < 40mm.

Criblage du compost		<10 mm	<40 mm
Compost C1	Printemps 2010	C1/10	C1/40
Compost C2	Été 2010	C2/10	C2/40
Compost C3	Hiver 2011	C3/10	C3/40
Compost C4	Printemps 2011	C4/10	C4/40

## **II.2 Paramètres de suivi du procédé de compostage**

Le compostage est défini comme un procédé biologique aérobie contrôlé, qui permet l'hygiénisation et la stabilité par dégradation de la matière organique, et conduit à un amendement ou engrais organique (MEDDTL, 2011). Les paramètres physico-chimiques des substrats (pH, taux d'humidité, température, taux de la matière organique et granulométrie) évoluent au cours du compostage (Compaoré et Nanéma, 2010).

### **II.2.1 Effet exothermique : Température, T°C**

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

### **II.2.2 Acidité : pH, (u.pH)**

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

### **II.2.3 Granulométrie en %**

La diminution de la granulométrie est un facteur très important de dégradation de la matière au cours de la fermentation. Sa mesure consiste à peser 5 à 10 kg de la matière et de la faire passer à travers trois tamis superposés à

mailles carrés de 10 cm, 5 cm et 1 cm. Pour chaque tamis, il faut peser chacune de ces fractions retenus, afin d'estimer la répartition granulométrique dans l'andain après chaque retournement.

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

### **II.3 Paramètres de qualité du compost**

La détermination des paramètres de qualité permet de mettre fin aux critiques mordantes causées par la médiocrité des composts produits. Ces débats ont amené à une mise en cause de cette filière de traitement des déchets (Aboulem, 2005). Dans cette optique, les mesures et les analyses de ces paramètres doivent être fiables et décisives pour l'efficacité du procédé ainsi que pour l'utilisation du compost produit comme amendement organique.

La Figure 20 représente un schéma descriptif du protocole expérimental pour toutes les mesures et les analyses des paramètres physico-chimiques des composts produits au cours de ce projet.

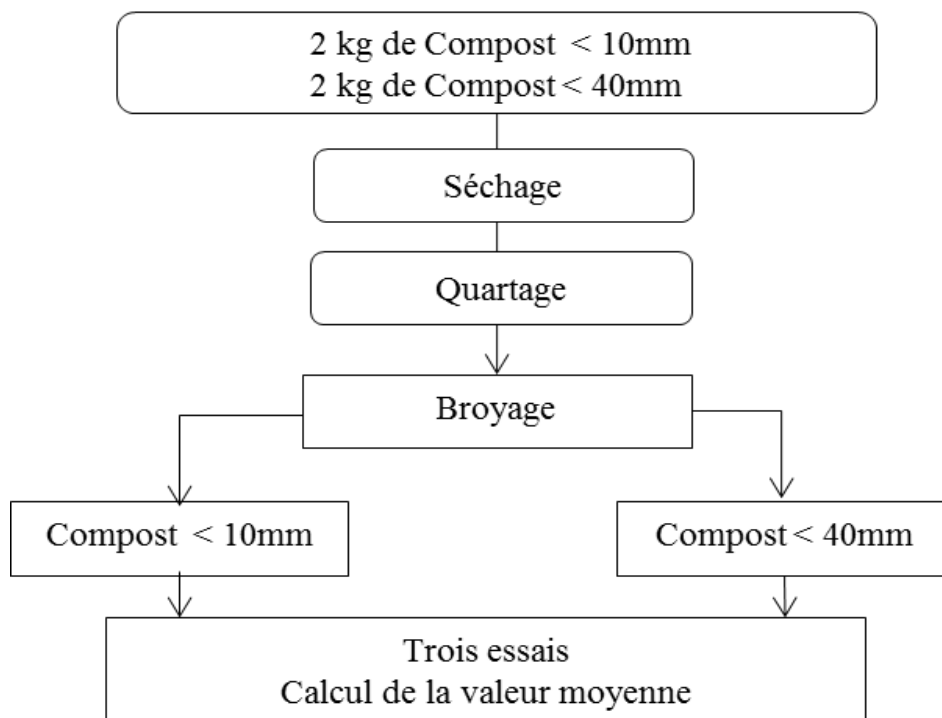


Figure 20: Schéma descriptif du protocole expérimental des mesures et des analyses des paramètres de qualité des composts.

### II.3.1 Teneur en matière organique, MO% (ou matière volatile)/MS mesurée par la perte au feu

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

La teneur en matière organique par rapport à la matière sèche a été déterminée par perte au feu. Ce taux est obtenu par calcination d'un échantillon de 25 g à 550°C pendant deux heures (norme NF U 44-160). Afin de mesurer la teneur en matière organique dans l'andain et celle des composts produits, les analyses ont été répétées trois fois. La valeur retenue est la moyenne des trois valeurs obtenues. La teneur en matière organique est donnée par l'équation 3.

$$\% MO = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

Avec :

$M_1$  : masse de l'échantillon avant calcination

$M_2$  : masse de l'échantillon après calcination.

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

### II.3.2 Teneur en carbone (C) en mg/g MS ou %C

La teneur en carbone représente la proportion du carbone dans la matière organique des produits organiques (Giroux et Audesse, 2004). La teneur en carbone de chaque compost produit a été déterminée selon deux méthodes.

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

#### Minéralisation

Cette phase consiste à introduire dans des matras 0,05 g d'un échantillon de compost broyé, 10 ml de  $K_2Cr_2O_7$  (8% m/v) et 10 ml de  $H_2SO_4$  concentré. Dans d'autres matras, on introduit différentes quantités de glucose anhydre pour réaliser la gamme d'étalon.

Les matras sont chauffés et, à partir de la première goutte de condensât qui tombe du réfrigérant, le chauffage est réglé à 200°C de façon à maintenir l'ébullition pendant 5 min. Les matras sont ensuite refroidis jusqu'à une température de 20°C, puis on ajoute 125 ml d'eau

distillée dans chaque matras. Après cette opération, les solutions doivent décanter pendant une heure.

Dosage

Cette seconde étape se déroule en deux phases :

- \* Premièrement, Après décantation, les solutions sont filtrées sur membrane en fibre de verre de diamètre de pore 0,45 µm. Deuxièmement, on règle le spectromètre à 587 nm, les mesures sont effectuées en prenant comme zéro la solution de l'échantillon de sable.
- \* Les concentrations en carbone sont déduites de la droite de l'étalon. La teneur en carbone est calculée selon l'équation 4.

$$[C] \left( \frac{\text{mg}}{\text{g}} \text{ de compost} \right) = \frac{([C]_{\text{étalon}} \times 10)}{\text{Méchantillon}} \dots\dots\dots (4)$$

**\*Seconde méthode :** Détermination de la teneur en carbone à partir de la teneur en matière organique.

Cette méthode consiste à déterminer la teneur en carbone des engrais et des amendements organiques à partir de leur teneur en matière organique. Cette technique autorise à appliquer un facteur de proportion du carbone correspondant au rapport MO/C. Les facteurs les plus souvent utilisés sont 1,724 et 2,0. Broadbent (1953), montre dans ses travaux qu'un facteur de 1,9 serait plus approprié pour évaluer le carbone dans la couche arable. Selon Allison (1965), la valeur 1,724 constitue une approximation de la proportion du C dans la MO des sols et ce facteur est assez variable d'un sol à l'autre. Les travaux de Giroux et Audesse (2004), ont montré, qu'une précision analytique a été bonne pour les engrais et amendement organiques analysés en utilisant le facteur 2,0. La proportion du carbone dans la matière organique des composts est déterminée selon l'équation 5.

$$MO \% = C \% \times 2,0 \dots\dots\dots (5)$$

**II.3.3 Teneur en N (NTK), en mg/g /MS**

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

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

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

Minéralisation

On introduit dans des matras 0,1 g d'échantillon de chaque compost finement broyé de façon à obtenir un échantillon le plus représentatif possible. Aussi, on introduit dans un matras 0,1 g de sable pour le blanc. Dans chaque matras, On ajoute 10 ml d'eau distillée, 10 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré et 1 g de catalyseur (sulfate de potassium et sélénium)

Les matras sont placés dans le minéralisateur, le mélange est porté à ébullition. La température est maintenue à 180°C pendant 1 heure puis pendant 2 heures à 360°C. Quand les solutions sont limpides, on les laisse refroidir environ 30 mn.

Distillation

Les résidus obtenus après digestion sont distillés après une neutralisation avec une lessive de soude à 30 %.

Dosage

On ajoute 5 gouttes d'indicateur coloré au distillat récupéré. Ce dernier est titré avec une solution de NaOH (0,1 M).

L'équation 6 permet de calculer la teneur en azote Kjeldahl :

$$NTK \left( \frac{mg}{g} \text{ de compost} \right) = \frac{[(V_{sable} - V_{NaOH}) \times 0,1 \times 1400]}{M_{\text{échantillon}}} \dots \dots \dots (6)$$

Avec,

V<sub>sable</sub> : Volume de soude à l'équivalence pour le sable

V<sub>NaOH</sub> : Volume de soude à l'équivalence pour les différents échantillons.

**II.3.4 Teneurs en éléments fertilisants (Ca, K, Mg et Na)**

Le dosage de ces éléments est réalisé suivant le protocole de la méthode d'analyse ISO 11 460 de juin 1995. Ce dernier s'effectue en deux étapes.

Minéralisation

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

Dosage par spectrométrie d'absorption atomique (SAA)

Après minéralisation et refroidissement, les solutions sont placées dans des fioles jaugées de 50 ml avec ajout d'eau distillée jusqu'au traits de jauge. Ensuite, elles sont filtrées sur membrane de fibre de verre de diamètre de pore 0,45 µm. Les concentrations en éléments fertilisants sont mesurées par spectrophotomètre d'absorption atomique SAFAS AA 190 (air-acétylène).

**II.3.5 Teneurs en Phosphore total, Pt, mgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.kg<sup>-1</sup>MS**

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

Minéralisation

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

Dosage par spectrophotométrie

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

**II.3.6 Teneur en éléments trace métalliques : ETM en mg/kg MS**

Les teneurs en éléments traces métalliques ont été mesurés par spectrophotométrie d'absorption atomique. La méthode est décrite au paragraphe II.3.4.

**II.3.7 Teneur en indésirables ou impuretés en %**

La présence de résidus de plastiques, de verres et de métaux dans les amendements organiques est contrôlée dans le cadre de la norme NF U 44 051, qui fixe les valeurs limites des teneurs en impuretés pour les amendements organiques. Cette norme considère comme impuretés des résidus en plastiques >5 mm (valeur limite < 0,3% MS) et des résidus en verre et métaux >2 mm (valeur limite < 2,0% MS) dans les amendements organiques provenant des collectivités, dans les amendements organiques issus de parcs et jardins et de la collecte (sélective et/ou non des FFOM : Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères).

Le principe de la méthode XP U44 164 (2004), consiste à oxyder la matière organique non synthétique par l'eau de Javel (13%). Les inertes restants sont triés par densimétrie à l'eau puis avec une solution saturée en chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>) de densité 1,35 (Figure 21).



Méthodologie

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

Après séchage, un tri est effectué sur les légers, les mi-lourds et les lourds (Figure 21).

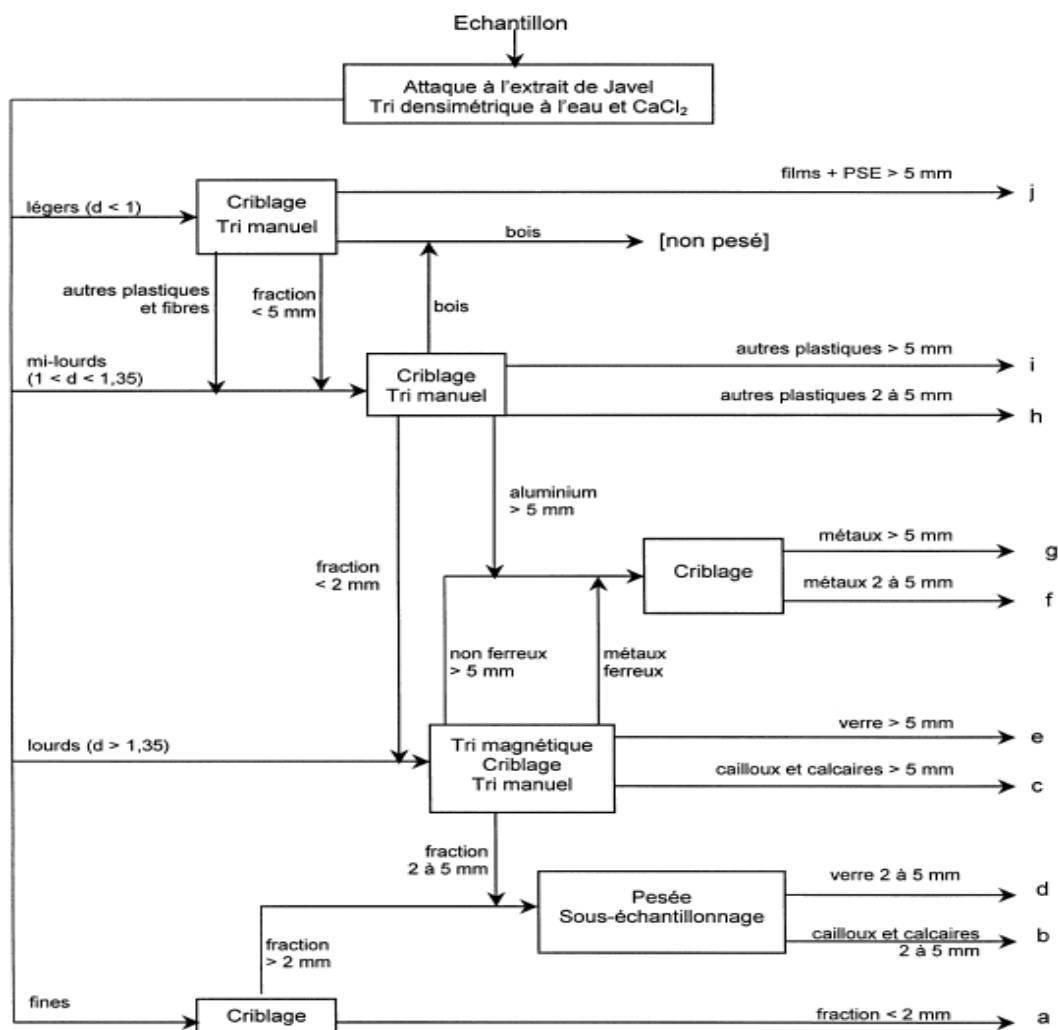


Figure 21 : Protocole d'analyse des inertes (XP U44 164 (2004)).

## II.4 Tests biologiques

Dans cette étude, deux tests de phyto-toxicité ont été utilisés. Le test de germination et le test d'indice de germination sur différentes cultures (maïs, blé, cresson, laitue) avec les composts produits à différentes périodes de la maturation et de différents granulométries, 10 mm et 40 mm.

### II.4.1 Test de germination (Organisation Mondiale de la Santé, 1978)

Ce test est basé sur le pouvoir germinatif des graines de deux plantes, maïs et blé. Il consiste à semer un même nombre (10) de graines de maïs et de blé dans des pots contenant différents pourcentages de composts et de sables. Le taux de germination est évalué par rapport au témoin (100% sable). Les différentes proportions des composts et sables sont : 100%S, 75%S+25%C, 50%S+50%C,

25%S+75%C, 100%C (S : sable et C : compost). Les différentes conditions de germination des graines de maïs et de blé sont répertoriées dans le Tableau 40.

Tableau 40: Conditions de germination des graines (maïs et blé).

Graines	Te (°C) possible de germination	Te (°C) idéale de germination	Trempage dans l'eau (Heure)	Germination (jour)
Maïs	21	21	12-20	7-8
Blé	20	20	12	2-3

#### **II.4.2 Test d'indice de germination, IG (Zacconi et al. 1981)**

Le principe consiste à placer des graines de cresson (*Lepidus Sativa*) et de laitue dans une série de boîtes de Pétri avec du papier filtre imbibé de doses croissantes d'extrait des composts parallèlement à une série témoin (sans extrait de compost). L'ensemble est placé dans une chambre de germination (incubateur) à 27°C pendant 24 heures. En fin de la germination, les graines sont comptées et les longueurs des racines sont mesurées. L'indice de germination (IG) est calculé par l'équation 7.

$$IG = (GB/GT) \times (LB/LT) \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

Avec,

IG: Indice de Germination,

GB : Nombre de graines germées dans le cas d'apport du compost,

GT : Nombre de graines germées dans le cas du traitement témoin,

LB : Longueur des racines dans le cas des apports du compost,

LT : Longueur des racines dans le cas du traitement témoin.

Les différentes doses d'extraits de compost et d'eau distillée utilisées au cours de cette expérience sont les suivantes : 100% E, 75% E+ 25% EC, 50% E+ 50% EC, 25% E+ 75% EC, 100% EC. E : Eau EC : extrait de compost.

### **II.5 Essais agronomiques sur parcelles agricoles**

Les tests agronomiques ont été réalisés sur les parcelles agricoles de la station agronomique universitaire de l'ARD El beda.

#### **II.5.1 Choix du sol**

Les critères du choix du sol pour les essais agronomiques sont :

- sol à proximité de la station agronomique ;
- sol non contaminé n'ayant reçu aucun amendement minéral depuis de nombreuses années (5 à 6 ans);
- arrosage des cultures assuré par les employés de la station ;
- station clôturée pour assurer une sécurité des cultures vis à vis des animaux ;
- disponibilité des employés de la station pour tous les travaux (ensemencement et récolte).

Remarque : Concernant la culture de la pomme de terre, une parcelle de terre de 953 m<sup>2</sup> a été divisée en mini-parcelles de 6 m<sup>2</sup> chacune. Dans le cas des navets, une parcelle de terre de 747 m<sup>2</sup> a été morcelée en mini-parcelles de 2 m<sup>2</sup> chacune.

### **II.5.2 Caractérisation du sol de la parcelle expérimentale**

L'échantillonnage du sol avant et après les essais agronomiques a été réalisé à l'aide d'une tarière le long de la diagonale de la parcelle de terre à des profondeurs de 25 cm. L'ensemble des échantillons a été mis dans un seau puis mélangé pour prendre en fin d'opération un échantillon représentatif de 500 g à 1kg du sol pour les analyses physico-chimiques.

La caractérisation physico-chimique (H%, MO%, pH, éléments fertilisants (N, P, K, Ca et ETM) avant et après ensemencement des deux cultures a été réalisée avec le même matériel et en utilisant les mêmes méthodes que celles utilisées pour la caractérisation physico-chimique des différents composts produits.

### **II.5.3 Méthodes statistique des blocs aléatoires**

#### **II.5.3.1 Description**

Les différents traitements sont au nombre de 9 avec témoin (sans compost et sans engrais minéraux).

La pomme de terre (PDT) a été ensemencée avec les composts produits en printemps 2010 (C<sub>1/10</sub> et C<sub>1/40</sub>) et ceux obtenus en été 2010 (C<sub>2/10</sub> et C<sub>2/40</sub>), le navet (NVT) a été ensemencé avec les composts produits en hiver 2011 (C<sub>3/10</sub> et C<sub>3/40</sub>) et ceux produits au printemps 2011 (C<sub>4/10</sub> et C<sub>4/40</sub>). Le Tableau 41 récapitule les différents traitements et les cultures.

Tableau 41: Répartition des traitements par mini-parcelle (Ensemencement de pomme de terre et de navet).

Blocs	Bi				Bi				Biia			
	T	M	C <sub>1/10</sub>	C <sub>1/40</sub>	M	T	C <sub>2/10</sub>	C <sub>2/40</sub>	C <sub>2/10+M/2</sub>	C <sub>2/10+C<sub>2/40</sub></sub>	C <sub>1/10+C<sub>1/40</sub></sub>	T
PDT	C <sub>2/10</sub>	C <sub>2/40</sub>	C <sub>1/10+</sub> C <sub>1/40</sub>	C <sub>2/10+</sub> C <sub>2/40</sub>	C <sub>1/10</sub>	C <sub>1/40</sub>	C <sub>1/10+M</sub>	C <sub>1/10+M/2</sub>	C <sub>1/10+M</sub>	C <sub>1/40</sub>	C <sub>1/10</sub>	C <sub>2/40+M</sub>
	C <sub>1/10+M</sub>	C <sub>1/10+M/2</sub>	C <sub>2/10+M</sub>	C <sub>2/10+M/2</sub>	C <sub>2/10+M</sub>	C <sub>2/40+M</sub>	C <sub>1/10+</sub> C <sub>1/40</sub>	C <sub>2/10+</sub> C <sub>2/40</sub>	C <sub>1/10+M/2</sub>	C <sub>2/10+M/2</sub>	C <sub>2/10+C<sub>2/40</sub></sub> +M	C <sub>2/10+M/2</sub>
	C <sub>1/10+</sub> C <sub>1/40</sub> +M	C <sub>1/10+</sub> C <sub>1/40</sub> +M/2	C <sub>2/10+</sub> C <sub>2/40+M</sub>	C <sub>2/10+</sub> C <sub>2/40+M/2</sub>	C <sub>1/10</sub> +M/2	C <sub>1/10</sub> +M/2	C <sub>2/10</sub> +M/2	C <sub>2/40</sub> +M/2	C <sub>1/10+C<sub>1/40</sub></sub> +M/2	C <sub>1/10+M</sub>	C <sub>2/10+C<sub>2/40</sub></sub> +M/2	C <sub>1/10+C<sub>1/40</sub></sub> +M
	C <sub>3/40</sub> +M	C <sub>3/40</sub> +M/2	C <sub>4/40+M</sub>	C <sub>4/40</sub> +M/2	C <sub>1/10+</sub> C <sub>1/40</sub> +M/2	C <sub>1/10+</sub> C <sub>1/40+M</sub>	C <sub>1/10+M</sub>	C <sub>1/40+M</sub>	M	C <sub>4/40</sub>	C <sub>3/10+M/2</sub>	C <sub>4/10</sub>
	T	M'	C <sub>3/10</sub>	C <sub>3/40</sub>	M'	T	C <sub>4/10</sub>	C <sub>4/40</sub>	C <sub>4/10+M'/2</sub>	C <sub>4/10+C<sub>4/40</sub></sub>	C <sub>3/10+C<sub>3/40</sub></sub>	T
NVT	C <sub>4/10</sub>	C <sub>4/40</sub>	C <sub>3/10+</sub> C <sub>3/40</sub>	C <sub>4/10+</sub> C <sub>4/40</sub>	C <sub>3/10</sub>	C <sub>3/40</sub>	C <sub>3/10</sub> +M'	C <sub>3/10</sub> +M'/2	C <sub>3/10+M'</sub>	C <sub>3/40</sub>	C <sub>3/10</sub>	C <sub>4/40+M'</sub>
	C <sub>3/10</sub> +M'	C <sub>3/10</sub> +M'/2	C <sub>4/10</sub> +M'	C <sub>4/10</sub> +M'/2	C <sub>4/10</sub> +M'	C <sub>4/40</sub> +M'	C <sub>3/10+</sub> C <sub>3/40</sub>	C <sub>4/10+</sub> C <sub>4/40</sub>	C <sub>3/10+M'/2</sub>	C <sub>4/10+M'/2</sub>	C <sub>4/10+C<sub>4/40</sub></sub> +M'	C <sub>4/10+M'/2</sub>
	C <sub>3/10+</sub> C <sub>3/40</sub> +M'	C <sub>3/10+</sub> C <sub>3/40</sub> +M'/2	C <sub>4/10+</sub> C <sub>4/40</sub> +M'	C <sub>4/10+</sub> C <sub>4/40</sub> +M'/2	C <sub>1/10</sub> +M'/2	C <sub>1/10</sub> +M'/2	C <sub>4/10</sub> +M'/2	C <sub>4/40</sub> +M'/2	C <sub>3/10+C<sub>3/40</sub></sub> +M'/2	3 <sub>1/10+M'</sub>	C <sub>4/10+C<sub>4/40</sub></sub> +M'/2	C <sub>3/10+C<sub>3/40</sub></sub> +M'
	C <sub>3/40</sub> +M'	C <sub>3/40</sub> +M'/2	C <sub>4/40</sub> +M'	C <sub>4/40</sub> +M'/2	C <sub>1/10+</sub> C <sub>1/40</sub> +M/2	C <sub>1/10+</sub> C <sub>1/40</sub> +M'	C <sub>3/10</sub> +M'	C <sub>3/40+M</sub>	M'	C <sub>4/40</sub>	C <sub>3/10+M'/2</sub>	C <sub>4/10</sub>

PDT: Pomme de terre ; NVT: Navet

Les différentes doses sont répertoriées dans le Tableau 42.

Tableau 42: Différents traitements.

Traitements	Désignation
C <sub>1/10</sub>	Compost 1 < 10 mm à la dose D
C <sub>1/40</sub>	Compost 1 < 40 mm à la dose D
C <sub>2/10</sub>	Compost 2 < 10 mm à la dose D
C <sub>2/40</sub>	Compost 2 < 40 mm à la dose D
C <sub>3/10</sub>	Compost 3 < 10 mm à la dose D
C <sub>3/40</sub>	Compost 3 < 40 mm à la dose D
C <sub>4/10</sub>	Compost 4 < 10 mm à la dose D
C <sub>4/40</sub>	Compost 4 < 40 mm à la dose D
M	Engrais minéraux NPK 15.15.15 + L'urée 46% de N
M/2	Demi-dose de M (engrais minéraux NPK 15.15.15+ urée 46% de N)
M'	Engrais minéraux NPK 15.15.15 + L'urée 46% de N
M'/2	Demi-dose de M' (engrais minéraux NPK 15.15.15+ urée 46% de N)

Doses:

D = 30 t/ha de compost

M = 10 quintaux/ha de NPK 15.15.15+ 3 quintaux/ha d'urée 46 % de N

M/2 = 5 quintaux/ha de NPK 15.15.15 + 1,5 quintaux/ha d'urée 46% de N

M' = 5 quintaux/ha de NPK 15.15.15 + 1,5 quintaux/ha d'urée 46% de N

M'/2 = 2, 5 quintaux/ha de NPK 15.15.15 + 0, 75 quintaux/ha d'urée 46% de N

L'urée 46% de N a été utilisée après la levée de la végétation.

Les apports en éléments minéraux des engrais minéraux sont classés dans le Tableau 43.

Tableau 43: Apports en éléments NPK des engrais minéraux.

Doses	N (kg N/ha)	P (kg P/ha)	K (kg K/ha)
<b>D</b>	300	300	240
<b>M</b>	150	150	150
<b>M/2</b>	75	75	75
<b>M'</b>	75	75	75
<b>M'/2</b>	37.5	37.5	37.5
<b>Urée 46%</b>	138	-	-

### II.5.3.2 Cultures

D'après la Direction des Services Agricoles (DSA) de la wilaya de Chlef (2011), la culture de la pomme de terre occupe la deuxième place après celle des céréales. Plus de 2 081 hectares situés à Boukadir, Ouled Fares, Chlef et Oued Fodda sont réservés pour cette culture. Le taux minimum de production de cette culture est de 250 quintaux/ha, la moyenne est de 350 à 360 quintaux/ha. Le maximum est de 400 quintaux/ha mais, ce maximum est obtenu avec une dose et demie d'engrais minéraux.

La famille et l'espèce de Pomme de Terre utilisé dans ce travail est LISETA A Solanum tuberosum de couleur blanche. La pomme de terre a été ensemencée en mars 2011 et récoltée en juin 2011.

Avant l'arrivée de la pomme de terre, le navet était à la base de l'alimentation. De la famille des Brassicacés, le navet est un légume de soleil, voire mi- ombre pendant l'été, il apprécie un sol frais et riche en engrais organique.

D'après la DSA de la wilaya, le navet occupe la quatrième place après la culture d'autres légumes. Le taux de récolte est de 79 quintaux/ha. Les agriculteurs de Chlef ensemencent le navet en automne. C'est pourquoi, dans cet essai, le navet a été ensemencé début de septembre 2011 et a été récolté fin novembre 2011.

## **RESULTATS ET DISCUSSIONS**





## I. ETUDE DU GISEMENT DE RESIDUS SOLIDES URBAINS DE CHLEF

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

### I.1 Caractérisation Physique

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

#### I.1.1 Ratio de production

Les taux de production de déchets au niveau des cinq zones de la commune de Chlef ont été calculés suivant une enquête réalisée pendant cette étude. Le nombre de véhicules utilisés pour la collecte dans chaque zone ainsi que le nombre de leurs rotations par jour ont permis de connaître la production journalière. Le rapport entre la production journalière et le nombre d'habitant donne le taux de production. Les valeurs de ces ratios sont consignées dans le Tableau 44.

Tableau 44: Ratio de production par zone (Direction de l'environnement de Chlef, 2011).

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

Ces résultats montrent que selon les zones, les taux de production sont variables et compris entre 0,46 et 2,12 kg/hab/j. Le ratio le plus élevé est enregistré en centre-ville, avec une population moins élevée que les autres zones. Ce résultat est dû à son caractère commercial, administratif et urbain. Le centre-ville est le chef-lieu de la wilaya, il concentre des centres

commerciaux et des administrations publiques de la wilaya, par conséquent le ratio de production 2,12 kg/hab/j n'est pas nécessairement représentatif de l'ensemble de la commune.

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

Le ratio de production des déchets de la commune de Chlef est comparable à celui d'Alger et de Biskra (Kehila et al., 2005 ; Mezouari, 2011), ce qui correspond aux ratios de plusieurs villes de différents PED, à l'exception de Nouakchott pour des raisons liées au mode de vie des habitants, comme le montre le Tableau 45.

Tableau 45 : Production journalières des déchets dans les PED.

<b>Pays</b>	<b>Ville</b>	<b>Références</b>	<b>Production déchets (kg/hab/j)</b>
Burkina Faso	Ouagadougou	Tezanou et al., 2001	0,62
Cameroun	Yaoundé	Ngnikam et Tanawa, 2006	0,85
Maroc	Casablanca	O.N.E.M, 2001	0,89
Mauritanie	Nouakchott	Alouéimine, 2006	0,21
Niger	Niamey	Ben Ammar, 2006	0,4
Togo	Lomé	Koedzi, 2011	0,91
Tunisie	Tunis	Haouaoui et Loukil, 2009	0,94

### **I.1.2 Caractérisation par taille**

La caractérisation par taille permet d'obtenir la répartition des différentes fractions. Un tri manuel a été réalisé sur les déchets humides selon trois granulométries à savoir : les gros (> 100 mm) ; les moyens (20-100 mm) et les fines (< 20 mm).

**Pour chaque zone** (est, ouest, centre-ville, nord et sud), cinq campagnes de tri ont été réalisées. Les résultats relatifs à la composition des déchets par taille (en %) sont regroupés dans la Figure 22.

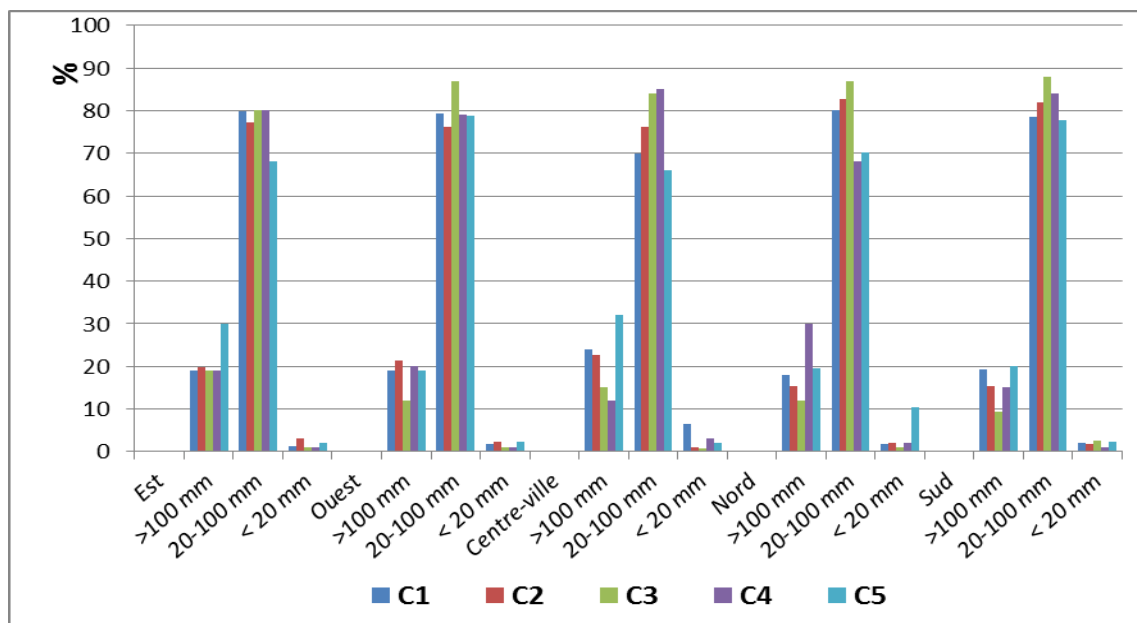


Figure 22 : Composition par taille (en %) des RSU des zones d'étude.

Les résultats montrent que les RSU des zones d'étude sont majoritairement de taille moyenne. Les fractions moyennes varient entre 66 et 88% et représentent la fraction granulométrique majoritaire. Les pourcentages les plus élevés (87 et 88%) sont enregistrés au printemps, en été 2010 et en hiver 2011 (3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> campagne) dans la zone ouest, centre-ville et sud. Les pourcentages les plus faibles (66 et 68%) sont enregistrés en hiver 2011 (5<sup>ème</sup> campagne). Le taux des gros oscille entre 12 et 30 %. Ce résultat met en évidence l'origine commerciale des RSU de certaines zones, généralement les gros déchets concernent les déchets d'emballages (papiers, cartons et plastiques).

Les déchets ont été triés à l'état brut donc humides, ce qui explique la faible valeur moyenne des composants fins, 2,3%. Selon ces résultats, la caractérisation par taille n'a pas mis en évidence de grandes évolutions saisonnières, ni de grandes variations en fonction des secteurs.

Cette répartition granulométrique permet toutefois d'avoir une idée précise sur le mode et le type de tri à instaurer en aval de la collecte et du transport des déchets de la commune de Chlef.

**Pour chaque campagne** (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>), cinq échantillons ont été sélectionnés et triés. Les résultats relatifs à leur composition (en %) par taille sont regroupés dans la Figure 23.

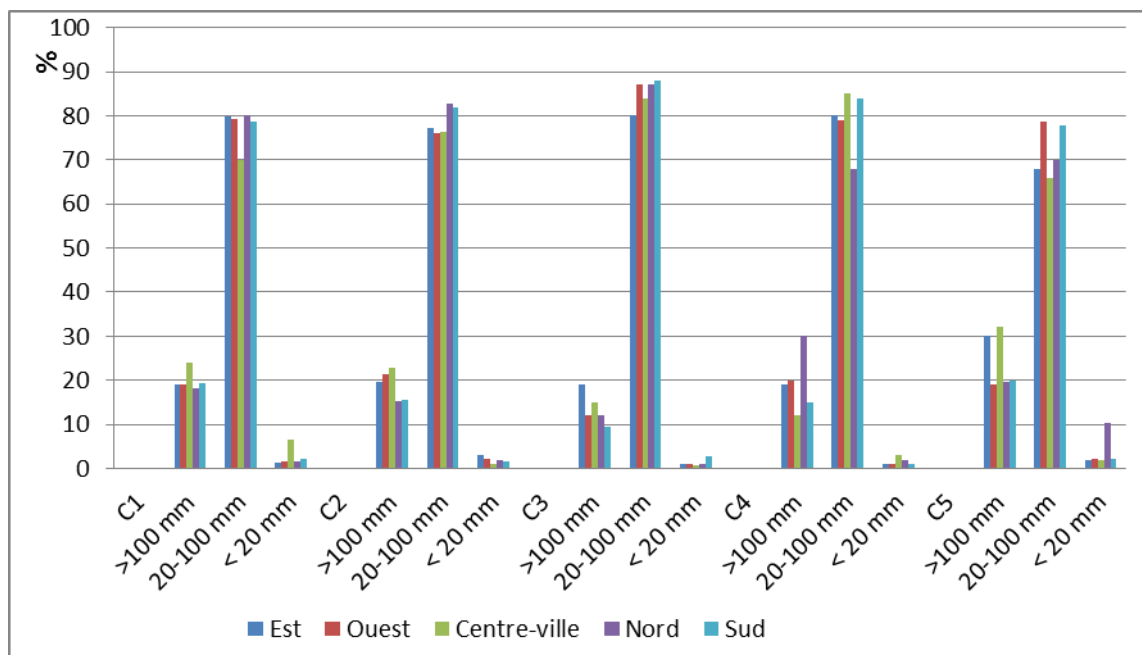


Figure 23 : Composition en % par taille des RSU des cinq campagnes.

Les déchets de taille moyenne restent toujours prédominants pour les cinq campagnes. Pendant la campagne 3, les déchets de taille moyenne sont supérieurs à 80% dans toutes les zones. Pendant la quatrième campagne, ces déchets varient entre 65% et 85% dans les zones, alors que, les plus faibles pourcentages sont enregistrés pendant la campagne 5. Parce que les déchets renferment un pourcentage élevé en putrescibles, ces derniers sont majoritairement de taille moyenne.

### I.1.3 Caractérisation par catégorie

La caractérisation des déchets par catégories en pourcentage, selon les saisons et les zones est présentée dans les Tableaux 46 (pour le printemps), 47 (pour l'été) et 48 (pour l'hiver).

Tableau 46 : Composition des déchets en catégories et sous-catégories (en % de la masse humide), selon le printemps 2010 et les zones d'étude.

<b>Campagne 1 (11-15 avril 2010)</b>						
<b>Zone</b>		<b>Centre-ville</b>	<b>Sud</b>	<b>Est</b>	<b>Nord</b>	<b>Ouest</b>
<b>Catégories</b>	<b>Sous-catégories</b>	<b>%</b>				
<b>Putrescibles</b>		53,2	64,6	56,8	60	60,9
<b>Papiers</b>		5	3,4	3,7	3	4,6
<b>Cartons</b>		4,4	2,6	8,1	7,1	3,7
<b>Composites</b>		2,5	1,8	1,5	2,2	2,6
<b>Textiles</b>		5,3	2,1	3,2	2	3,2
<b>Textiles sanitaires</b>		3,7	6,7	7,6	7,5	8,3
<b>Plastiques</b>	<b>Films</b>	6,4	8	6,6	6,2	7,5
	<b>Bouteilles en PET</b>	2,2	1,8	4,1	3,5	2,5
	<b>Bouteilles en PVC</b>	1,5	0,5	0,2	0	0,3
<b>CNC</b>		1,3	0,2	0,7	0,9	0,1
<b>verre</b>		0,7	1,3	3	3,3	0,5
<b>Métaux</b>	<b>Métaux ferreux</b>	2	1,9	1,5	0,9	1
	<b>Métaux non ferreux</b>	0,9	0,6	0,5	0,7	0,7
<b>INC</b>		2	1,5	0,7	0,6	1
<b>Déchets dangereux</b>		0,7	1	0,5	0,4	1,3
<b>Fins (&lt; 20 mm)</b>		8,2	2	1,3	1,7	1,8
<b>Campagne 2 (22-26 mai 2010)</b>						
<b>Putrescibles</b>		55,4	61,2	57,7	54,3	53,6
<b>Papiers</b>		4,9	4,7	1,8	3,3	5,8
<b>Cartons</b>		7,2	5,6	7,7	4,6	7,4
<b>Composites</b>		1,8	1,1	1,5	1,2	2,4
<b>Textiles</b>		3,6	1	2,7	2,6	2,1
<b>Textiles sanitaires</b>		8,4	8,2	6	14,1	9,8
<b>Plastiques</b>	<b>Films</b>	5,4	6,9	8,2	6,2	7,8
	<b>Bouteilles en PET</b>	3,5	2,4	2,3	3	3,3
	<b>Bouteilles en PVC</b>	0,3	0,8	0	0	0,1
<b>CNC</b>		0,2	0,8	0,5	1,4	0,3
<b>verre</b>		5,2	1,9	3,9	2,4	1,1
<b>Métaux</b>	<b>Métaux ferreux</b>	1	2	1,5	1,9	1
	<b>Métaux non ferreux</b>	0,2	0,6	0,6	0,7	0,5
<b>INC</b>		1,4	0,8	0,6	1,4	1,9
<b>Déchets dangereux</b>		0,5	0,3	3,1	1	0,6
<b>Fins (&lt; 20 mm)</b>		1	1,7	1,9	1,9	2,3
		100	100	100	100	100

Tableau 47 : Composition des déchets en catégories et sous-catégories (en % de la masse humide), selon l'été 2010 et les zones d'études.

<b>Campagne 3 (22 -26 juin2010)</b>						
<b>Zone</b>		<b>Centre-ville</b>	<b>Sud</b>	<b>Est</b>	<b>Nord</b>	<b>Ouest</b>
<b>Catégories</b>	<b>Sous-catégories</b>	<b>%</b>				
<b>Putrescibles</b>		64,6	74,3	60,1	73,7	77,2
<b>Papiers</b>		2,5	3,2	1,8	3,2	1,2
<b>Cartons</b>		4,9	2	7,5	3,7	3,8
<b>Composites</b>		2,4	1,5	1,5	1,3	1
<b>Textiles</b>		2	1,8	1,3	1,6	1,2
<b>Textiles sanitaires</b>		5,9	5,2	7,5	5,5	4,8
<b>Plastiques</b>	<b>Films</b>	8,9	6,7	6,9	6,4	4,7
	<b>Bouteilles en PET</b>	2,3	1,7	2,9	1,5	1,7
	<b>Bouteilles en PVC</b>	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1
<b>CNC</b>		0,3	0,1	0,2	0,1	0,3
<b>verre</b>		2,9	1,2	4,9	0,7	2,1
<b>Métaux</b>	<b>Métaux ferreux</b>	1	0,4	2	0,5	0,8
	<b>Métaux non ferreux</b>	0	0,2	0,7	0,2	0,2
<b>INC</b>		1,2	0,2	0,2	0,3	0,5
<b>Déchets dangereux</b>		0,3	0,6	0,4	0,6	0,1
<b>Fins (&lt; 20 mm)</b>		0,7	0,5	1,9	0,6	0,3
		100	100	100	100	100
<b>Campagne 4 (3-10 juillet 2010)</b>						
<b>Putrescibles</b>		73,2	72	74,6	74,3	75,8
<b>Papiers</b>		2,1	1,3	1,7	1,2	0,7
<b>Cartons</b>		2,5	2,6	1,9	6	6,6
<b>Composites</b>		1,6	1,6	1,5	1,1	0,9
<b>Textiles</b>		1,3	1,8	3,2	1,4	1,9
<b>Textiles sanitaires</b>		6,3	6,4	4,4	6,2	5,2
<b>Plastiques</b>	<b>Films</b>	7,7	7,1	7,8	5,3	5,1
	<b>Bouteilles en PET</b>	1,2	2,2	1,7	1,2	1
	<b>Bouteilles en PVC</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0
<b>CNC</b>		0	0,2	0,3	0	0,3
<b>verre</b>		1,9	2,2	0,7	1	0,4
<b>Métaux</b>	<b>Métaux ferreux</b>	0,5	0,6	0,4	0,4	0,6
	<b>Métaux non ferreux</b>	0,2	0,3	0,2	0	0,1
<b>INC</b>		0,2	1,1	0,2	0,6	0,8
<b>Déchets dangereux</b>		0,4	0,4	0,8	0,1	0,2
<b>Fins (&lt; 20 mm)</b>		0,8	0,1	0,5	1,1	0,4
		100	100	100	100	100

Tableau 48 : Composition des déchets en catégories et sous-catégories (en % de la masse humide), en hiver et selon les zones d'étude.

Campagne 5 (28 février-5 mars 2011)						
Zone		Centre-ville	Sud	Est	Nord	Ouest
Catégories	Sous-catégories	%				
<b>Putrescibles</b>		58,4	72	67	64,4	70,8
<b>Papiers</b>		4,2	1	3	0,7	1,7
<b>Cartons</b>		3,2	1,1	3,3	1,4	3,3
<b>Composites</b>		3,3	3,8	2,7	2,1	2,9
<b>Textiles</b>		1,7	2,5	2,5	1,7	1,6
<b>Textiles sanitaires</b>		14,8	11	11	10,6	7,8
<b>Plastiques</b>	<b>Films</b>	1,6	0,8	2,8	0,3	0,7
	<b>Bouteilles en PET</b>	3,5	3	0,3	2,9	5,1
	<b>Bouteilles en PVC</b>	2,7	0,3	2,7	0,3	0,8
<b>CNC</b>		1,0	0,2	0,9	0,2	0,5
<b>verre</b>		1,2	0,7	0,7	1,3	0,7
<b>Métaux</b>	<b>Métaux ferreux</b>	1,4	1,3	0,9	0,5	0,5
	<b>Métaux non ferreux</b>	0,0	0	0,1	0	0,1
<b>INC</b>		1,0	0,4	0,2	3,4	1,4
<b>Déchets dangereux</b>		0,7	0,5	0,6	0,2	0,5
<b>Fins (&lt; 20 mm)</b>		1,0	1,4	1,3	10	1,6
		100	100	100	100	100

Conformément au protocole MODECOM (1993) de la caractérisation physique des déchets, ces derniers ont été triés en 13 catégories : putrescibles, papiers, cartons, composites, textiles, textiles sanitaires, plastiques, combustibles non classés CNC, verres, métaux, inc combustibles non classés INC, déchets dangereux et les fines, et en 5 sous-catégories : 3 pour le plastique (films, bouteilles en PET et bouteilles en PVC) et 2 pour les métaux (ferreux et non ferreux).

Les résultats consignés dans le tableau 21 montrent que les déchets échantillonnés sont constitués essentiellement de *putrescibles* avec un pourcentage de 53,2% à 75,8 %. Ces résultats indiquent une variation saisonnière des putrescibles dans les zones d'étude. Au printemps (campagnes 1 et 2), les taux des putrescibles varient entre 53,6 et 77,2%, ceux de l'été (campagnes 3 et 4), oscillent entre 60 et 75,8%, mais leur taux en hiver (campagne 5) est de 58,4 à 70,8%. Ces variations sont dues au régime alimentaire des populations de la commune, qui est basé essentiellement sur la consommation de fruits et légumes pendant les quatre saisons. Dans toutes les zones d'étude, le taux des putrescibles est élevé en été par rapport aux autres saisons car, pendant cette période, les fruits et les légumes renferment beaucoup d'eau (pastèques, melons, tomates et oignons), ce qui explique ces importants pourcentages. Cette tendance se répète en hiver 2011 (5<sup>ème</sup> campagne). Cette fraction organique représente la fraction la plus importante des déchets et, on peut comprendre que

l'on puisse la valoriser au lieu de l'enfouir dans des CET ou dans des décharges sauvages. Cette fraction des putrescibles dans la commune de Chlef est comparable à celles d'autres villes algériennes où le pourcentage est de 57% à Alger en 2007, de 74% à Blida en 2004, de 70% à Constantine en 2005, de 76% à M'sila en 2003, de 72% à Chlef en 2006 et de 67% à Oran en 2001. Les pourcentages des putrescibles restent constants au cours du temps. Cette proportion de putrescibles dans les RSU générés dans la commune de Chlef est semblable à celles obtenues dans d'autres pays africains (Burkina-Faso, l'Égypte, Maroc et Tunisie) et d'autres pays d'Asie ou du Moyen Orient (Syrie et Jordanie). Elle demeure toujours très supérieure à celle obtenue dans les PD (Allemagne, France, Turquie et Grèce). D'après Campan (2007), cette variabilité de composition en % des putrescibles permet de comprendre le régime alimentaire des populations.

Les deux années d'échantillonnage et de tri ont montré que les *plastiques* occupent par ordre d'importance la deuxième catégorie en pourcentage après les putrescibles. Le taux de cette catégorie varie de 3,5% en hiver (5<sup>ème</sup> campagne) dans la zone nord et 11,3% en été (3<sup>ème</sup> campagne) dans le centre-ville. Pour les emballages de type PET considéré comme un produit d'emballage plus résistant et donc de meilleure qualité, le pourcentage est relativement constant entre 1 et 2,9% en été, il varie entre 1,8 et 4,1% au printemps 2010 et en hiver 2011, il varie entre 0,3% et 5,1% alors que, le taux des films en plastiques balance entre 5,4% dans le centre-ville et 8% dans la zone Sud au printemps. En été, il varie de 4,7% dans la zone Ouest et 8,9% dans le Centre-ville et en hiver, il oscille entre 0,3% dans le Nord et 2,8% dans la zone Est. Ces variations sont dues à l'hétérogénéité des espaces urbains dans les différentes zones. La présence de cette catégorie dans les déchets des zones d'étude pendant les deux années de caractérisation peut être expliquée par le faible taux de récupération et de valorisation de cette catégorie.

Les compositions en % des *papiers-cartons* varient peu pendant les deux années de tri et caractérisation physique des déchets. L'analyse des pourcentages en papier et carton durant les 5 campagnes, montre qu'il n'y a pas d'évolution sensible du fait que la source potentielle de ce matériau est liée à l'activité administrative, commerciale et industrielle. La production de ce matériau par les ménages reste faible.

Le pourcentage de *papiers* varie de 1,8% jusqu'à 7,8% en printemps alors qu'il varie de 0,7% à 3,2% en été et pendant la deuxième année en hiver. Le pourcentage de papier varie peu d'une saison à une autre, il varie de 0,7% à 3,4%. On peut l'expliquer par le manque d'affinité des habitants pour la presse locale, les journaux et les magazines en général, en partie à cause



du coût. Mais, le tri à la source et la récupération par le secteur informel spécialisé peuvent aussi l'expliquer.

Le pourcentage de *cartons* est relativement constant au printemps et en été, par contre, il est faible en hiver (5<sup>ème</sup> campagne).

Le pourcentage des papiers-cartons dans les zones d'étude est relativement variable par rapport à ceux obtenus dans certaines villes algériennes. Il s'inscrit dans la gamme des variations des pourcentages de ce matériau obtenus dans d'autres PED, comme le montre le Tableau 49.

Tableau 49 : Composition globale des papiers-cartons dans certaines villes algériennes comparée à celles de quelques villes africaines.

Villes algériennes	Alger <sup>(1)</sup> 2007	Blida <sup>(5)</sup> 2004	Biskra <sup>(2)</sup> 2009	Chlef <sup>(7)</sup> 2006	Constantine <sup>(4)</sup> 2005	M'sila <sup>(6)</sup> 2003	Oran <sup>(3)</sup> 2001
Papiers-cartons (%)	8	7	8	7	10	6	8
PED	Algérie <sup>(8)</sup>	Burkina-Faso <sup>(9)</sup>	Egypte <sup>(10)</sup>	Maroc <sup>(11)</sup>	Mauritanie <sup>(12)</sup>	Tunisie <sup>(13)</sup>	
Papiers-cartons (%)	9	2	10	8	6	9	

(1, 2) Mezouari, (2011) ; (3) Tabet, (2001) ; (4) Redjal, (2005) ; (5) Rapport sur l'état de l'environnement en Algérie, (2000) ; (6) Naghel, (2003) ; (7) Bureau d'hygiène de Chlef au niveau de l'APC, (2009) ; (8) Kehila et al. (2010) ; (11) Bouchareb, (2010), ; Labidi, (2010) ; (13), (12) Mohamed Elmokhtar, (2010) ; (10) METAP, (2004) ; (9) Alouiemine, (2006).

Le pourcentage de *textiles* varie entre 1% et 5,3%. Ce déchet peut être déposé et collecté séparément pour le mettre à la disposition de la population dans l'intention de le valoriser comme vêtements d'occasion pour les personnes nécessiteuses.

Le taux élevé de *textiles sanitaires* varie entre 9,8% et 14% d'une saison à une autre. Ce constat est dû à leur forte teneur en eau. Ce déchet est composé généralement de couches bébés et couches adultes gorgées de liquide

Les résultats du tri des *verres* de différents origines (bouteilles de boissons gazeuses, débris de verre, .....etc.) ont montré que le taux varie de 0,5% à 5,2% pendant le printemps 2010, entre 0,4% et 4,9% en été 2010 et entre 0,7 et 1,3% en hiver. Ces faibles taux sont en accord avec deux constats:

- le verre dans les déchets est sous forme de petits morceaux et font partie des fines ;
- les bouteilles sont réutilisables par la population.

Le pourcentage le plus élevé est de 5,2%, il est relativement faible mais il peut constituer une source d'économie considérable puisqu'il est le seul matériau infiniment recyclable qui ne perd pas ses qualités intrinsèques. Sa mise en décharge est une aberration.

La composition des *métaux* est constante pour les cinq campagnes; les taux en métaux ferreux ne dépassent pas 2% durant les deux années de caractérisation et dans les cinq zones d'étude. Ils sont faibles, ce qui est logique compte tenu de leur tri à la source et de leur collecte par le secteur informel.

Les résultats de caractérisation pendant les deux années montrent que les taux des  *fines* varient entre 0,1% et 10,2%. Ce constat s'explique par l'humidité des déchets bruts qui fixe les fines sur la fraction moyenne et la présence de certains aliments secs périmés dans les déchets (ris, lentilles, haricots....etc.). De même, les fines sont composées de petits cailloux, de graviers, de bois et de déchets verts conséquence du dépôt des déchets de voirie municipale dans les bacs réservés aux déchets ménagers.

## **I.2 Caractérisation chimique**

Dans le cadre de cette étude, les teneurs en humidité et en matière organique mesurées sont celles des putrescibles, des papiers, des cartons et des fines susceptibles d'être compostés. La connaissance et le suivi des teneurs en eau et en matière organique, H% (/MB) et MO% (/MS), de ces matériaux sont essentiels afin d'estimer le potentiel de leur valorisation sous la forme de compost.

Il est important de mentionner que ces valeurs d'humidité mesurées après le tri ne représentent pas les valeurs initiales. Les déchets perdent de l'eau pendant leur stockage dans les bacs, pendant leur collecte et au cours de leur transport vers le CET.

### **I.2.1 Humidité, H%**

Les teneurs en eau des déchets sont des données très importantes dans le choix du procédé de traitement. Les mesures ont concerné les catégories susceptibles de fixer l'eau (putrescibles, papiers, cartons et matières fines) pendant les différentes campagnes dans les zones d'étude. Les résultats d'analyse de l'humidité sont classés dans le Tableau 50.

Tableau 50 : Teneur en eau de différentes catégories, selon les campagnes et les zones d'étude.

Zones d'études	Catégories	1 <sup>ère</sup> campagne	2 <sup>ème</sup> campagne	3 <sup>ème</sup> campagne	4 <sup>ème</sup> campagne	5 <sup>ème</sup> campagne
		11-15 avril 2010	22-26 mai 2010	22 -26 juin2010	3-10 juillet 2010	28 février-5 mars 2011
		%H/MB				
Ouest	Putrescibles	76,7	80,7	68,7	71,5	77,6
	Papiers	29,8	30,1	64,7	66,7	76,9
	Cartons	38,1	35,5	55,8	56,1	65,1
	Fins	52,9	60,7	69,7	59,4	66,1
Centre-ville	Putrescibles	82,8	74,9	89,2	72,3	87,3
	Papiers	50	39,8	60,5	51,1	65,3
	Cartons	20	33,7	54,6	43,7	68,5
	Fins	53,5	36,3	56,9	58,1	52,3
Est	Putrescibles	82,2	65,4	83,2	73,7	85
	Papiers	35,5	43,3	55	46,4	66,3
	Cartons	30,5	36,6	56	52,7	56,5
	Fins	30	61	50,3	63,9	72
Nord	Putrescibles	80,7	68,1	74,9	73,6	79,5
	Papiers	30,3	30,1	49,1	46,7	58,4
	Cartons	35,5	20,9	57,8	45,7	65,8
	Fins	60,7	53	17,1	69,5	37,7
Sud	Putrescibles	72,9	74,2	82,7	67,7	87,4
	Papiers	35,5	25	51,4	58,7	66,4
	Cartons	45,5	47,4	55,3	56,6	60,7
	Fins	41,5	44,1	40	44,1	68,3

Les résultats d'analyse ont mis en évidence une différence d'humidité en fonction de la saison. En hiver, la pluviométrie est importante donc les teneurs en humidité des différentes catégories sont importantes par rapport à celles mesurées en été et au printemps. Les teneurs en eau des putrescibles sont les plus élevées, ces résultats sont en relation avec la quantité importante de putrescibles contenue dans les déchets de chaque zone.

La teneur en eau des déchets de la commune de Chlef est élevée, elle atteint les 87% pour les putrescibles dans la zone sud et en centre-ville en hiver, 76,9% pour les papiers dans la zone ouest en hiver, 68,5% pour les cartons dans le centre-ville pendant la 5<sup>ème</sup> campagne, 68% pour les fines dans le sud en hiver. Ces résultats sont semblables à ceux de la commune de Chlef (Tahraoui Douma, 2006) où la teneur en eau était de l'ordre de 70-80% pour les putrescibles, 50-60% pour les papiers-cartons et 60% pour les fines. Ces valeurs sont aussi comparables à celles des déchets d'Alger (Mezouari, 2011), où l'humidité est de l'ordre de 74% pour les putrescibles, 54 % pour les papiers-cartons, 41 % et 66 % pour les fines, et à

ceux de Biskra (Mezouari, 2011), dont la teneur en eau est de 84 % pour les putrescibles, 61% pour les papiers - cartons et 64 % pour les fines. De même, ces résultats sont comparables à ceux obtenus pour les déchets du grand Tunis (Ben Ammar, 2006) en hiver où l'humidité est de l'ordre de 79% pour les putrescibles et de 63,3% pour les papiers-cartons.

### **I.2.2 Matière organique (MVS par la perte au feu), %MO/MS**

L'objectif visé par la mesure de la matière organique est la connaissance des apports en matière organique des différentes catégories de déchets (putrescibles, papiers, cartons et fines) valorisables par compostage (Ben Ammar, 2006). D'après, Kelly (2002), l'aptitude à la biodégradation d'un déchet est fonction de sa teneur en MO biodégradable qui peut en première approximation être approchée par la perte au feu (ou %MV). Kelly (2002), considère qu'un déchet est stabilisé pour une valeur en MO comprise entre 10% et 20%. Or, d'après les résultats de cette étude, la teneur en MO des putrescibles des cinq zones sont toujours supérieurs à 60% ou à 70% (sauf cas exceptionnel). Ces résultats montrent que les déchets sont dans un état peu dégradé, ce qui s'explique par leur collecte quotidienne par les services municipaux 51).

Tableau 51 : Teneur en matière organique en % des différentes catégories, selon les saisons et les zones d'études.

Zones d'études	Catégories	1 <sup>ère</sup> campagne	2 <sup>ème</sup> campagne	3 <sup>ème</sup> campagne	4 <sup>ème</sup> campagne	5 <sup>ème</sup> campagne
		11-15 avril 2010	22-26 mai 2010	22 -26 juin2010	3-10 juillet 2010	28 février-5 mars 2011
		%MO/MS				
<b>Ouest</b>	Putrescibles	77,2	75	78,9	83,3	81,7
	Papiers	81,8	85,2	82,1	89,5	79,0
	Cartons	76,4	81,9	80,3	81,9	79,4
	Fins	59,7	57,8	67,9	68,7	76,8
<b>Centre-ville</b>	Putrescibles	88,2	83,8	79,4	81,3	78,9
	Papiers	79,8	86,1	80,4	86,7	79,0
	Cartons	77,9	80,6	79,1	83,3	75,6
	Fins	76,6	44,2	54,8	63,6	58,8
<b>Est</b>	Putrescibles	79,5	84,5	61,7	68,5	76,5
	Papiers	80,3	86,9	68,5	63,6	78,4
	Cartons	79,4	80,8	83,8	79,5	75,9
	Fins	82,5	63,6	40,4	72	61,5
<b>Nord</b>	Putrescibles	80,9	75	73	84,7	69,2
	Papiers	72,3	70,9	86,0	80,5	84,1
	Cartons	82,7	79,2	79,3	84,7	79,6
	Fins	56,9	57,9	67,3	77,7	62
<b>Sud</b>	Putrescibles	81,7	83,7	29,1	81,2	79,8
	Papiers	84,6	63,2	69,4	81,1	56,7
	Cartons	76,2	82,8	76,5	83,2	83,7
	Fins	46,3	83,5	11,6	19,4	77,9

Les mesures de ce paramètre montrent que les putrescibles ont des valeurs élevées en matière organique, 83% dans l'ouest en été, 88% dans le centre-ville au printemps, 84,5% dans la zone est au printemps, 84,7% dans la zone nord en été et 83,7% dans la zone sud au printemps. Ces résultats montrent que la majorité de la masse des putrescibles renferme des fruits et légumes, des restes de nourriture et des débris de jardinage.

Aussi, ces résultats montrent que, la teneur de la MO des papiers varie entre 56,7% et 89,5% et celle des cartons atteint près de 84,7%. Celle des fines est supérieure à 50% pendant les différentes saisons mis à part quelques exceptions où les fines ne renferment pas de

putrescibles, ce qui montre que, la teneur en MO des catégories étudiées n'est pas fonction des saisons.

Ces résultats sont comparables à ceux d'Alger, où la teneur de MO des déchets varie entre 58% et 86% (Mezouari, 2011), à ceux du grand Tunis (Ben Ammar, 2006), qui ont une teneur de 93% en printemps et 89, 6% en été. Aussi, ils sont comparables à ceux obtenus dans l'île Maurice (Mohee, 2002), où la teneur en MO des déchets est de 85% et à ceux de Tanzanie (Mbuligwe et Kassenga, 2004), où la teneur en MO est de 80%. Néanmoins, ces teneurs restent élevées vis à vis de celles obtenues en France (François, 2004) avec une teneur de 59%. Aux Etats-Unis, la valeur moyenne en MO est de 52% (Tchobanoglous et al. 1993) et à Nouakchott en Mauritanie, elle varie entre 35,6% et 58% (Aloueimine, 2006).

### **I.3 Bilan**

#### **I.3.1 Statistiques : moyenne et écart type**

En statistiques l'écart type mesure la dispersion d'une série de valeurs autour de leur moyenne.

Si la moyenne est calculée par la formule 8:

$$x = \frac{1}{n} + \sum_i xi \dots \dots \dots (8)$$

**Par** définition l'écart-type est la moyenne quadratique des écarts à la moyenne x.

On le note  $\sigma$ .

Le calcul est donné par l'équation mathématique 9 :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (xi - x)^2 \dots \dots \dots (9)}, \text{ avec } n= 5$$

La moyenne et l'écart type de tous les résultats du tri pendant les 5 campagnes sont classés dans le Tableau 52.

Tableau 52: Moyennes et écarts type de tous les résultats du tri pour les différentes catégories et sous catégories.

Campagnes		1		2		3		4		5	
		11-15 avril 2010		22-26 mai 2010		22 -26 juin2010		3-10 juillet 2010		28 février-5 mars 2011	
Catégories	Sous-catégories	x <sub>1</sub>	σ <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	σ <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	σ <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	σ <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	σ <sub>5</sub>
Putrescibles		59,1	4,3	56,44	2,8	70,0	7,3	74,0	1,4	66,5	5,4
Papiers		3,9	0,8	4,1	1,5	2,4	0,9	1,4	0,5	2,1	1,5
Cartons		5,2	2,3	6,5	2,4	4,4	2,0	3,9	2,2	2,5	1,1
Composites		2,1	0,5	1,6	0,6	1,5	0,5	1,3	0,3	3,0	0,6
Textiles		3,2	1,3	2,4	0,9	1,6	0,3	1,9	0,8	2,0	0,5
Textiles sanitaires		6,8	1,8	9,3	3,0	5,8	1,0	5,7	1,3	11,1	2,5
Plastiques	Films	6,9	0,8	6,9	1,1	6,7	1,5	6,6	1,3	1,2	1,0
	Bouteilles en PET	2,8	1,0	2,9	0,5	2,0	0,6	1,5	0,5	3,0	1,7
	Bouteilles en PVC	0,5	0,6	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	1,4	1,3
CNC		0,6	0,5	0,64	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2	0,6	0,4
Verre		1,8	1,3	2,9	1,6	2,4	1,7	1,2	0,8	0,9	0,3
Métaux	Métaux ferreux	1,5	0,5	1,48	0,5	0,9	0,6	0,5	0,1	0,9	0,4
	Métaux non ferreux	0,7	0,1	0,52	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1
INC		1,2	0,6	1,22	0,5	0,5	0,4	0,6	0,4	1,3	1,3
Déchets dangereux		0,8	0,4	1,1	1,1	0,4	0,2	0,4	0,3	0,4	0,3
fines		3,0	2,9	1,76	0,5	0,8	0,6	0,6	0,4	3,1	4,0

Les résultats de ce calcul de moyenne et d'écart type des putrescibles montrent que cette catégorie reste prédominante pendant les deux ans d'expérimentation dans les zones d'étude. L'écart type des putrescibles de la campagne 5 est le plus faible. Il est de l'ordre de 1,4; ce qui signifie que le pourcentage le plus probable est autour de 74% dans les zones d'étude.

L'écart type le plus faible des plastiques est de 1,8 donc, le pourcentage moyen le plus probable de cette catégorie se situe dans l'intervalle 65,2±4,2%.

Pour les papiers-cartons, l'écart type le plus faible est de l'ordre de 2,6; ce qui montre que le pourcentage moyen le plus probable de ces matériaux est dans l'intervalle 5±1,4%.

Le pourcentage des composites est faible devant le taux des autres matériaux. Les calculs montrent que les produits alimentaires contenus dans ce matériau sont moins consommés par la population des zones d'études.

Le pourcentage en matière fine à Chlef oscille entre  $0,6\% \pm 0,4\%$  et  $3,1\% \pm 4,0\%$ .

La comparaison de cette production avec celle d'un pays développé comme la France (ADEME, 2000) permet les constats suivants :

3 fois plus de putrescibles ( $74\% \pm 1,4\%$  contre  $28,8\%$ ) ;

2 fois moins de déchets d'emballage ( $20,6\% \pm 5,8\%$  contre  $36,4\%$ ) ;

4 fois moins de verre ( $2,4\% \pm 1,7\%$  contre  $13,1\%$ ) ;

2 fois moins de métaux ( $2,4\% \pm 0,6\%$  contre  $4,1\%$ ) ;

4 fois plus de textiles sanitaires ( $11,1\% \pm 2,5\%$  contre  $3,1\%$ ) ; autant de textiles ( $3,2\% \pm 1,3\%$  contre  $2,6\%$ ).

### I.3.2 Classification des déchets en termes de valorisation par compostage et par recyclage

Les possibilités de valorisation de quelques catégories spécifiques par compostage ou par recyclage sont des objectifs de cette caractérisation physico-chimique menée dans la commune de Chlef.

Les résultats de cette caractérisation montrent que certaines catégories comme les putrescibles, les papiers, les cartons, les plastiques, les textiles, les métaux et le verre peuvent être valorisés. Bien que les papiers et cartons soient valorisables par recyclage, leurs teneurs en eau et en MO sont telles qu'ils peuvent être comptabilisés dans le gisement des compostables. L'analyse du gisement des catégories de déchets valorisables par recyclage se limitera aux plastiques, métaux, textiles et verres.

#### I.3.2.1 Déchets valorisables par compostage

L'estimation des déchets valorisables par compostage par saison et par zone est schématisée dans les Figures 24, 25 et 26.

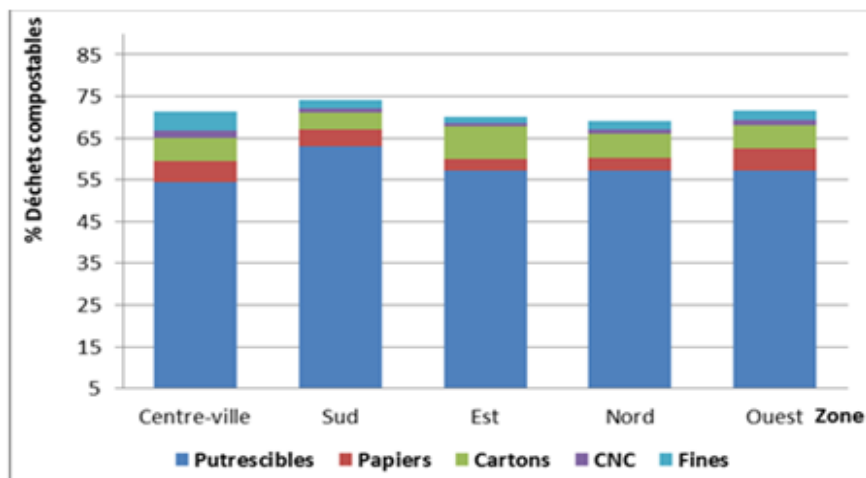


Figure 24 : Estimation des pourcentages de RSU valorisables par compostage, selon C1, C2 et les zones d'études.



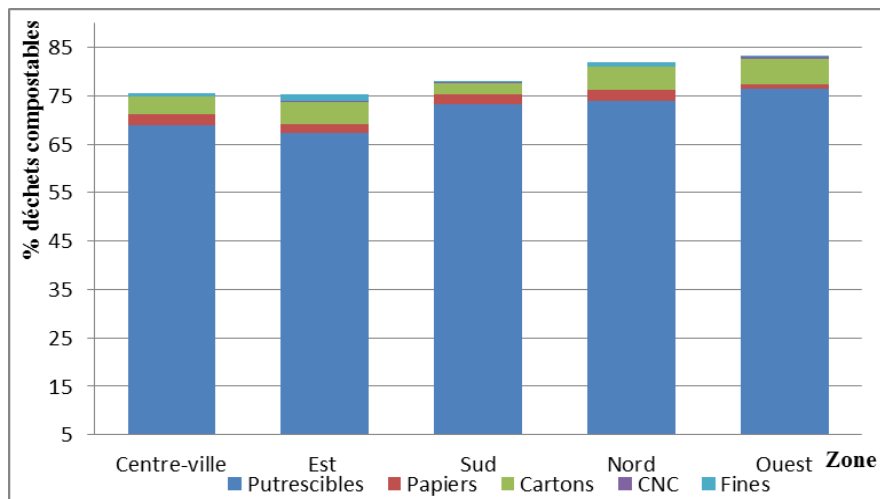


Figure 25: Estimation des pourcentages de RSU valorisables par compostage, selon C3, C4 et les zones d'étude.

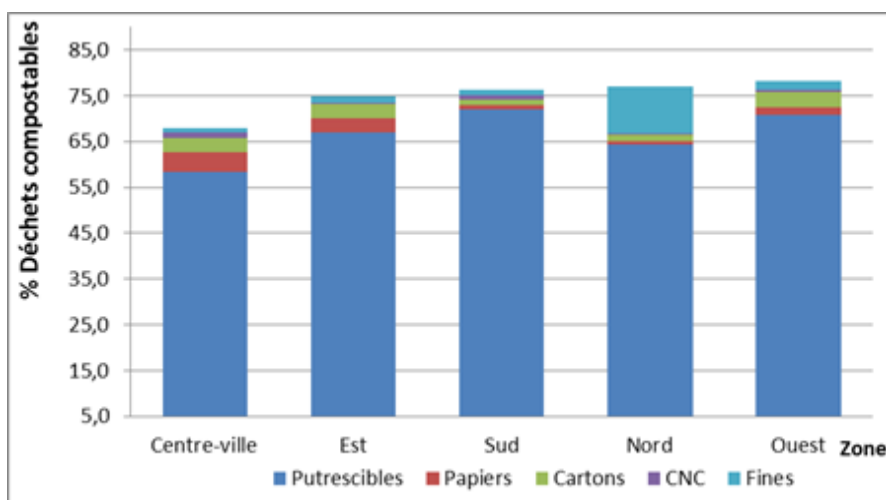


Figure 26: Estimation des pourcentages de RSU valorisables par compostage, selon C5 et les zones d'études.

Les résultats de la caractérisation physico-chimique des RSU de la commune de Chlef permettent de formuler les possibilités pour les choix de traitement de ces déchets. Ces estimations montrent que,

- au printemps, le pourcentage maximum (71%) des déchets compostables est enregistré dans le centre-ville et le taux minimum (67,5%) est enregistré dans la zone sud de la commune ;
- en été, le plus grand pourcentage des déchets valorisables par compostage est de 84% dans la zone ouest de la commune ;
- en hiver, le pourcentage des composants compostables varie entre 68 et 78%.

Les teneurs en eau et les teneurs en matière organique ont montré que les putrescibles, papiers, cartons et fines sont aptes à une valorisation par compostage. La valorisation en

compost des putrescibles, des papiers, des cartons et des composants fins est une voie réaliste et réalisable dans certaines conditions. En se basant sur la production journalière dans la commune de Chlef qui est de 120 t/j, la quantité des déchets compostables varie entre 81,6 t/j à 100,8 t/j. Ce gisement important évitera dans les CET, la génération de grands volumes de lixiviat et le dégagement des gaz à effet de serre. La filière compostage contribuera à l'amélioration de la gestion des déchets et à la fertilisation des sols.

### I.3.2.2 Déchets valorisables par recyclage

Les résultats de l'estimation des déchets valorisables par recyclage sont donnés par les Figures 27 (au printemps), 28 (en été) et 29 (en hiver), selon les zones d'étude.

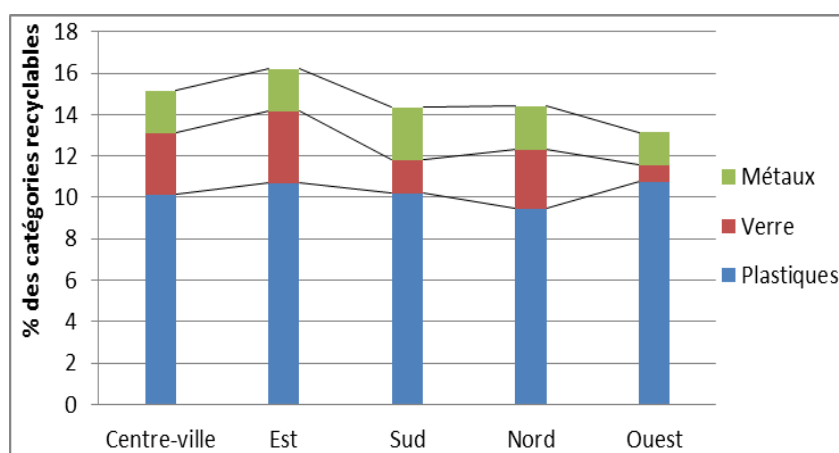


Figure 27: Estimation des pourcentages de RSU recyclables, selon C1, C2 et les zones d'étude.

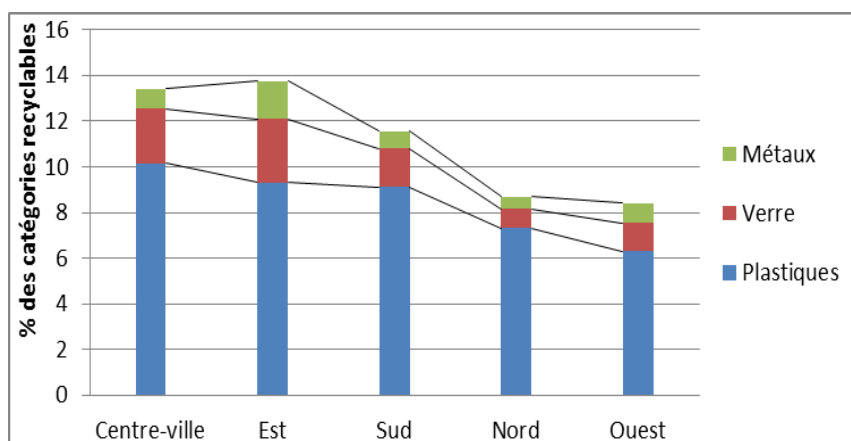


Figure 28: Estimation des pourcentages de RSU, selon C3, C4 et les zones d'étude.

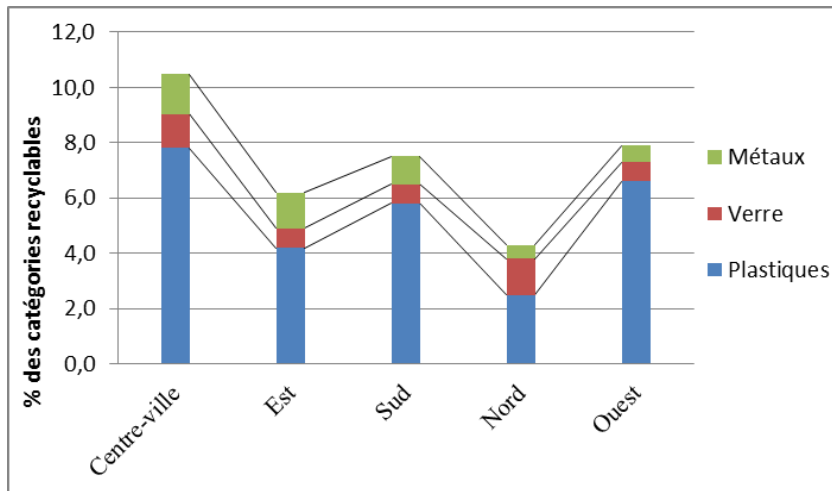


Figure 29: Estimation des pourcentages de RSU recyclables en pourcentage, selon C5 et les zones d'étude.

Dans cette étude, on vise à quantifier les déchets valorisables par recyclage. Ces résultats montrent que le gisement varie de 4,5 à 16% de la masse de déchets humides, selon les saisons et selon les zones d'étude. D'une manière générale, la valeur moyenne des taux les plus élevés sont enregistrés au printemps avec 16% de la masse brute dans la zone Est et 13,9% de la masse brute dans la zone Est au printemps mais, un pourcentage de 10,5 au centre-ville en hiver. Même si, ces pourcentages sont relativement faibles en partie en raison de la récupération par le secteur informel, ces quantités peuvent être valorisables par recyclage.

#### I.4 Conclusion

L'analyse des résultats de la caractérisation physico-chimique des RSU de la commune de Chlef a mis en évidence l'importance du tri des déchets à la source pour ne mettre à la décharge que les déchets ultimes. Soixante-quinze pour cent des déchets générés par la population de la commune sont valorisables par compostage et par recyclage. Ces modes de traitement peuvent être renforcés grâce à des campagnes de sensibilisation de la population et à un tri sélectif des déchets à la source. Mais pour autant, il faut assurer la pérennité de la filière compostage et notamment adapter le procédé de production de compost aux réalités de la wilaya de Chlef. Les chapitres suivants en seront l'illustration puisqu'ils abordent les technologies du processus à adapter et les conditions pour la valorisation agronomique du compost produit.



## II. ETUDE EXPERIMENTALE DU COMPOSTAGE DES RSU DE CHLEF

D'après les résultats de la caractérisation physico-chimique obtenus durant deux ans et à différentes saisons, les RSU de Chlef se prêtent préférentiellement à une valorisation par compostage.

Ce chapitre représente les conditions de compostage les plus adaptées, c'est-à-dire le type de substrat à composter, la fréquence de retournement (Tableau 53), l'apport d'eau, les durées minimales de fermentation et de maturation ainsi que, l'effet de la recirculation des refus sur la ligne de production du compost. Pour cela, différents paramètres ont été suivis comme la température, l'humidité (H%), le pH, la teneur en matière organique (MO%) et la granulométrie du substrat pendant sa décomposition. Aussi, la composition du compost obtenu a été suivie en termes de teneurs en éléments fertilisants et en éléments trace métalliques (ETM) ainsi que, les analyses de maturation des composts produits.

Tableau 53: Tableau récapitulatif des différentes conditions de compostage étudiées.

Andains	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
Période	Printemps 2010	Été 2010	Hiver 2011	Printemps 2011
Substrats	-Putrescibles -Papiers -Cartons -Matières fines	-Putrescibles -Papiers -Cartons <b>-Plastiques (20-100mm)</b> <b>-Textiles (20-100mm)</b> <b>-CNC</b> -Matières fines	-Putrescibles -Papiers -Cartons -Plastiques (20-100mm) -Textiles (20-100mm) -CNC -Matières fines	-Putrescibles -Papiers -Cartons -Plastiques (20-100mm) -Textiles (20-100mm) -CNC <b>-Refus andain (&gt;40 mm)</b> -Matières fines
Retournement	<b>R1</b> : 2 <sup>ème</sup> J; 4 <sup>ème</sup> J; 8 <sup>ème</sup> J; 15 <sup>ème</sup> J; 30 <sup>ème</sup> J	<b>R2</b> : 2 <sup>ème</sup> J; 4 <sup>ème</sup> J; 8 <sup>ème</sup> J; 15 <sup>ème</sup> J; 30 <sup>ème</sup> J	<b>R3</b> : 1 <sup>er</sup> S; 2 <sup>ème</sup> S; 3 <sup>ème</sup> S; 4 <sup>ème</sup> S; 7 <sup>ème</sup> S; 9 <sup>ème</sup> S; 11 <sup>ème</sup> S	<b>R4</b> : 1 <sup>er</sup> S; 2 <sup>ème</sup> S; 3 <sup>ème</sup> S; 4 <sup>ème</sup> S; 7 <sup>ème</sup> S; 9 <sup>ème</sup> S; 11 <sup>ème</sup> S
Criblage du compost	<b>Criblage &lt; 40mm,</b> C <sub>1/40</sub> <b>Criblage &lt; 10mm,</b> C <sub>1/10</sub>	<b>Criblage &lt; 40mm,</b> C <sub>2/40</sub> <b>Criblage &lt; 10mm,</b> C <sub>2/10</sub>	<b>Criblage &lt; 40mm,</b> C <sub>3/40</sub> <b>Criblage &lt; 10mm,</b> C <sub>3/10</sub>	<b>Criblage &lt; 40mm,</b> C <sub>4/40</sub> <b>Criblage &lt; 10mm,</b> C <sub>4/10</sub>

J: Journée ; S: Semaine.

Le chronogramme schématisé (Figure 30) donne les fréquences de retournement et les journées d'arrosage des quatre andains au cours de chaque compostage.

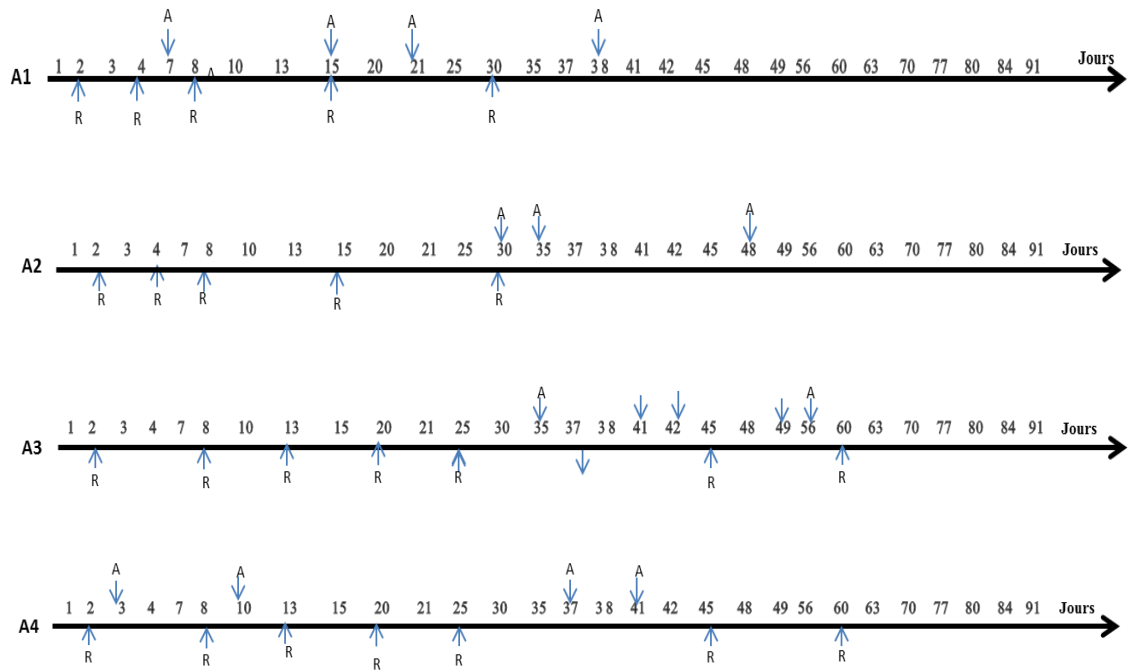


Figure 30 : Chronogrammes des fréquences de retournements et des arrosages des andains.

## II.1 Influence de la fréquence de retournement des andains dans le procédé de compostage par andain

Pendant le compostage, les andains doivent être aérés régulièrement pour apporter l'oxygène, homogénéiser le substrat et éviter l'anaérobiose source d'odeurs. Dans ce paragraphe, on étudiera l'influence de ce paramètre sur la température, l'humidité, le pH, la matière organique et la granulométrie pendant la fermentation des deux tas A<sub>2</sub> et A<sub>3</sub> qui ont des fréquences de retournement différentes.

### II.1.1 Evolution de la température et de l'humidité

Les mesures de la température de l'A<sub>2</sub> (Figures 31) et le tas 3 (Figure 32) montrent que le compostage du tas 2 se déroule en trois phases : thermophile, décroissance et stabilisation. Par contre, le processus de compostage de l'A<sub>3</sub> se déroule en quatre phases : mésophile, thermophile, ralentissement et une phase de stabilisation. Le processus de l'andain 3 est comparable à celui décrit par Kaiser (1983).

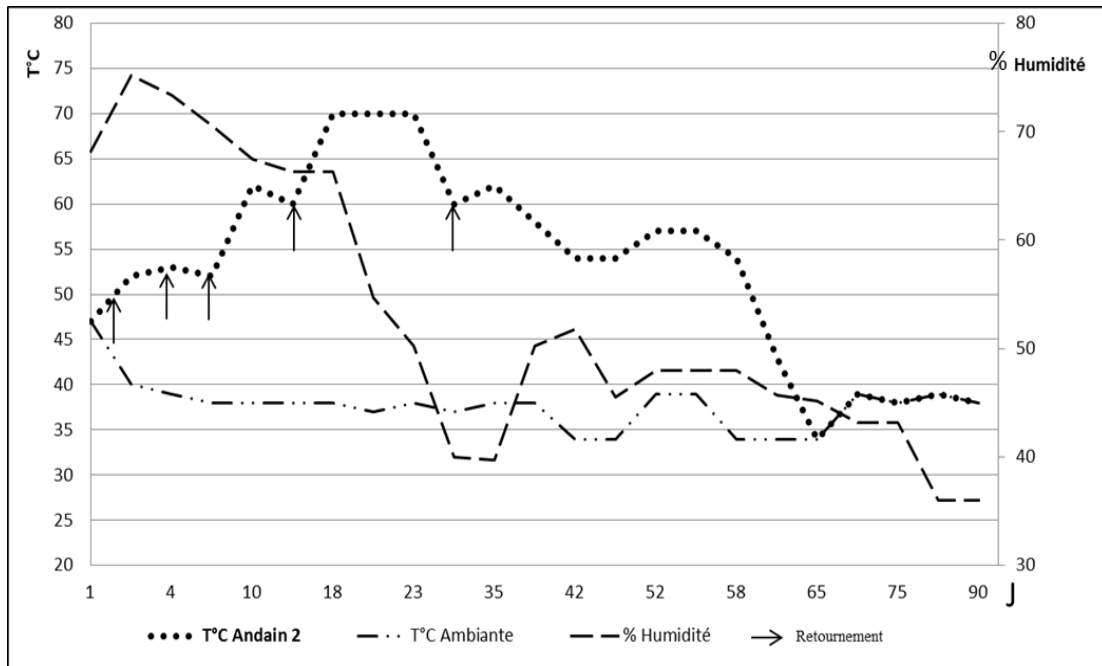


Figure 31 : Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A<sub>2</sub>.

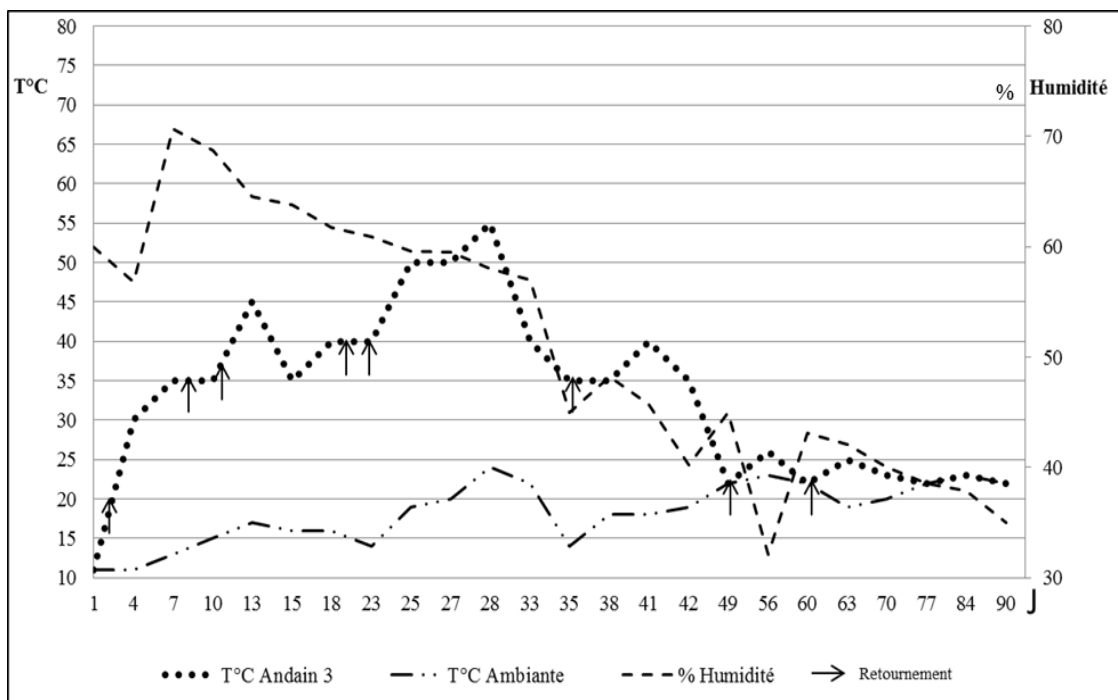


Figure 32: Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A<sub>3</sub>.

Le compostage de l'été atteint une température maximale de 70°C pendant la quatrième semaine et après le quatrième retournement. Cette température reste stable pendant trois jours formant ainsi, une phase plateau. Alors que, la température maximale de l'andain 3 atteint 55°C lors de la quatrième semaine et après le cinquième retournement. Cette différence de températures maximales est liée aux températures extérieures (été et hiver). Ces valeurs

élevées caractéristiques du traitement aérobie traduisent une activité microbienne très importante. Il faut préciser que les températures relevées ne sont que les mesures indirectes des flux de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur de l'andain. La chaleur dégagée accélère la décomposition des protéines et des sucres complexes. L'augmentation rapide de la température s'explique par la présence de matière organique facilement dégradable (Waksman et al., 1939). Au bout de la 11<sup>ème</sup> semaine, le compost de l'été rentre dans la phase de maturation, la température se stabilise et rejoint la température ambiante. En-contrepartie, la température du compostage de l'hiver se stabilise à partir de la 8<sup>ème</sup> semaine après le 6<sup>ème</sup> retournement. Les deux phases (thermophile et mésophile) se déroulent en un temps semblable malgré la différence des fréquences du retournement. La diminution de la température au cours de la phase de maturation est due essentiellement au ralentissement de l'activité microbienne qui a été induite par l'épuisement de la matière organique facilement dégradable.

L'humidité est un paramètre à contrôler lors du compostage. L'eau contenue dans la matière organique est nécessaire à la vie des micro-organismes. Elle joue un rôle primordial dans le transport des particules assurant un meilleur contact entre les fractions organiques et la flore microbienne. Au cours du compostage, la teneur en eau varie. Une grande partie de l'eau nécessaire au développement bactérien est perdue par évaporation pendant les retournements. Ces derniers apportent de l'oxygène, mais peuvent assécher le tas s'ils sont fréquents. Dans ce cas, il faut ajuster la teneur en eau par arrosage.

Dans les andains 2 et 3, les humidités au début du compostage sont de l'ordre de 66% et 52%. Valeurs idéales pour un début de fermentation (Barrigton et al., 2002 ; Mustin 87). Ces valeurs sont dues à la présence de 72% de putrescibles dans A<sub>2</sub> et 66,5% de putrescibles dans A<sub>3</sub>.

La teneur en eau diminue quand la température augmente ou si les retournements sont rapprochés et surtout pendant la phase de fermentation. Ces diminutions sont synonymes des pertes d'eau sous forme vapeur (Mustin, 1997). L'humidité est maintenue pendant la fermentation entre 50% et 60% par arrosage des andains.

### **II.1.2 Evolution du pH (Acidité)**

Le pH est un bon indicateur de progression du compostage des déchets urbains solides (Jimenez & Garcia (1991). Selon la Figure 33, les pH des substrats des deux andains varient moyennement de 5,6 à 9.



D'après Moral et al., (1986), le pH des substrats des andains varie entre 5 et 9 pendant la dégradation aérobie des déchets. Dans A<sub>2</sub>, le pH augmente progressivement de 5,6 à 9 au cours du compostage, il augmente de 5,7 à 9 pendant le compostage d'A<sub>3</sub> en passant par une phase très courte d'acidification.

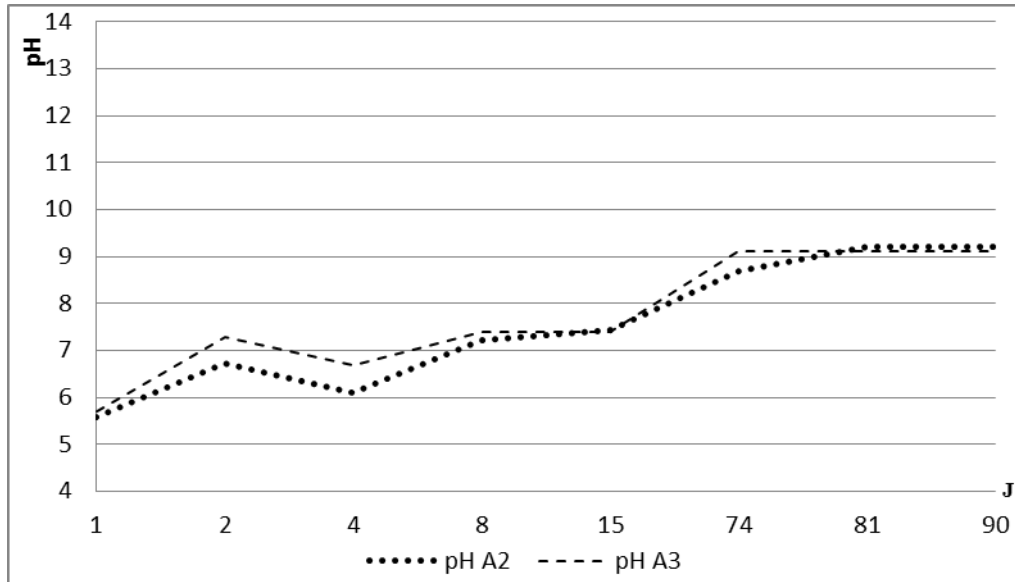


Figure 33: Evolution du pH au cours du compostage des andains A<sub>2</sub> et A<sub>3</sub>.

La forme de cette évolution du pH ne correspond pas à la forme théorique de l'évolution du pH pendant le compostage. En effet, on n'observe pas la phase d'acidification au début du processus, ce qui est la preuve que la biodégradation a démarré avant la constitution de l'andain. La légère acidité au début du compostage est liée à la formation d'acides organiques pendant la décomposition de substrats organiques et de la volatilisation de l'ammoniac initial dans le processus d'ammonification qui s'ensuit de la dégradation des acides organiques (Mustin, 1997). Par la suite, l'augmentation du pH est dû à la disparition des matériaux organiques facilement dégradables et la minéralisation (McKinley et al., 1985). Un pH de 9 à la fin du compostage est en relation avec la double transformation de la matière organique : minéralisation et humification. La fraction la plus instable se minéralise rapidement en libérant des composés minéraux solubles (nitrates, phosphates, sulfates) ou gazeux (CO<sub>2</sub>).

Le pH dans les deux andains subit des fluctuations, cet effet résulte des retournements pendant la première et la deuxième semaine du processus (passage des substrats de surface à l'intérieur des andains).

### II.1.3 Evolution de la teneur en matière organique (%MO/MS)

Le taux de la matière organique d'A<sub>2</sub> diminue au cours du processus de compostage, passant de 58% au début de la dégradation à 36% par rapport à la matière sèche à la fin du processus (Figure 34). Dans A<sub>3</sub>, cette variation de la teneur en MO passe de 58% à 28% /MS.

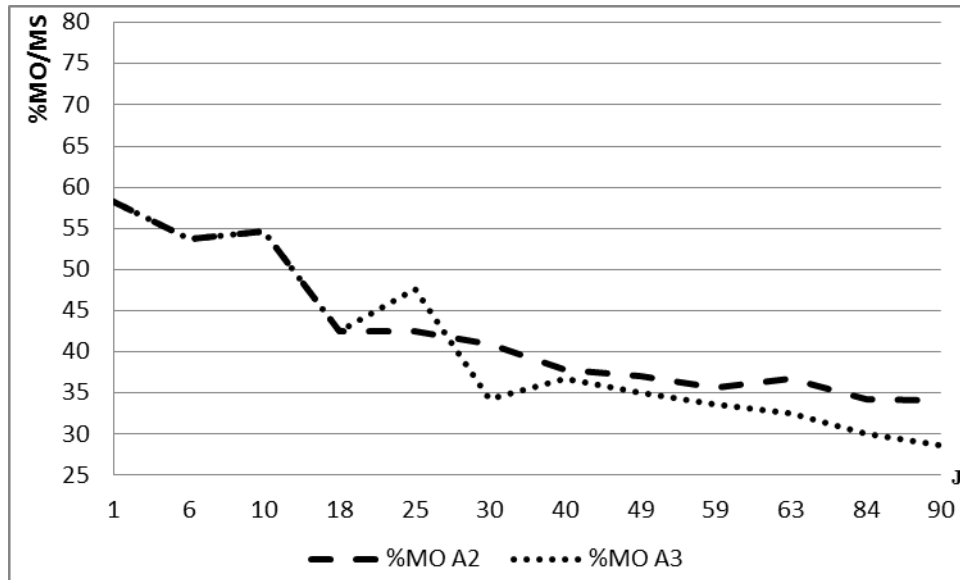


Figure 34: Evolution de la teneur de la MO en % des andains A<sub>2</sub> et A<sub>3</sub>.

Les résultats de mesures de ce paramètre montrent que pendant les deux premières semaines de compostage, la teneur en MO dans les deux andains varie dans le même sens. Alors que les substrats initiaux ne sont pas les mêmes. Ceci s'explique par la dégradation des putrescibles, des papiers-cartons et de la matière fine. La présence des plastiques, des textiles dans A<sub>3</sub> n'influe pas sur l'évolution du pourcentage de la MO. La diminution du % MO est rapportée à la minéralisation des matières organiques par les micro-organismes (Bernal et al., 1998; Laos et al., 2002; Grigatti et al., 2004). Dans le cas de ces andains, les diminutions de cette teneur en MO pendant le compostage sont attribuées à la minéralisation de la matière organique entre la 1<sup>ère</sup> semaine et la 8<sup>ème</sup> semaine. A partir de la 9<sup>ème</sup> semaine, la teneur en MO est stable indiquant un ralentissement de la minéralisation dès le début de la phase de maturation.

### II.1.4 Evolution de la granulométrie

La granulométrie est un paramètre qui permet d'évaluer le taux de destruction progressive des substrats au cours du compostage. Les figures 35 et 36 montrent qu'il y a une diminution des particules de taille >10cm et les particules de taille > 5cm, et augmentation des pourcentages des particules de taille < à 1cm dans les deux andains. Ce phénomène est dû

à la dégradation des substrats au cours du processus de compostage. Au début du compostage d'A<sub>2</sub> le % des particules de taille >10cm est de 41%, à la fin du compostage ce taux est de 25%. De même pour A<sub>3</sub>, les particules de taille >10cm sont de 47% au début du compostage, elles diminuent pour atteindre un taux de 8%. Les particules des déchets se désagrègent pendant le processus du compostage.

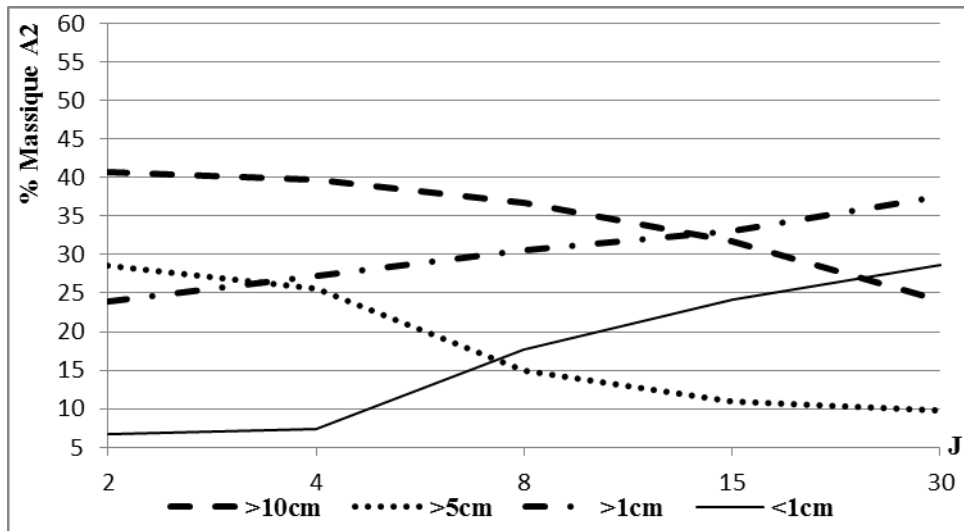


Figure 35: Evolution de la granulométrie au cours du compostage d'A<sub>2</sub>.

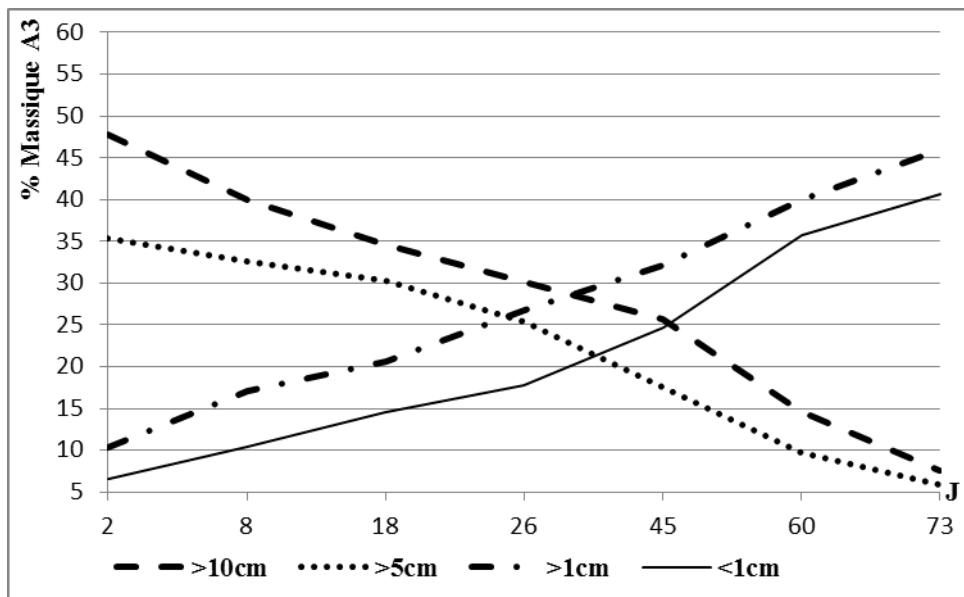


Figure 36: Evolution de la granulométrie au cours du compostage d'A<sub>3</sub>.

La dégradation des matériaux se poursuit jusqu'à la troisième phase du compostage. Ces variations des pourcentages des particules de différentes tailles varient avec la nature des substrats, l'aération des andains et l'activité microbienne (Mustin, 1987).

### II.1.5 Conclusion

En résumé (Tableau 54), les fréquences de retournement influent logiquement sur les paramètres du compostage.

Tableau 54 : Influence de la fréquence de retournement sur certains paramètres (T°C, %H, pH, %MO et granulométrie).

	Température (°C)	Humidité	pH	MO%	Granulométrie
A <sub>2</sub>	-Augmentation de la température jusqu'à 70°C, compte tenu des substrats et de la saison.	- Apport d'eau limité compte tenu des substrats.	-Pas de phase d'acidification.	-Diminution normale de 58% à 40%.	-Augmentation des particules <1cm, de 6 à 28%.
A <sub>3</sub>	-Augmentation de la température à cause de l'aération (retournements).	-Augmentation de l'humidité à cause de la saison et aire pilote de compostage non couverte.	-Pas de phase d'acidification.	-Diminution plus importante, de 58% à 29%.	-Augmentation des particules <1cm plus importante, de 6 à 40%.

## II.2 Influence de la nature du substrat sur le procédé de compostage

Le choix des substrats destinés au compostage détermine la qualité du compost obtenu. Cette partie présente l'évolution des paramètres suivants : température, humidité, pH, %MO, granulométrie au cours du compostage des andains 1 et 2.

### II.2.1 Evolution de la température et l'humidité

Les résultats de mesure de la température et l'humidité montrent (Figures 37 et 38) que la température augmente après chaque retournement puisqu'il apporte l'oxygène nécessaire à la vie des micro-organismes aérobies.

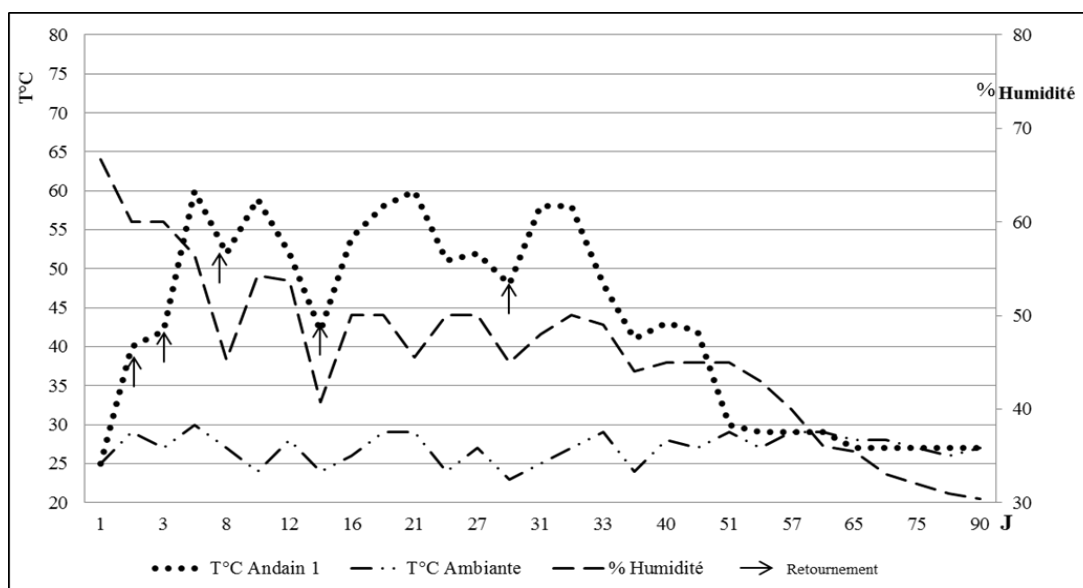


Figure 37: Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A<sub>1</sub>.

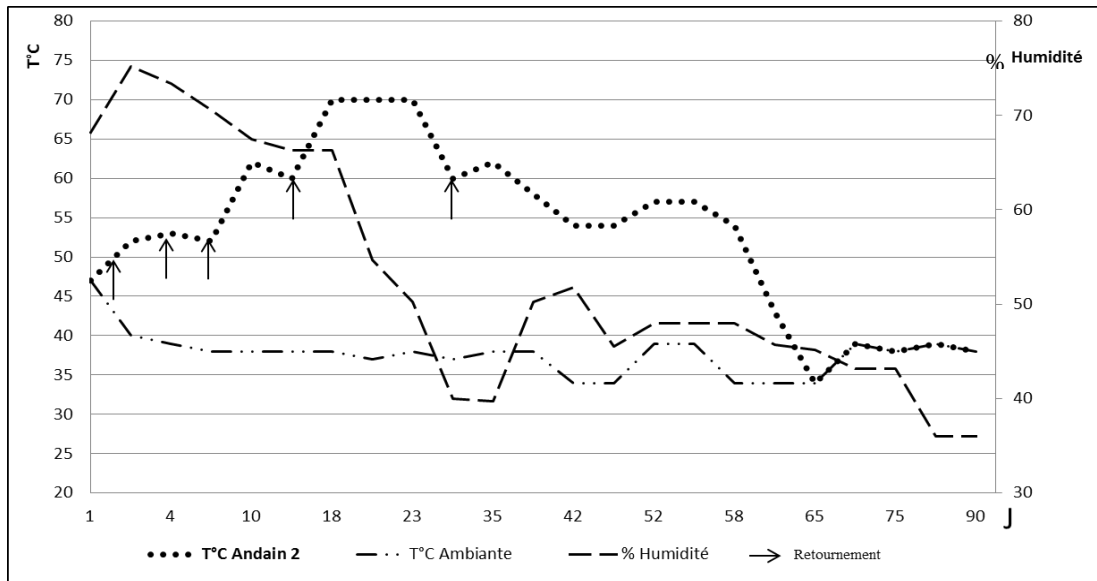


Figure 38: Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A<sub>2</sub>.

Dans A<sub>2</sub> les micro-organismes thermophiles sont en pleine activité dès la première semaine, la température augmente pour atteindre un maximum de 70°C au cours de la troisième semaine. Dans A<sub>1</sub>, elle atteint 60°C dès la première semaine et après deux retournements, la température est de nouveau à 60°C pendant la troisième semaine. La montée de la température après chaque retournement montre que les micro-organismes sont en activité, ils oxydent la matière organique des substrats et libèrent l'énergie contenue dans les liaisons chimiques des molécules constitutives. Une partie de cette énergie contenue dans les liaisons chimiques est récupérée par leur métabolisme mais, une partie importante est perdue et dissipée dans l'atmosphère. Une température minimale est nécessaire à l'activité des microorganismes et à la dégradation.

La différence des deux températures maximales dans les deux andains se traduit d'une part par la différence des températures ambiantes (été et printemps) et d'autre part, par la différence des substrats dans les deux tas. La température dans A<sub>2</sub> est restée constante (70°C) pendant trois jours à cause sans doute de la température ambiante (été) et la présence des plastiques qui retiennent la chaleur. On note aussi, qu'au cours de cette phase les micro-organismes dégradent les matériaux carbonés dégradables. Il y a dégagement de CO<sub>2</sub> et formation de H<sub>2</sub>O. Cette étape est suivie par une phase lente (phase de refroidissement), qui commence à partir de la 7<sup>ème</sup> semaine dans A<sub>1</sub> et à partir de la 9<sup>ème</sup> semaine dans A<sub>2</sub>. Dans cette phase mésophile, d'autres micro-organismes détruisent les matériaux ligneux (Francou, 2003). On note que, la température se stabilise pendant la 8<sup>ème</sup> semaine dans A<sub>1</sub>. Par contre dans A<sub>2</sub>, elle se stabilise pendant la 11<sup>ème</sup> semaine. Le processus du compostage dans A<sub>2</sub> est

plus lent que dans A<sub>1</sub>. Cette différence est due probablement aux différences entre les substrats initiaux des deux andains.

La teneur en eau évolue avec l'augmentation de la température et du taux d'aération des andains. Les résultats de mesure de ce paramètre montrent que pendant les deux premières phases du compostage, l'humidité présente des fluctuations. La teneur en eau diminue à moins de 35% dans A<sub>1</sub> au bout de la troisième semaine et dans A<sub>2</sub> pendant la 5<sup>ème</sup> semaine mais, après un retournement et un arrosage, la température remonte à plus de 40°C dans les deux andains. Cette diminution ensuit probablement aux températures élevées pendant cette phase, aux différences des substrats et à l'aération des deux andains. D'après Godden (1986), une humidité < à 40%/MB se traduit par un ralentissement de l'activité microbiologique. L'arrosage est nécessaire pour maintenir le taux d'humidité entre 40 et 50% par rapport à la matière brute. L'humidité est donc liée à l'aération et elle dépend essentiellement de la nature des matériaux destinés au compostage.

### II.2.2 Evolution du pH

Le suivi du pH a montré que les deux andains au début du processus de compostage sont légèrement acides avec une valeur de même ordre de grandeur soit 5,5 (Figure 39). Le pH diminue ensuite, puis augmente pour atteindre la valeur 9 pour les deux composts.

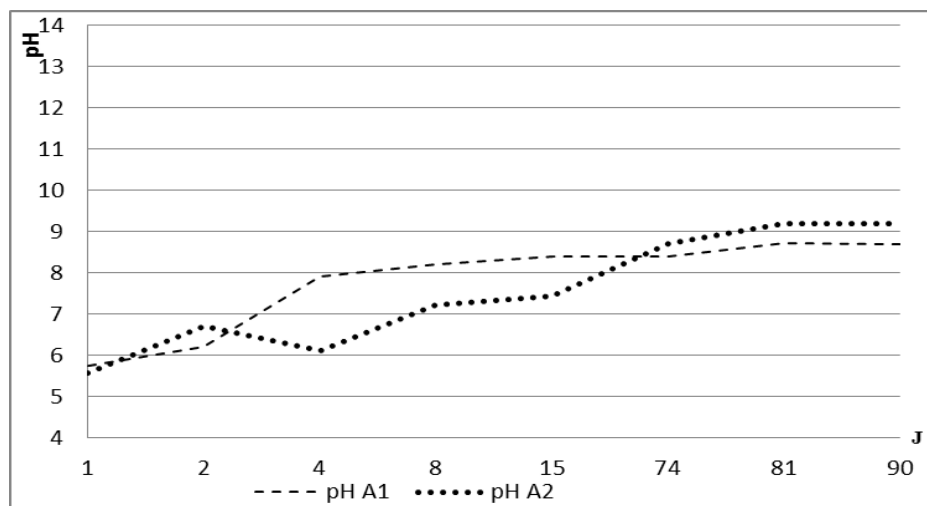


Figure 39: Evolution du pH au cours du compostage des andains 1 et 2.

### II.2.3 Evolution de la teneur en matière organique (%MO/MS)

Généralement, l'évolution du pourcentage de la MO au cours du compostage passe par une phase de maturation et une étape de stabilisation. A travers la Figure 40, on note que la matière organique est élevée au début du processus puis elle diminue pour se stabilisée en fin du compostage.

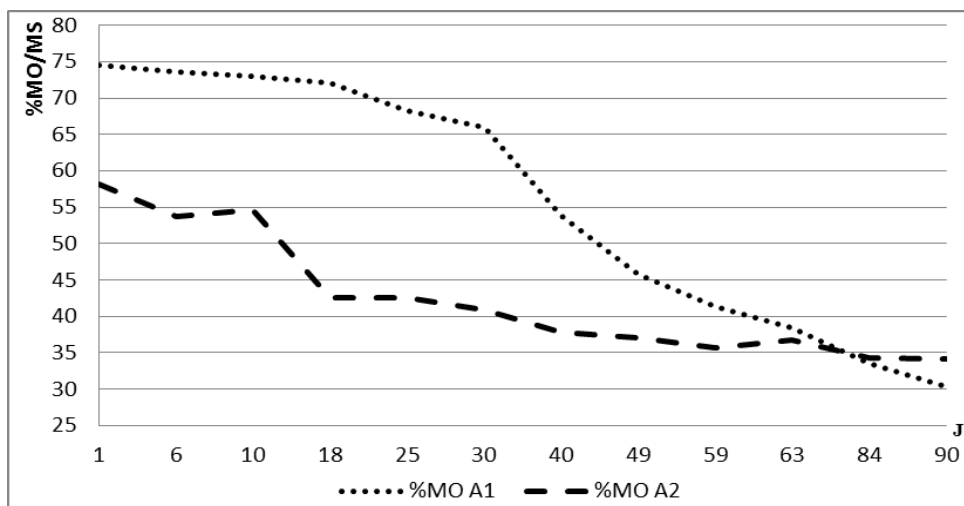


Figure 40: Evolution de la teneur en MO durant le compostage des andains 1 et 2.

Au début du compostage, le taux en matière organique dans A<sub>1</sub> est de 75%, il est de 60% dans A<sub>2</sub>, ce qui est logique compte tenu du mélange de départ. A<sub>1</sub> contient 57,7% de putrescibles, 15% de papiers, 20,7% de cartons et 6,6% de fines (<20mm). Alors que, A<sub>2</sub> est constitué de 72% de putrescibles, 4% de papiers, 4,5% de cartons, **10% de plastiques (20-100mm)**, **1,5% de CNC** et 8% de fines (<20mm). Rappelons que, les putrescibles et les fines contiennent généralement les plus grands pourcentages en MO.

#### II.2.4 Evolution de la granulométrie

Les résultats de mesures de la distribution granulométrique au cours du compostage dans les deux andains 1 et 2 sont schématisés de la manière suivante (Figures 41 et 42).

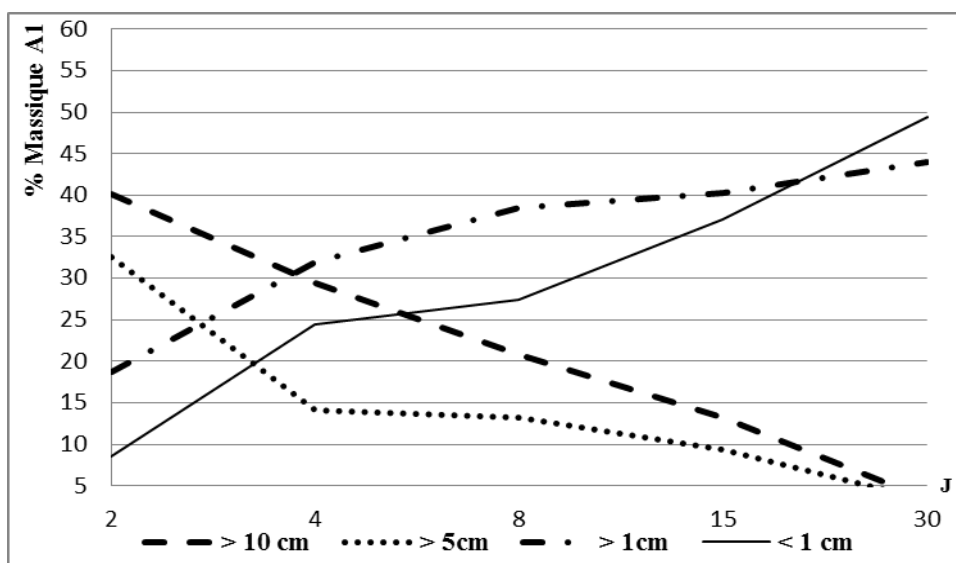


Figure 41: Evolution de la granulométrie au cours du compostage d'A<sub>1</sub>.

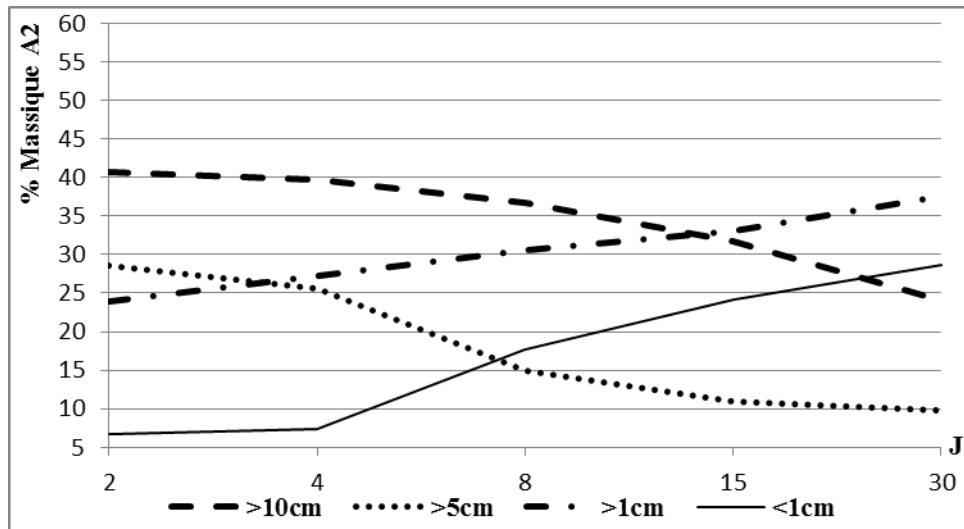


Figure 42: Evolution de la granulométrie au cours du compostage d'A<sub>2</sub>.

Les CNC présents dans A<sub>2</sub> sont souvent utilisés comme des éléments structurants favorisant l'aération même si leur dégradation est lente au cours du compostage. A la fin du compostage, les résultats affichent respectivement des teneurs de 50% et de 28,7% pour la fraction de taille <1cm dans A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>. Ce résultat est conforme avec le mélange du départ: A<sub>1</sub> contient 100% de matériaux biodégradables et A<sub>2</sub> contient 80% seulement.

### II.2.5 Conclusion

La nature des matériaux initiaux est très importante pour assurer un bon déroulement de compostage. D'après cette étude, la nature et la composition des substrats influent directement sur la température, l'humidité et le pH (Tableau 55).

**Tableau 55** : Influence du substrat sur les paramètres de suivi du compostage.

	Température (°C)	Humidité	pH	MO%	Granulométrie
A <sub>1</sub>	-Evolution normale compte tenu des substrats (Put., PC et fines).	-Apport d'eau limité compte tenu des substrats	-Pas de phase d'acidification.	-Diminution normale de 70 à 35%.	-Augmentation des particules <1cm, de 8 à 50%.
A <sub>2</sub>	-Elévation de Te, à cause des plastiques et des textiles.	-Apport d'eau en plus (4ème semaine).	-Pas de phase d'acidification.	-Diminution normale de 58 à 30%.	Augmentation plus limitée des particules fines <1cm, de 6 à 28%.

### II.3 Influence de la recirculation des refus dans le procédé de compostage

La réintroduction des refus en tête du compostage influe-t-elle sur les paramètres lors du processus ? Pour répondre à cette question, les refus de l'andain A<sub>3</sub> ont été réincorporés avec les matériaux initiaux de l'andain 4.



### II.3.1 Evolution de la température

La température est un paramètre de suivi simple qui permet d'évaluer l'équilibre biochimique dans la matière du compostage. Les Figures 43 et 44 illustrent l'évolution de la température et de l'humidité pendant le compostage des andains 3 et 4.

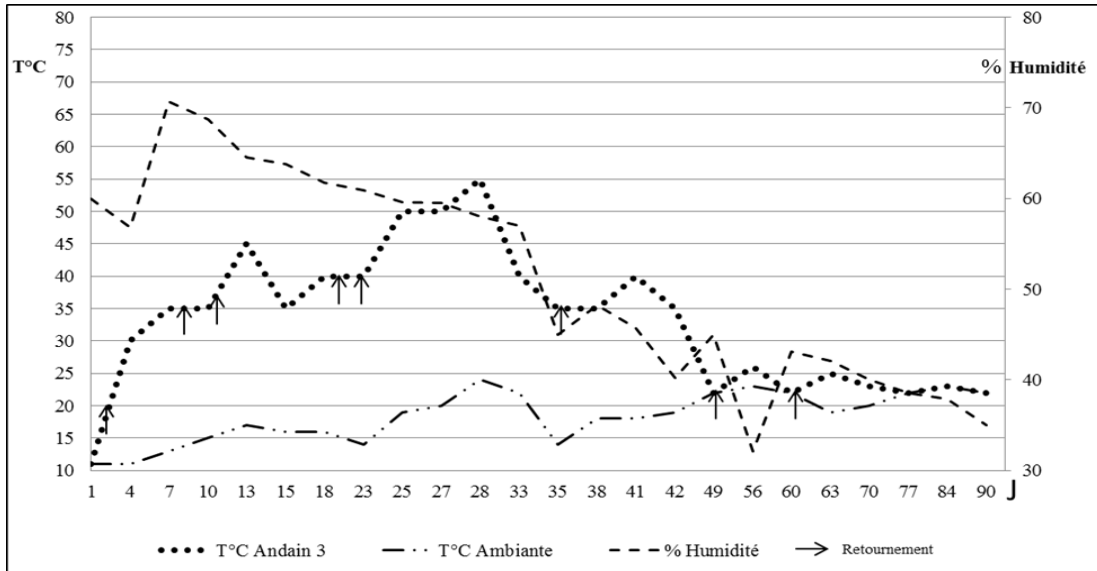


Figure 43: Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A<sub>3</sub>.

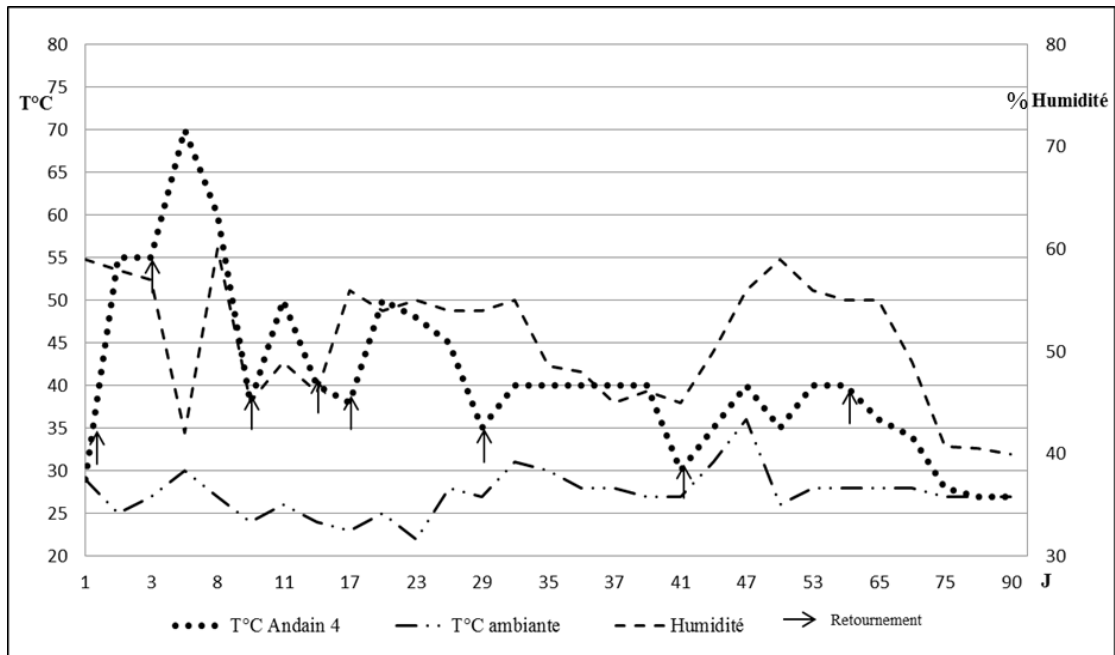


Figure 44: Evolution de la température et de l'humidité durant le compostage d'A<sub>4</sub>.

La température maximale d'A<sub>3</sub> est de 55°C après le 5<sup>ème</sup> retournement. Par contre, celle d'A<sub>4</sub> atteint 70°C au bout de la première semaine après le deuxième retournement. L'augmentation rapide de la température dans A<sub>4</sub> est le résultat d'une part de la présence des micro-organismes dans les refus (qui servent comme ensemencement du tas), d'autre part d'une

auto-stérilisation de la matière avec la neutralisation des germes pathogènes et des graines adventices (Mustin, 1987 ; Leclerc, 2001). Un dépassement de  $T = 80^{\circ}\text{C}$  pourrait provoquer un début d'incendie de l'andain.

L'humidité conditionne un bon démarrage puisqu'elle est liée aux matériaux mis en andain et assure le bon déroulement du processus. D'après Mustin (1987), l'eau se trouve dans les particules organiques (fraction solides) et dans les espaces lacunaires (eau sous forme de vapeur d'eau). La teneur en eau est de 60% dans  $A_3$  et de 64% dans  $A_4$  au début du compostage. Elle atteint 70% dans  $A_3$  et 75% dans  $A_4$  parce qu'il y a eu production d'eau métabolique par les micro-organismes qui dégradent la matière organique en présence d'oxygène. Dans le tas 4, la diminution rapide pendant la première semaine de fermentation découle de la montée de température ( $70^{\circ}\text{C}$ ) et du retournement. D'après Mustin (1987), l'humidité a tendance à diminuer sous l'action conjuguée de la montée en température et du retournement, ce qui entraîne des pertes sous forme de vapeur d'eau. L'humidité est réajustée à 50% par arrosage afin de maintenir les conditions favorables au déroulement du processus de compostage. Les fréquences d'aération sont essentielles pendant les 5 premières semaines de compostage pour apporter de l'oxygène, refroidir les tas, augmenter les espaces lacunaires pour faciliter la circulation de l'air au sein de l'andain et homogénéiser le substrat (Barrington *et al.*, 2003 ; Mustin 87, Jeris et Regan, 1973).

### **II.3.2 Evolution du pH**

Le pH de l'andain augmente de 5,7 à 7 au cours de la première semaine puis, il accroit légèrement pendant la deuxième semaine du compostage pour atteindre 7,6. Cette valeur est restée pratiquement constante jusqu'à la 7<sup>ème</sup> semaine. A la fin du procédé, le pH atteint 9 (Figure 45). Apparemment, cette augmentation indique la phase d'alcalinisation (flore thermophile dominante) avec dégradation des acides gras et production d'ammoniac suite à la dégradation des acides organiques (Mustin, 1997). La valeur élevée du pH à la fin du compostage est due à l'oxydation de l'ammonium par les bactéries et la précipitation du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ).

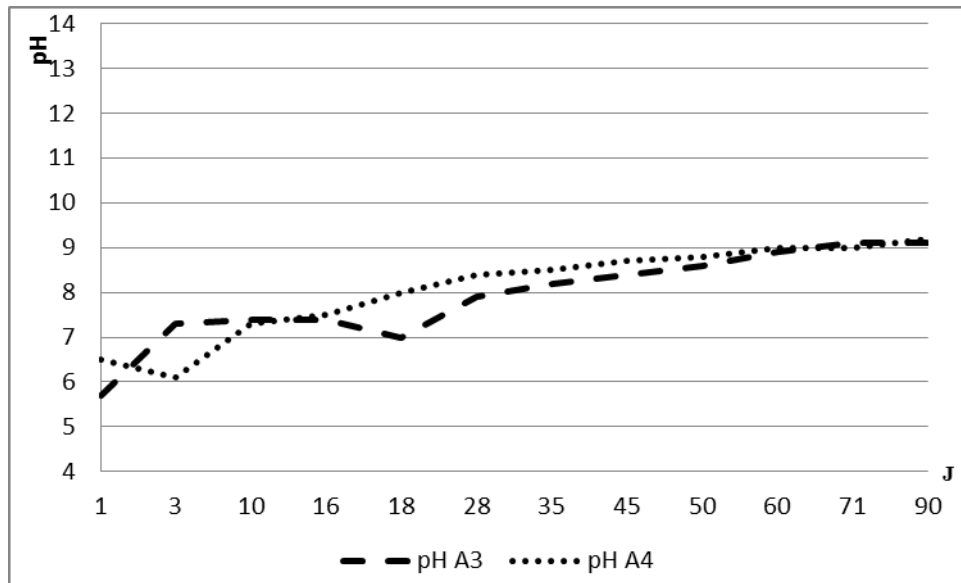


Figure 45: Evolution du pH au cours du compostage des andains 3 et 4.

Le pH dans l'andain 4 diminue au début de la phase thermophile de 6,5 à 6, puis augmente progressivement jusqu'au 60<sup>ème</sup> jour. A la fin du compostage, la valeur du pH atteint 9. L'ajout des refus dans l'andain 4 est probablement la cause de la courte durée de la phase d'acidogénèse (production de CO<sub>2</sub> et d'acides organiques). A partir de la 9<sup>ème</sup> semaine, le pH demeure constant (date estimé du début de la phase de maturation du compost). Cela peut s'expliquer par l'arrêt de l'activité des micro-organismes responsables de la variation du pH. La valeur 9 en fin du compostage est liée à la présence des cations Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et Na<sup>+</sup>

### II.3.3 Evolution de la teneur en matière organique (%MO/MS)

D'après la Figure 46, la teneur en matière organique dans les deux andains diminue au cours du processus suite à la dégradation des matériaux qui subissent une minéralisation importante. A la fin du compostage, la teneur en matière organique des deux composts est réduite de 50% par rapport à celle des déchets bruts. La perte de la matière organique dans le cas des déchets très fermentescibles est de plus de 50% (Jeris et Regan, 1973). D'après Mustin (1987), la perte en moyenne de la matière organique varie entre 35 et 50%, pour un C/N de départ optimal.

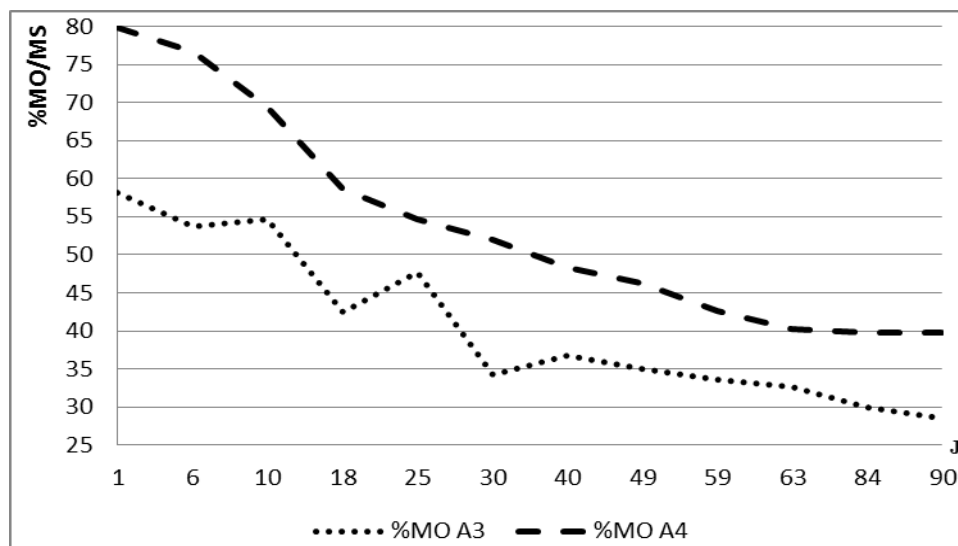


Figure 46: Evolution de la teneur en MO durant le compostage des andains 3 et 4.

La différence de teneurs en matières organiques initiales est liée aux pourcentages des substrats de chaque andain (figure 61). Les mesures réalisées montrent une dégradation rapide de la matière organique pendant la phase mésophile dans les deux andains. Ces résultats sont conformes à une évolution normale de compostage. Les résultats de mesures montrent que, la teneur en MO de l'andain 3 se stabilise à partir de la 8<sup>ème</sup> semaine de fermentation, par contre celle de l'andain 4, se stabilise à partir de la 10<sup>ème</sup> semaine de dégradation. Ces résultats confirment l'influence de la différence des substrats initiaux. Cependant quelle que soit la différence des substrats, la dégradation de la matière organique est accompagnée par une perte de carbone sous forme de gaz carbonique et de composés volatils.

### II.3.4 Granulométrie

La taille des matériaux destinés au compostage est un facteur important qui détermine la vitesse de dégradation. En effet, plus la taille des substrats est petite (entre 5cm et 10cm), plus la surface d'attaque des micro-organismes est importante. Si les particules sont de taille infiniment petite (moins de 5cm), l'espace est réduit ce qui bloque la circulation de l'air dans le tas au cours du compostage (Soudi, 2001). En réalité, plus un matériau est divisé, plus la vitesse de dégradation est rapide (Mustin, 1987).

La dégradation rapide des substrats entraîne un accroissement du taux d'activité microbienne (Mustin, 1987). Les mesures montrent que les pourcentages des particules de taille >10cm et des particules de taille >5cm sont respectivement 47 et 35% dans A<sub>3</sub>. Mais, celles de l'andain 4 sont de 40 et 38% (Figures 47 et 48). A la fin du procédé, les taux de ces particules diminuent et le pourcentage des particules de taille <1cm augmentent pour atteindre 40%

dans A<sub>3</sub> et 50% dans A<sub>4</sub>. Ces résultats montrent que la surface de contact est plus importante dans l'andain 4 par rapport à l'andain 3. L'ajout des refus dans l'andain 4 augmente la quantité des matériaux structurants.

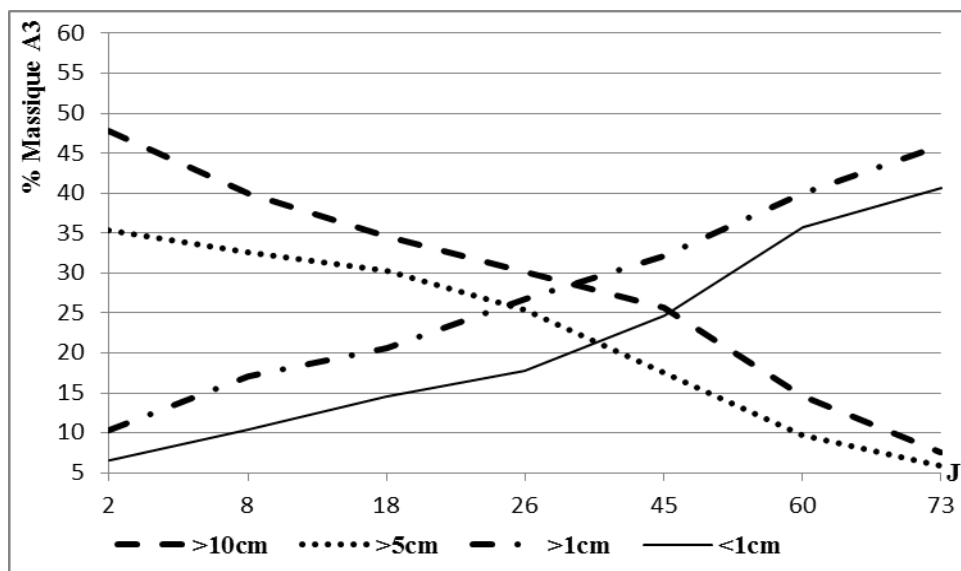


Figure 47: Evolution de la granulométrie au cours du compostage de l'andain 3.

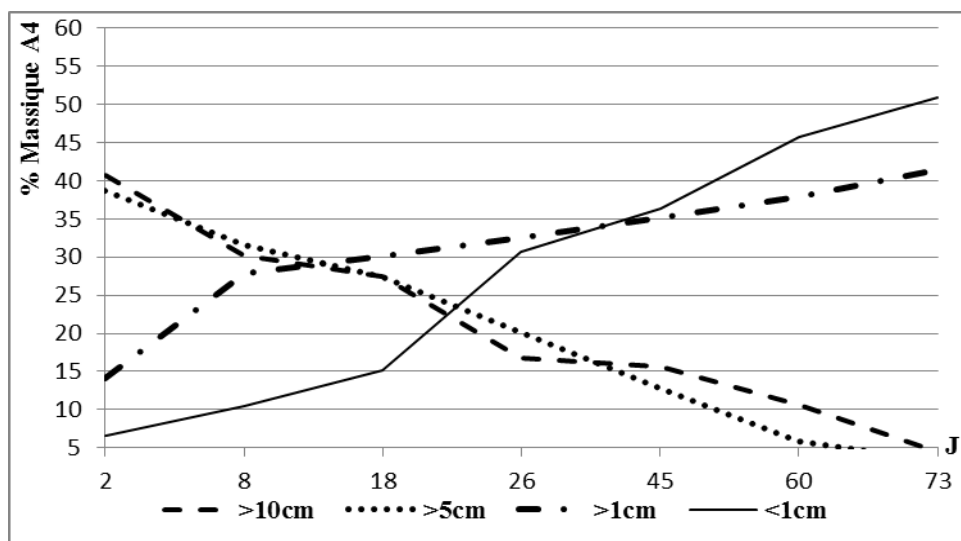


Figure 48: Evolution de la granulométrie au cours du compostage de l'andain 4.

Ce constat est plus précis dans les schémas des bilans massiques. Le compost obtenu de l'andain 4 est de 62% et celui de l'andain 3 est de 47%.

### II.3.5 Conclusion

La réintroduction des refus à la tête d'un compostage a des effets sur les paramètres de suivi du procédé de compostage (Tableau 56).

Tableau 56 : Influence de la recirculation des refus sur les paramètres de suivi du compostage.

	Température (°C)	Humidité	pH	MO%	Granulométrie
A <sub>3</sub>	-Evolution normale compte tenu des substrats et la saison.	-Evolution normale de l'humidité.	-Pas de phase d'acidification.	-Diminution normale de 80 à 40%.	-Augmentation des particules <1cm, de 6 à 40%.
A <sub>4</sub>	-Elévation de Te, à cause de l'ajout des refus (ensemencement bactérien).	-Apport d'eau en plus (1 <sup>ère</sup> semaine).	-Evolution normale du pH.	-Diminution normale de 58 à 28%.	-Augmentation importante des particules fines <1cm, de 6 à 52%.

## II.4 Influence des conditions du procédé sur le compost produit

Le bon fonctionnement du procédé de compostage nécessite une corrélation entre les paramètres physico-chimiques du processus et les paramètres qui définissent la qualité des composts produits. La qualité du compost est fonction de la teneur en éléments fertilisants, des teneurs en impuretés, des teneurs en ETM et des analyses de maturation du compost produit.

### II.4.1 Caractéristiques chimiques

Les résultats d'analyses des éléments chimiques et le rapport C/N sont en concordance avec les normes internationales (Tableau 57).

Tableau 57: Caractéristiques chimiques des différents composts.

Compost	C <sub>1/10</sub>	C <sub>1/40</sub>	C <sub>2/10</sub>	C <sub>2/40</sub>	C <sub>3/10</sub>	C <sub>3/40</sub>	C <sub>4/10</sub>	C <sub>4/40</sub>	Compost Labé *	Compost **	Compost ***	Norme NFU 44 051
pH (u.pH)	8,4	8,5	9,2	9,2	8,9	9,1	8,68	9,2	8,2/8,8	7,8	9,3	-
% MO	31,3	37,2	34,6	36,9	38,8	48,3	42,1	47,2	32/34	35/40	34	≥ 20% MB
% C	15,1	18,6	17,3	17,95	19,4	24,15	21,0 5	23,6	16,2/13,8	20,3/23,2	19	≥ 10
% N-NTK	0,7	0,8	0,9	1,01	1,09	1,27	1,14	1,19	1,4/0,88	1,0/2,0	0,8	<3%
C/N	21	22	19	17	18	19	18	19	11/16	11,6/20,3	24	16, 2

\* Matejka et al., 2001; \*\* Waste Concern, 2001 \*\*\* Koledzi, 2011

Les pH des composts produits varient entre 8 et 9, cette alcalinité est liée à la prédominance couplée de l'azote ammoniacal sous forme minérale (NH<sup>+</sup><sub>4</sub>) avec les cations basiques (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup>) se trouvant dans les composts (Théories de Brönsted-Lowry, 1923). Ces résultats sont en accord avec ceux de Pfeiffer (1979) et ceux de Roletto et al., (1985b) ; Forster et al., (1993); Avnimelech et al., (1996) cité dans Francou et al., (2005). D'après Avnimelech *et al.* (1996), les composts mûrs sont caractérisés par des pH compris entre 7 et 9.

Les rapports C/N des différents composts restent élevés variant entre 17 et 22 et conformes à ceux trouvés dans la littérature (Tableau 57). Plus le rapport C/N est élevé, moins l'azote est rapidement disponible. Ces résultats montrent que l'azote est sous la forme organique, ce qui indique que les différents composts sont de bons amendements organiques (Équiterre, 2009). Le rapport C/N seul n'est pas suffisant pour déterminer la maturité d'un compost (Morel et al., 1986; Saviozzi et al., 1988; Serra-Wittling, 1995). Pour estimer la maturité d'un compost il faut considérer d'autres paramètres physico-chimiques (pH, MOT%) et mettre en place des tests de phyto-toxicité (test de germination et test d'indice de germination). En outre, la teneur en carbone est mesurée par le paramètre « matière volatile » déterminé par la perte au feu qui touche le carbone de la matière organique synthétique (MOS : impuretés en plastiques, papiers-cartons, textiles.....etc.) qui n'est pas bio-disponible.

#### **II.4.2 Eléments fertilisants**

Les teneurs en éléments fertilisants sont liées à la nature des RSU (Soudi, 2001). Les résultats d'analyses de ces éléments montrent que les composts contiennent des teneurs élevées en P, K, Na, Mg et Ca (Tableau 58).

Tableau 58: Composition des composts en éléments fertilisants (/MS).

<b>Compost</b>	<b>mgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg</b>	<b>mgK<sub>2</sub>O/kg</b>	<b>mgNa<sub>2</sub>O/kg</b>	<b>mgMgO/kg</b>	<b>mgCaO/kg</b>
C <sub>1/10</sub>	8608	9640	7661	4002	15273
C <sub>1/40</sub>	9732	9510	7472	4290	12470
C <sub>2/10</sub>	13507	7323	8816	5005	19520
C <sub>2/40</sub>	15506	6856	9146	4722	13876
C <sub>3/10</sub>	3954	8966	7260	5012	27123
C <sub>3/40</sub>	5390	8276	6966	4630	25190
C <sub>4/10</sub>	8597	8173	6639	5573	16310
C <sub>4/40</sub>	9636	7466	6396	5131	13560
<b>Benin<sup>(1)</sup> (1999)</b>	45800	6200	-	3600	54600
<b>Guinée<sup>(2)</sup> (2001)</b>	10500	10900	-	7500	57500
<b>Mali<sup>(3)</sup> (2003)</b>	9200	10600	-	4600	90000
<b>Togo<sup>(4)</sup> (2011)</b>	13600	17300	-	2800	16200

(1), (Soclo, 1999) ; (2), (Matejka et al., 2001); (3), (Soumaré et al., 2003) ; (4), (Koledzi, 2011) .

La présence de ces éléments dans les composts est un avantage pour l'amendement des sols. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par N'Dayegamlye (2005), au Canada. Les teneurs du phosphore sont comparables à celles de Compaoré (2010), au Burkina Faso et à

celles déterminées par Guene (1995) cité dans Compaoré et al., (2010) à Ouagadougou. Ces qualités agronomiques sont comparables à ceux de Rytz, (2001); Mbuligwe et al., (2002); Matejka et al., (2001); Soumaré et al., (2003); Charny, (2005) et Koledzi, (2011). Les composts obtenus sont riches en éléments minéraux (N, P, et K) et en oligo-éléments (Ca, Mg et Na). Ces éléments peuvent être apportés par les déchets urbains (Charnay, 2005). Leur caractère fertilisant leur permet d’agir comme des engrais chimiques, en enrichissant le sol en N, P, K, mais leur principal effet est qu'en tant qu’amendement organique ils agissent sur la stabilité physique, biologique et chimique des sols (Bertoldi et al., 1983).

#### **II.4.3 Teneur en impuretés**

La méthode XP U44 164 (2004) d’analyse des composants inertes dans un compost consiste à détruire la matière organique non synthétique par attaque oxydante à l'eau de Javel. Cette méthode est citée dans la norme NFU 44 051, applicable pour les amendements organiques et supports de cultures. D’après les résultats du Tableau 59, cette méthode met en évidence la présence de la matière organique oxydable (MOO), la matière non oxydable (plastique, papier-carton, INC, verre, textile, bois-charbon) et la matière fine (< 2mm). Les composts C2, C3 et C4 renferment des teneurs élevées en impuretés (4,1%, 7,4% et 7,8%) par rapport la norme (< 0,8%). Les teneurs en métaux des composts C3 et C4 (2,8% et 3,6%) dépassent les limites préconisées (< 2%). De même, la teneur en verre dans le compost C3 est importante par rapport à la limite (< 2%). Ces résultats ne sont pas tolérés par la norme française des amendements organiques produits par les déchets urbains. Ils confirment qu’il est important de mentionner qu’un tri-compostage est nécessaire si les composts obtenus font l’objet d’une commercialisation et sont destinés à l’agriculture.

Tableau 59: Teneurs (%) en impuretés des composts (/MS).

<b>Compost</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>4</sub></b>
<b>Impuretés</b>	<b>%/MS</b>			
Bois/ charbons	6	10,2	3,7	10,9
plastiques	0,4	4,1	7,4	7,8
Papier/carton	12	11,5	11,3	3,4
Métaux	0,9	0,8	2,8	3,6
Verre	0,7	0,9	3,8	1,7
CNC	10	13,2	5,6	14,8
INC	5,5	8	6,7	4,4
Textiles	0,1	0,2	2,9	1,6
MOO	35	24,5	29,7	30,9
fines < 2mm	29,4	26,6	26,1	20,9



A titre de comparaison, les teneurs en impuretés obtenues dans le cas de ce travail ne sont pas semblables avec celles trouvées par Koledzi (2011). Les teneurs en impuretés dépendent de la nature des déchets et des conditions de compostage.

Les résultats d'analyses montrent que les teneurs en MO obtenues par oxydation dans tous les composts produits dépassent 20%, limite préconisée par la norme NFU 44 051. A titre de comparaison, ces teneurs obtenues par voie d'oxydation sont différentes des teneurs en MO obtenues par la méthode perte au feu (Tableau 60).

Tableau 60 : Comparaison de deux mesures de la teneur en MO obtenue par deux méthodes (/MS).

Méthode	Oxydation %	Perte au feu %	$\Delta$
C1	35	35,75	0,75
C2	24,5	35,2	10,7
C3	29,7	43,5	13,8
C4	30,9	44,6	13,7

On note une variation de différence allant de 0,75 à 13,8%. Cette différence peut être expliquée par le fait que la calcination d'un échantillon de compost à 550°C peut donner la teneur en matière organique synthétique et la teneur de certains composés minéraux, notamment, les composts C2, C3 et C4 proviennent des tas 2,3 et 4 qui contiennent des indésirables.

#### **II.4.4 Eléments trace métalliques**

La présence de ces métaux dans les différents composts obtenus peut résulter des papiers-cartons (agents de blanchiment du papier ( $ZnCl_2$ ), ( $ZnCrO_4$ )), des CNC (produits de protection du bois ( $CuSO_4$ )), des vernis, des peintures, de la partie fine (<20mm). En raison de la présence des piles, de métaux, des plastiques.... etc., dans les déchets urbains, les ETM les plus souvent recherchés sont: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni et Zn.

Dans le cas de cette étude, les analyses des ETM ont été orientées sur 5 éléments considérés comme indicateurs de pollution métallique ; elles montrent que les concentrations en Cd, Cu, Pb, Ni et Zn sont relativement importantes (Tableau 63) et sont inférieures aux valeurs limites préconisées par la norme française NFU 44 051. Mais, il y a lieu de mentionner que dans les composts C2, C3 et C4 (fins et grossiers), les teneurs en Pb dépassent la norme tolérée (180 mg/kg de compost). L'origine de cet élément doit être recherchée dans les déchets au départ en contact avec l'air (il peut provenir de l'atmosphère (essence avec Pb)) et des papiers-cartons (encres d'imprimeries avec Pb). A des doses élevées, il devient cancérigène et

provoque des troubles digestifs, des atteintes au foie, des névroses et des lésions cutanées chez l'être humain (Mustin, 1987). Une fois détectée la présence d'une forte concentration en Pb dans les composts C2, C3 et C4, il était indispensable de vérifier la reproductibilité des analyses sur plusieurs échantillons du même lot de compost. Une analyse de trois échantillons du même lot de matière fine des andains 3 et 4 a été réalisée (Tableau 61); Les mesures ont révélé encore une concentration en Pb au-dessus de la norme. Les travaux de Compaoré et al, 2010 ont montré qu'il faut craindre des risques d'accumulation des ETM dans les sols suite aux épandages réguliers des composts du fait de leur temps de demi-vie dans le sol (Cu: 2300 ans; Pb: 860 ans; Ni: 1700 ans; Zn: 2100ans). Mais, d'après les travaux de Koledzi (2011), la rétention du Pb est très forte lorsque le taux de la matière organique est élevé. Dans les composts C2, C3 et C4 la teneur en matière organique varie entre 34 et 48%, des taux assez élevé par rapport à la norme. Donc la majeure partie de la teneur en Pb va être fixée par la matière organique ce qui donne une faible mobilité de cet élément dans le sol. En effet, les ETM se convertissent en formes chimiques peu réactives et non disponibles pour les plantes (Mustin, 1987).

Tableau 61: Teneurs en Pb dans la matière fine des andains 3 et 4 (/MS).

Matière fine (MF) dans les andains	MF dans A <sub>3</sub>	MF dans A <sub>4</sub>	Norme limite France
<b>Pb (mg/kg MS)</b>	194,3	190,8	<b>180</b>
	195,8	200,5	
	200,2	183,7	

Les analyses de la matière fine montrent que les concentrations en Pb dépassent la limite recommandée par la norme NFU 44 051. Ces résultats montrent que le tri de la fraction fine est indispensable pour limiter les grandes teneurs en ETM dans les composts.

Selon les valeurs limites de la norme française NFU 44051, les teneurs des éléments analysés (Cd, Cu, Pb, Ni et Zn) du compost C1 ne dépassent pas les valeurs limites. Alors que, les composts C2, C3 et C4 contiennent des concentrations en Pb qui dépassent la valeur limite préconisée par différents référentiels dans les PD. Mais, la plus grande partie de ces teneurs en Pb vont être fixées par la MO contenue dans ces composts (Tableau 62). Donc, les composts C1, C2, C3 et C4 peuvent être utilisés comme des amendements organiques.

Tableau 62 : Valeurs limites des teneurs en mg/kg MS en ETM préconisés par certains référentiels européens.

<b>Pays</b>	<b>Normes</b>	<b>Classe</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
Allemagne	Biowaste Ordinance I		-	1	70	70	0,7	35	100	300
Australie	ARMCANZ*	Biowaste	20	3	400	200	1	60	200	250
Autriche	Compost ordinance	A <sup>+</sup>	-	0,7	70	70	0,4	25	45	200
		A	-	1	70	150	0,7	60	120	500
		B	-	3	250	500	3	100	200	1800
Canada	BNQ**	AA, A	13	3	210	100	0,8	62	150	500
France	NF U 44-051	Compost urbain	18	3	120	300	2	60	180	600

Tableau 63: Teneurs des éléments traces métallique dans les différents composts produits (/MS).

ETM (mg/kg MS)	C1/10	C1/40	C2/10	C2/40	C3/10	C3/40	C4/10	C4/40	Norme limite France							
<b>Cd</b>	2,5	2,4	2,8	2,1	2,4	2,5	2,8	2,2	<b>3</b>							
	2,2	2,2	2,5	2,5	2,2	2,2	2,1	3,0								
	2,8	2,0	2,3	2,1	2,4	2,0	2,7	2,8								
<b>Cu</b>	121,6	100,7	83,7	94,8	72,3	51,7	80,5	106,0	<b>300</b>							
	108,1	103,6	81,9	84,2	70,3	50,2	75,6	129,5								
	110,5	102,0	84,0	85,0	74,2	47,1	79,0	87,7								
<b>Pb</b>	124,8	105,7	175,0	147,4	290,3	280,8	402,0	395,7	125,4	125,1	246,8	245,7	248,4	245,7	223,0	218,5
		123,7		169,1		226,2		401,7		124,4		245,9		247,8		192,8
		105,5		172,7		287,7		361,8		123,7		245,0		239,7		218,2
	118,3	112,9	143,4	143,9	219,3	215,7	295,9	282,5	209,6	209,2	274,2	272,0	203,7	200,2	152,6	151,7
		115,7		133,4		214,4		283,6		203,0		207,0		201,7		149,9
		117,5		123,1		217,9		286,7		206,6		243,6		201,2		124,4
	115,3	104,5	133,1	128,8	265,8	260,0	372,2	368,3	255,1	254,9	346,4	344,7	223,9	217,5	162,3	160,8
		114,5		102,5		244,2		362,1		250,8		345,7		217,9		154,3
		102,1		131,2		263,8		364,3		234,7		334,8		206,4		161,2
	<b>Ni</b>	17,7	33,1	17,8	16,7	32,8	37,8	26,6	35,7	<b>60</b>						
		14,2	24,0	18,3	14,3	35,8	31,9	36,8	44,6							
		15,3	30,0	16,5	18,3	35,8	21,9	49,7	47,8							
<b>Zn</b>	578,3	382,0	408,3	518,3	259,0	194,3	260,3	252,3	<b>600</b>							
	468,3	346,3	376,3	528,6	220,6	157,3	291,3	248,0								
	385,0	466,3	327,0	444,0	262,0	323,3	396,0	288,6								

#### **II.4.5 Maturité d'un compost**

Les analyses pour évaluer la maturité d'un compost sont importantes pour déterminer sa valeur fertilisante et son innocuité. Plusieurs chercheurs ont mis en place des méthodes d'analyses qui permettent d'évaluer la maturité des composts. Ces tests peuvent être basés sur les techniques suivantes :

- Techniques empiriques : les composts,
  - ne dégagent pas d'odeur d'ammoniac;
  - pas de variation de température ;
  - sont granuleux, foncés et sentent bon;
  - ne permettent pas de distinguer à l'œil nu les composés d'origine (Duval, 1991).
- Méthodes physiques qui comprennent :
  - suivi de la température ;
  - tests respirométriques (Germon *et al.*, 1980) ;
  - tests spectrométriques  $E_4/E_6$  (Schnitzer, 1982).
- Méthodes chimiques qui permettent de vérifier la maturité des composts telles que:
  - pH ;
  - test des Sulfures (Spohn, 1968) ;
  - test de l'Azote (Spohn, 1978) ;
  - test du Chrome (Cole, 1992) ;
  - Rapport C/N (Hirai *et al.*, 1984).
- Méthodes biologiques qui permettent de vérifier si le compost peut être utilisé sans danger pour les plantes:
  - test de germination (WHO, 1978) ;
  - test d'indice de germination (Zucconi *et al.*, 1981).

#### **II.4.6 Tests de toxicité**

La toxicité est un critère essentiel à considérer pour évaluer la qualité et la maturité d'un compost dans l'optique de son utilisation comme produit d'amendement organique en agriculture. En effet, le plus important facteur contrôlant l'utilisation d'un compost comme amendement organique est son degré de stabilité (Said-Pullicino *et al.*, 2007). Parmi les méthodes d'évaluation de la maturité : le rapport C/N et les tests de phyto-toxicité (test de germination et la croissance des plantes) s'avèrent nécessaire (Gariglio *et al.*, 2002 ; Said-Pullicino *et al.*, 2007). D'après Compaoré *et al.*, (2010), les tests de phyto-toxicité sont les seuls moyens d'évaluation des effets toxiques d'un compost immature. L'effet phyto-toxique

d'un compost immature est dû à l'émission d'ammoniac (Tang et al., 2006) et à la présence d'acides organiques (Manios et al, 1989 ; Albuquerque et al, 2006). Wong (1985), a montré que l'oxyde d'éthylène qui provient de la décomposition du compost immature a un effet phyto-toxique sur les plantes.

**II.4.6.1 Indice de germination, IG (Zucconi et al (1981))**

Les IG les plus significatifs sont obtenus avec les doses de 25% et 50% d'extrait aqueux des différents composts (Tableau 64).

Tableau 64: Taux d'indices de germination (%) des graines de cresson et laitue sur les extraits de composts purs ou mélangés à l'eau distillée (/MS).

Doses	100% E	75%E+25%EC	50%E+50%EC	25%E+75%EC	100%EC
<b>C1</b>					
<b>Cresson</b>	100	65	58	54	49
<b>Laitue</b>	100	93	92	62	48
<b>C2</b>					
<b>Cresson</b>	100	85	85	58	47
<b>Laitue</b>	100	77	67	61	46
<b>C3</b>					
<b>Cresson</b>	100	77	74	67	46
<b>Laitue</b>	100	58	64	61	42
<b>C4</b>					
<b>Cresson</b>	100	92	72	64	52
<b>Laitue</b>	100	87	75	67	54

**E** : Eau distillée ; **EC** : Extrait de Compost

D'après Zucconi et al (1981), un compost est considéré comme non toxique lorsque son IG dépasse 50%. Une dose de 75% d'extrait de compost donne des indices de germination de 54 à 67% avec les graines de cresson. La même dose donne des taux d'IG de 61 à 67% avec les graines de laitue. L'extrait de compost pur (100% EC) a donné des pourcentages d'indice de germination entre 46 et 52% pour le cresson et des taux variant de 42 à 54 % pour la laitue. Les taux d'indice de germination les plus significatifs ont été obtenus avec les doses de 25% et 50% d'extrait de compost pour les deux cultures. Ces résultats montrent que le taux d'indice de germination varie avec les doses d'extraits de compost et avec le type de la culture.

#### II.4.6.2 Test de germination

Le test de germination est un moyen d'évaluation de la toxicité liée à l'incorporation des composts immatures dans le sol. Ainsi Compaoré (2010), a montré que le maïs peut être utilisé comme plante test pour l'évaluation de la phyto-toxicité des composts des résidus solides urbains.

Le Tableau 65 présente les résultats des taux de germination des graines de blé et de maïs sur les différents composts produits.

Tableau 65: Taux de germination (%) des graines de blé et de maïs sur des composts purs ou mélangés au sable (/MS).

Graine	100 %S	75%S+25%C	50%S+50%C	25%S+75%C	100%C
<b>C1</b>					
<b>Blé</b>	100	40	60	60	50
<b>Maïs</b>	100	50	50	80	10
<b>C2</b>					
<b>Blé</b>	100	50	60	60	60
<b>Maïs</b>	100	40	40	70	10
<b>C3</b>					
<b>Blé</b>	100	70	60	80	50
<b>Maïs</b>	100	80	80	80	20
<b>C4</b>					
<b>Blé</b>	100	40	60	60	50
<b>Maïs</b>	100	50	50	80	10

S : Sable ; C : Compost

Les taux de germination significativement plus élevés ont été obtenus avec l'apport de 75% de compost pour les deux cultures et les plus faibles taux de germination ont été obtenus avec l'apport de 100%C pour le maïs. L'incorporation d'une dose de 75% des différents composts donne des taux de germination entre 60% et 80% pour le blé et des taux de 70 à 80% pour le maïs. La germination varie avec la dose du compost apporté et le type de culture (Compaoré et al., 2010). Ces résultats de germination du maïs sont en accord avec ceux trouvés par Compaoré et al., (2010) et ceux de Abad Berjon et al., (1997).

#### II.5 Bilans massiques

Les bilans massiques donnent des estimations sur les composts produits à différents criblages (< 10mm et < 40mm). Les taux de compost importants sont obtenus avec les procédés du compostage 1 et 4 et les pourcentages les plus faibles sont obtenus avec les procédés 2 et 3 (Figure 49).

La différence des quantités de composts obtenues est due au processus de décomposition-dégradation des substrats, aux différences des substrats initiaux, aux fréquences de retournement et à la réintroduction des refus en tête de compostage.

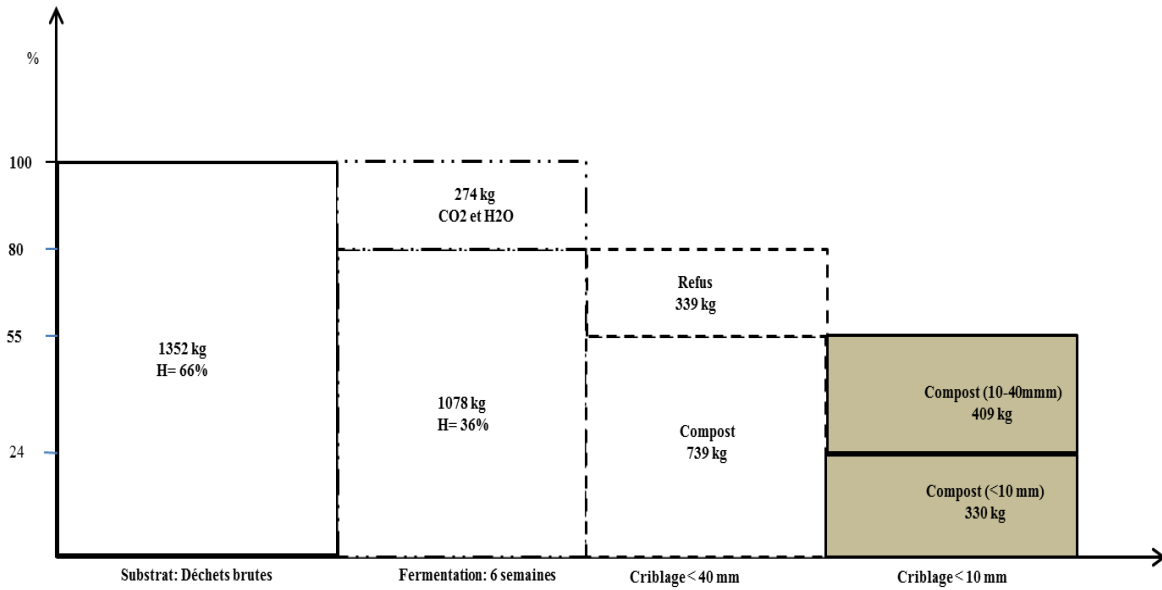


Figure 49a : Compost C<sub>1</sub>

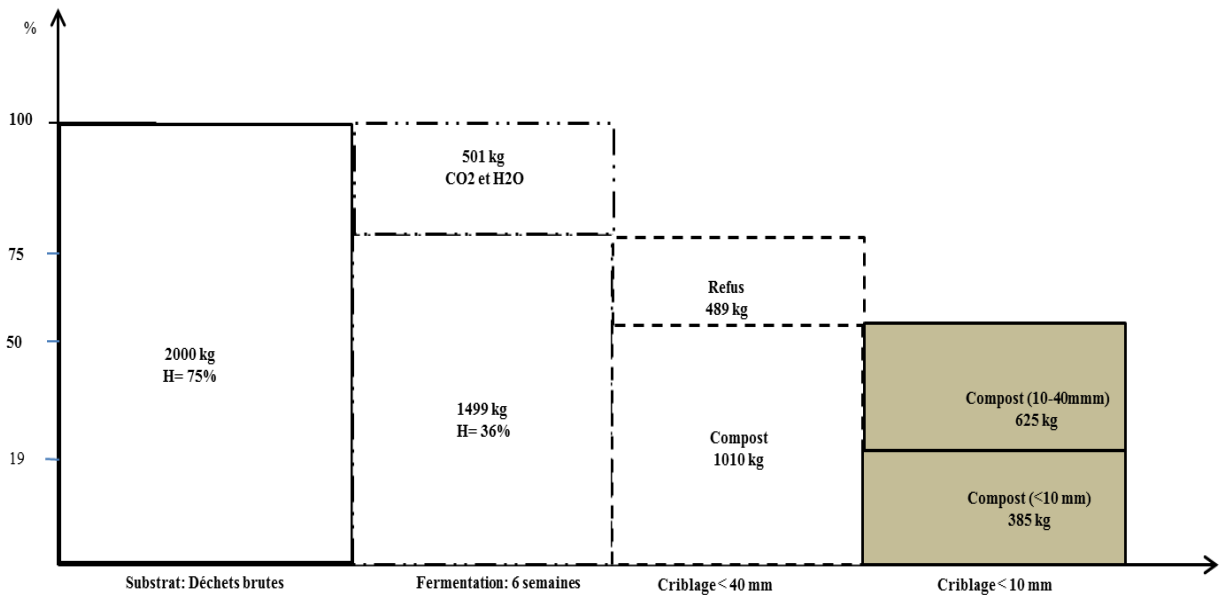


Figure 49b : Compost C<sub>2</sub>



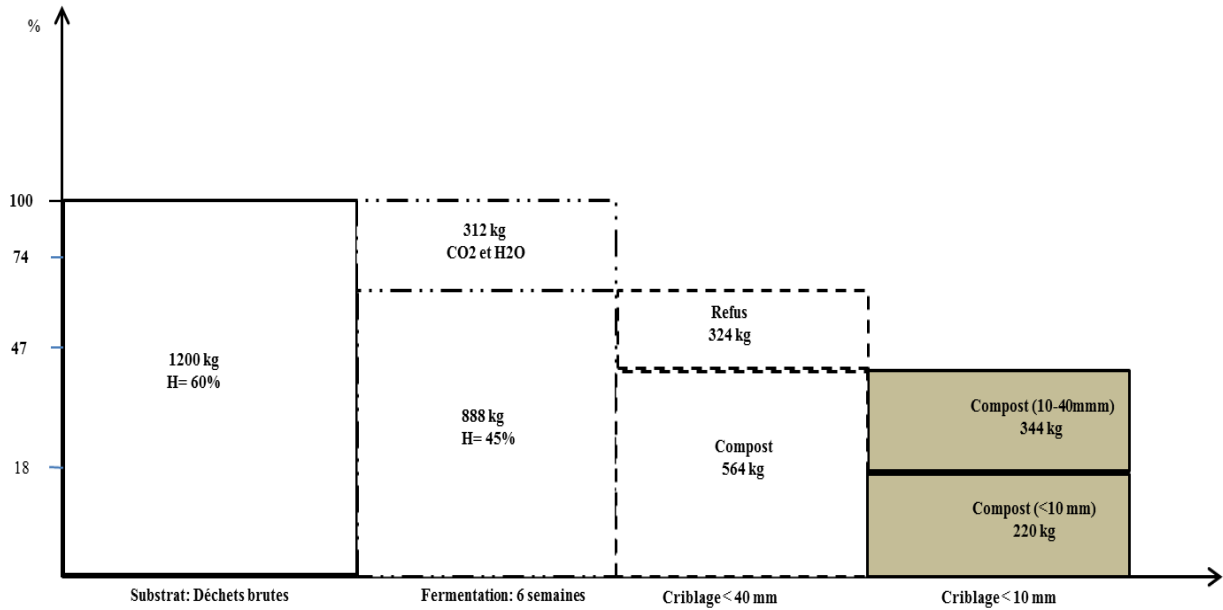


Figure 49c : Compost C<sub>3</sub>

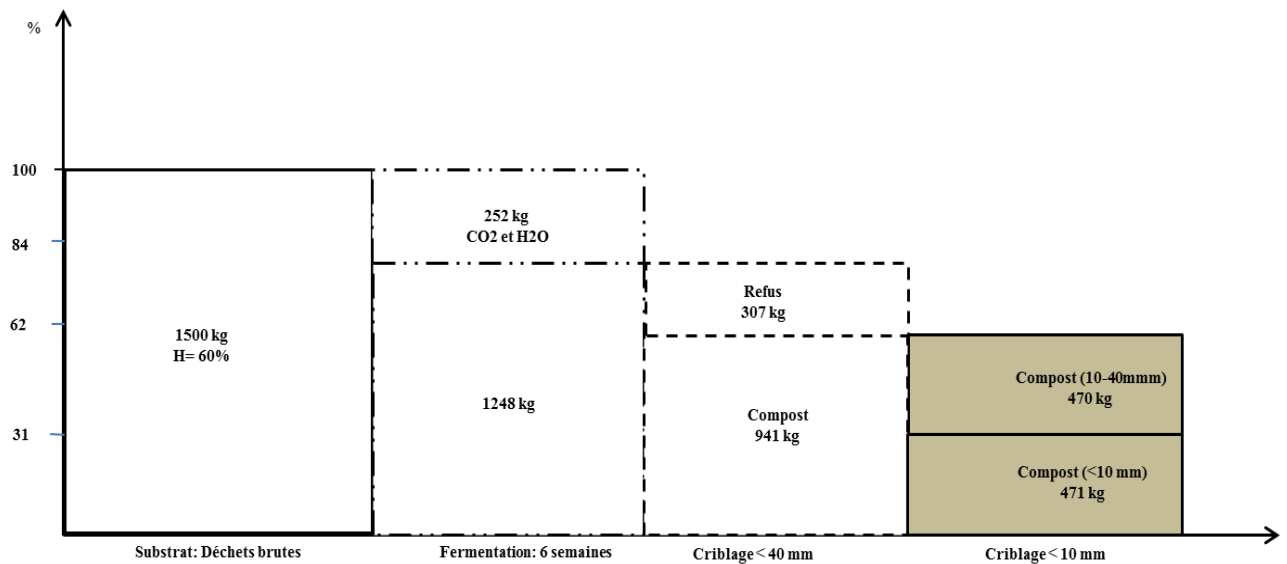


Figure 49d: Compost C<sub>4</sub>

Figure 49: Bilans matière des quatre procédés de compostage.

## II. 6 Conclusion

Cette partie expérimentale est une validation des hypothèses obtenues à partir de résultats de la caractérisation physico-chimique des RSU de la commune de Chlef. Les RSU renferment plus de 70% de déchets valorisables par compostage. Ces études ont permis de comparer quatre types du procédé de compostage (différents substrats et différentes fréquences de retournements). Les différents paramètres physico-chimiques et biologiques indiquent que les composts à la fin du processus ont un pH entre 7 et 9, des rapports C/N relativement élevés variant entre 17 et 22, une teneur en Pb dépassant la norme pouvant

s'accumuler dans le sol à long terme et passer dans la chaîne alimentaire ou polluer les nappes phréatiques. Il apparaît urgent d'instaurer un tri plus adapté qui permettra de diminuer les teneurs en ETM dans les composts produits. La présence des éléments indésirables dans les composts est remarquée et peut poser des problèmes de pollution des sols si les composts sont utilisés comme amendements organiques. Les composts ne présentent pas de phyto-toxicité. Ils contiennent des éléments nutritifs qui peuvent leur permettre de jouer un rôle de fertilisant. Les bilans massiques montrent que les taux de compost obtenu dépassent les 50% de la matière brute. Cette filière de traitement par compostage constitue une voie de production d'amendement organique qui permet d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols et par conséquent les rendements et la qualité des cultures. Enfin, ces résultats montrent que les techniques utilisées peuvent être appliquées avec succès pour la valorisation par compostage des fermentescibles de la ville.

### **III. ETUDE EXPERIMENTALE DE LA VALORISATION AGRONOMIQUE DES COMPOSTS PRODUITS**

Les résultats obtenus dans le chapitre II montrent que les composts des RSU de la commune de Chlef ne sont pas phyto-toxiques et qu'ils présentent des caractéristiques d'amendements organiques. Ils contiennent des éléments nutritifs intéressants pour la fertilisation des sols. Les teneurs en métaux sont inférieures aux normes internationales exceptées pour les concentrations en plomb des composts C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub>, respectivement égales à 308, 244 et 202 mg/kg MS. Mais, ces composts contiennent des teneurs en MO élevés qui peuvent fixer le Pb. Les procédés de compostage mis en place devront être optimisés et leurs teneurs contrôlées dans le produit final pour éviter que les métaux s'accumulent dans le sol et contaminent toute la chaîne alimentaire.

L'objectif visé dans ce chapitre est d'établir expérimentalement la valorisation agronomique des composts produits en comparant les rendements obtenus avec et sans amendement organique et/ou fertilisant chimique pour deux cultures, la pomme de terre et le navet. L'application des engrais organiques dans les sols est primordiale pour maintenir la fertilité des sols et pour augmenter la productivité des cultures. Les engrais organiques améliorent les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols. En effet, la matière organique tout en maintenant la stabilité structurale rend la structure du sol plus perméable à l'eau et à l'air (Soltner, 2003). Elle sert de support et d'aliment à l'activité biologique (Soltner, 2003), et permet également la rétention de l'eau.

Cette partie de l'étude consacrée aux effets des composts obtenus, a été réalisée sur une parcelle agricole de la station agronomique de l'université de Chlef

#### **III.1 Résultats des composts C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub> de granulométrie 10 mm (C<sub>i/10</sub>)**

Il y a lieu de signaler que les composts C1 et C2 (composts de printemps et d'été 2010) ont été utilisés pour la culture de la pomme de terre (Figure 71), par contre, les composts C3 et C4 (composts d'hiver et de printemps 2011) ont été utilisés pour la culture de navet (Figure 72). Il faut noter qu'une dose de 30t/ha d'amendements organiques a été utilisée pour chaque culture, ce qui donne un apport de 300 kg N/ha, 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha et 240 kg de K<sub>2</sub>O/ha et différentes doses d'engrais minéraux (chapitre II, matériels et méthodes).

Les deux tests agronomiques ont été réalisés sur la même parcelle de terre. L'ensemencement de la pomme de terre a été réalisé au printemps 2011. Et le deuxième test agronomique (ensemencement de navet) a été réalisé en automne 2011.

### III.1.1 Rendement de la pomme de terre

Les résultats montrent que la parcelle de terre témoin (T) donne un rendement faible par rapport aux autres parcelles. De même, la dose M des engrais minéraux appliquée dans une autre parcelle donne une quantité de pomme de terre supérieure à celle de T.

Rappel : la dose M (10 quintaux/ha, N.P.K 15.15.15 + 5 quintaux d'urée 46% N) représente la dose des engrais minéraux utilisés selon les normes appliqués dans la région de Chlef. D'après la direction d'agriculture de la wilaya de Chlef (2011), les quantités de pomme de terre obtenues avec cette dose varient entre 20 et 25 tonnes par hectare durant le printemps.

Les rendements des blocs 2 et 3 apportés par la dose  $C_{2/10}+M/2$  (Figure 50) sont significatifs (18,4 et 19,2 kg/6m<sup>2</sup>) par rapport aux rendements du témoin (8,5 et 10,5 kg/6m<sup>2</sup>). Dans le bloc 1, la dose  $C_{1/10}+M/2$  donne la plus grande quantité (15,27 kg/6m<sup>2</sup>) de pomme de terre par rapport à celle du T (12 kg/6m<sup>2</sup>). Ces résultats montrent que la minéralogie du sol change d'une parcelle à une autre. Dans la même optique, les rendements apportés par les doses des composts  $C_{1/10}$  et  $C_{2/10}$  (15,48 et 12,25 kg/6m<sup>2</sup>) sont nettement plus grands que ceux du T (8,55 et 12,07 kg/6m<sup>2</sup>) et ceux de M (7,07 et 14,41 kg/6m<sup>2</sup>). D'après ces résultats, les composts de déchets urbains valorisés selon les normes réglementaires peuvent améliorer la qualité du sol et donc la productivité.

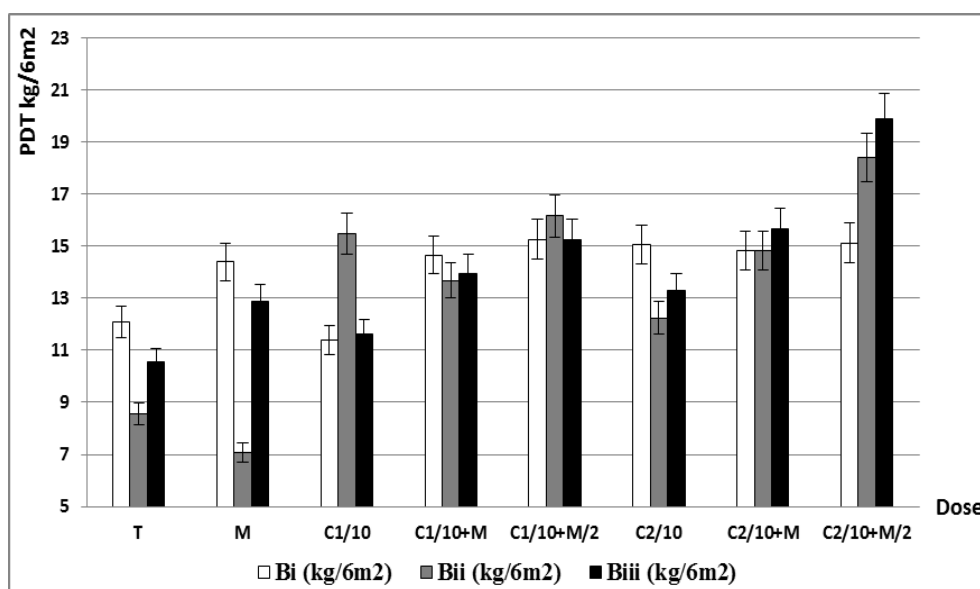


Figure 50: Rendements de récolte de la pomme de terre dans le cas des composts  $C_{1/10}$  et  $C_{2/10}$ .

L'objectif de ces tests est d'évaluer les performances agricoles des composts produits. Pour cela, le calcul des rendements à l'hectare s'avère nécessaire. Les valeurs des rendements apportées à 18 m<sup>2</sup> des trois blocs et à l'hectare sont répertoriées dans le tableau 66.

Tableau 66: Rendements de récolte de la pomme de terre dans le cas des composts C<sub>1/10</sub> et C<sub>2/10</sub>.

Traitement	T	M	C1/10	C1/10+M	C1/10+M/2	C2/10	C2/10+M	C2/10+M/2
$\Sigma B_i$ (kg/18m <sup>2</sup> ) i= 1, 2et 3	31	34	38	42	47	41	45	53
t/ha	17	19	21	24	26	23	25	30

La culture de la pomme de terre a besoin de 150 à 170kgN/ha, de 100 à120kg P/ha et de 290 à 330kg K/ha. Alors qu'une dose de 30 t/ha de composts C<sub>1/10</sub> ou C<sub>2/10</sub> additionné à une dose M correspond à un apport en éléments minéraux de 588kg N/ha, de 450kg P/ha et de 390kg K/ha. Ces doses ont donné de meilleurs rendements de pomme de terre (24t/ha et 25t/ha) par rapport aux rendements du T (17t/ha) et ceux de la dose M (19t/ha). Aussi, une dose de C<sub>1/10</sub> et une demi-dose d'engrais minéraux ont apporté des rendements significatifs (26 t/ha et 30t/ha), ces quantités sont importantes par rapport à celles obtenues avec T (17t/ha) et avec la dose M (19t/ha). Les composts mélangés aux engrais minéraux donnent des meilleurs rendements.

### III.1.2 Rendement du navet

Pour vérifier ces résultats, un autre test (ensemencement du navet) a été réalisé avec les composts C<sub>3/10</sub> et C<sub>4/10</sub>.

Rappel : la dose M' (5 quintaux/ha) d'engrais minéraux et une dose de 1,5 quintaux d'urée 46% N sont des doses appliquées dans la région de Chlef par les agriculteurs pour la culture de navet. Cette dose appliquée dans les sols donne une quantité de 7,85 t/ha de navet (direction d'agriculture de Chlef, 2011).

Dans le cas de ces tests agronomiques, il est raisonnable de comparer les rendements de navet obtenus par les composts et les rendements apportés par les composts additionnés aux engrais minéraux.

Les rendements du navet apportés par les composts C<sub>3/10</sub> et C<sub>4/10</sub> des blocs 2 et 3 sont supérieurs à ceux du T et ceux de la dose M' (Figure 51). Les rendements des doses C<sub>3/10</sub>+M'

(7,93 kg/2m<sup>2</sup>) et C<sub>4/10</sub>+M' (8,78 kg/2m<sup>2</sup>) sont importants par rapport à ceux du T (3,68 et 5,65 kg/2m<sup>2</sup>) et à ceux de la dose M' (5,98 et 4,96 kg/2m<sup>2</sup>) dans les blocs 2 et 1. Ces résultats résultent des effets retards des composts C<sub>1/10</sub> et C<sub>2/10</sub>. Les composts agissent sur la structure du sol contrairement aux engrais minéraux.

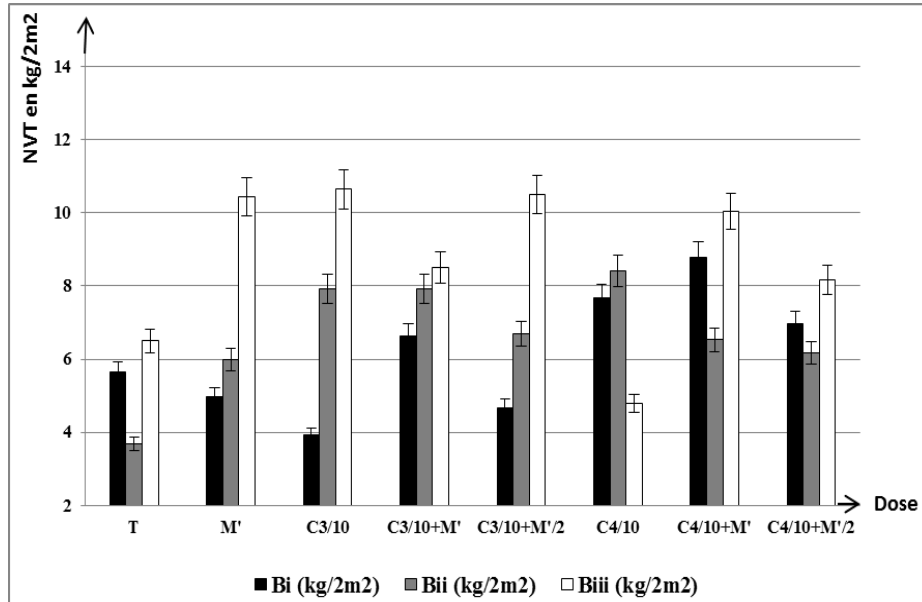


Figure 51: Rendements de récolte du navet dans le cas des composts C<sub>3/10</sub>et C<sub>4/10</sub>.

Les valeurs de la somme des rendements dans les trois blocs et le rendement à l'hectare valorisent mieux les résultats de ce test. Les rendements de navet ont été mesurés à 26 t/ha pour T et à 36 t/ha pour la dose M' (Tableau 67). Ces valeurs sont inférieures à celles apportées par les doses de C<sub>3/10</sub> (37 t/ha) et C<sub>4/10</sub> (35 t/ha). Les meilleurs rendements sont obtenus par les composts associés avec une dose d'engrais minéraux. De tels résultats indiquent que ces augmentations de rendements sont liées à l'amélioration des propriétés du sol plutôt qu'à la mise en disponibilité des éléments nutritifs résiduels (N'Dayegamlye et al, 2005).

Tableau 67: Rendements de récolte du navet dans le cas des composts C<sub>3/10</sub>et C<sub>4/10</sub>.

Traitement	T	M'	C3/10	C3/10+M'	C3/10+M'/2	C4/10	C4/10+M'	C4/10+M'/2
ΣBi (kg/18m <sup>2</sup> ) i= 1,2et 3	16	21	22	23	22	21	25	21
t/ha	26	36	37	38	36	35	42	36

Par contre, les composts additionnés à une demi-dose d'engrais minéraux ont donné la même quantité (36 t/ha) que celle obtenue la dose M'.

### III.2 Résultats des composts C1, C2, C3 et C4 de granulométrie 40mm

#### III.2.1 Rendement de la pomme de terre

D'après les résultats de la Figure 52, les rendements des doses  $C_{1/40}$  (13,66 kg/6m<sup>2</sup>) et  $C_{2/40}$  (12,97 kg/6m<sup>2</sup>) sont importants par rapport à ceux obtenus avec le témoin T (8,55 kg/6m<sup>2</sup>) et la dose M (7,07 kg/6m<sup>2</sup>).

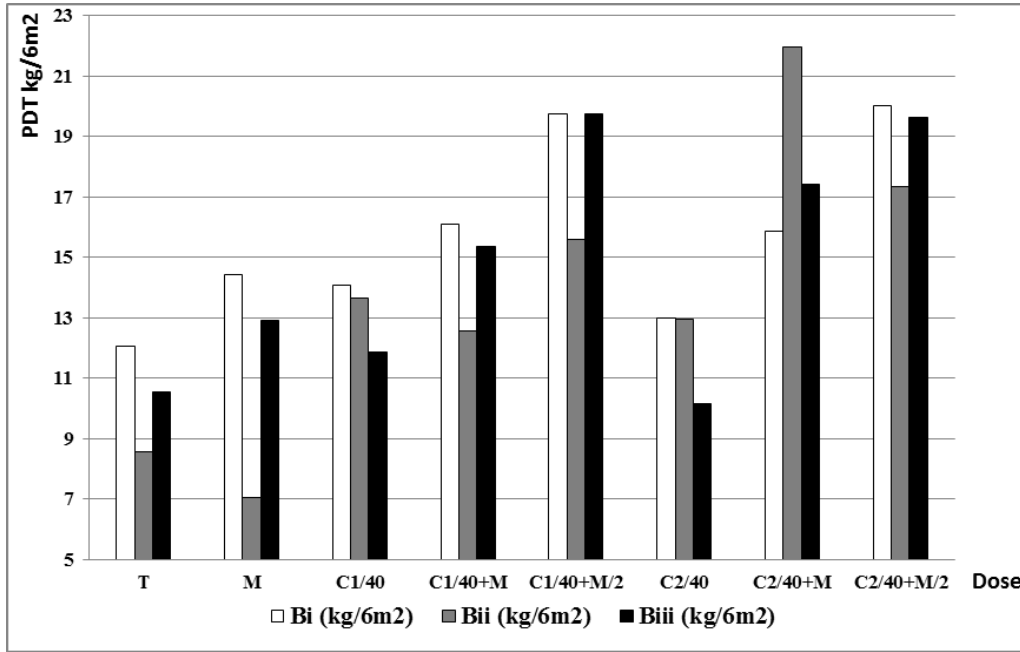


Figure 52: Résultats de récolte de la pomme de terre dans le cas des composts  $C_{1/40}$  et  $C_{2/40}$ .

Les résultats de la somme des rendements des trois blocs permettent de tirer d'autres conclusions. Les doses  $C_{1/40}+M/2$  et  $C_{2/40}+M/2$  donnent successivement 31 t/ha et 32 t/ha (Tableau 68) de pomme de terre. Ces rendements sont supérieurs à ceux obtenus avec les composts associés à une dose M (24 t/ha et 31 t/ha).

Tableau 68: Rendements de récolte de la pomme de terre dans le cas des composts  $C_{1/40}$  et  $C_{2/40}$ .

Traitement	T	M	$C_{1/40}$	$C_{1/40}+M$	$C_{1/40}+M/2$	$C_{2/40}$	$C_{2/40}+M$	$C_{2/40}+M/2$
$\Sigma Bi$ (kg/18m <sup>2</sup> ) i= 1,2et 3	31	34	40	44	55	36	55	57
t/ha	17	19	22	24	31	20	31	32

Ces résultats permettent de tirer plusieurs conclusions :

- un effet dépressif des composts  $C_{1/40}$  et  $C_{2/40}$ , déjà signalé par De Hann (1981) et Abad Berjon et al. (1997). L'effet dépressif n'est pas lié aux caractéristiques du compost, mais aux doses appliquées;
- un surdosage d'éléments minéraux;
- la pomme de terre est favorablement plus sensible à une demi-dose d'engrais minéraux additionnée à une dose de compost.

### III.2.2 Rendement du navet

Les rendements donnés par les composts de taille 40mm sont comparables à ceux apportés par les composts de taille 10mm. Le rendement le plus élevé dans ce test est donné par  $C_{3/40}$  ( $12 \text{ kg}/2\text{m}^2$ ) dans le bloc 3 (Figure 53) par rapport à celui donné par T ( $6,5 \text{ kg}/2\text{m}^2$ ) et celui donné par la dose M' ( $10,4 \text{ kg}/2\text{m}^2$ ). Dans les blocs 2 et 3, les doses  $C_{3/40}+M'$  et  $C_{4/40}+M'$  ont donné successivement  $7,9 \text{ kg}/2\text{m}^2$  et  $11,4 \text{ kg}/2\text{m}^2$ . Ces résultats sont nettement supérieurs à ceux donnés par T ( $3,6$  et  $6,52 \text{ kg}/2\text{m}^2$ ) et ceux donnés par M' ( $5,9$  et  $10,42 \text{ kg}/2\text{m}^2$ ).

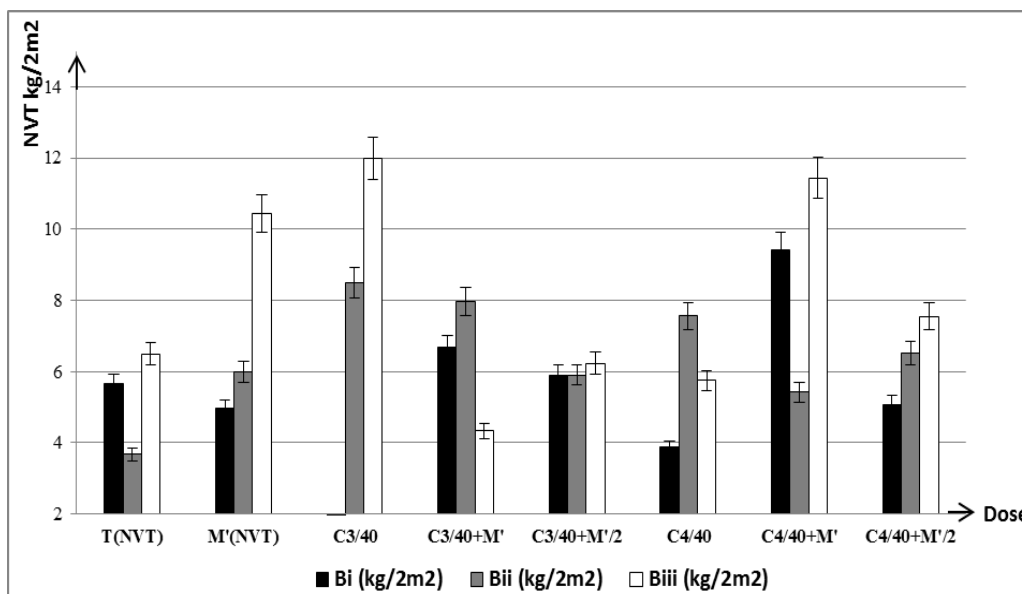


Figure 53: Rendement de récolte de navet dans le cas des composts  $C_{3/40}$  et  $C_{4/40}$ .

Pour mieux afficher les avantages des composts, la somme des rendements dans les trois blocs et les quantités produites à l'hectare est plus convaincante pour les agriculteurs (Tableau 69). Les rendements de navet obtenus avec les composts  $C_{3/40}$  et  $C_{4/40}$  ( $37 \text{ t/ha}$  et  $29 \text{ t/ha}$ ) sont nettement supérieurs à ceux trouvés avec le témoin ( $26 \text{ t/ha}$ ). Mais, les rendements du compost  $C_{3/40}$  ( $37 \text{ t/ha}$ ) sont semblables à ceux obtenus avec la dose M' ( $36 \text{ t/ha}$ ). Par contre, les performances du compost  $C_{4/40}$  ( $29 \text{ t/ha}$ ) sont inférieures à celles de la dose M' ( $36 \text{ t/ha}$ ),



mais elles sont nettement supérieures à ceux du témoin (26 t/ha). Ce constat révèle peut être un changement minéralogique de la parcelle de terre.

Tableau 69: Résultats de récolte du navet dans le cas des composts C<sub>3/40</sub> et C<sub>4/40</sub>.

Traitement	T	M'	C3/40	C3/40+M'	C3/40+M'/2	C4/40	C4/40+M'	C4/40+M'/2
$\Sigma Bi$ (kg/6m <sup>2</sup> ) i= 1,2 et 3	16	21	22	19	18	17	26	19
t/ha	26	36	37	32	30	29	44	32

Le rendement le plus élevé est obtenu avec la dose C<sub>4/40</sub>+M' (44 t/ha). Par contre, la dose C<sub>3/40</sub>+M' a donné un rendement inférieur à celui de la dose M' (36 t/ha). Les deux composts ont le même pourcentage d'azote, mais le C<sub>4/40</sub> est riche en phosphore par rapport au compost C<sub>3/40</sub>. Les apports des composts riches en éléments minéraux et en oligo-éléments semblent corriger la carence en éléments fertilisants du sol utilisé au cours de ces tests agronomiques.

### **III.3 Résultats de mélange des composts C<sub>i/10</sub> et C<sub>i/40</sub>**

#### **III.3.1 Rendement de la pomme de terre**

Le rendement de la pomme de terre avec les apports des deux composts C<sub>1/10</sub> + C<sub>1/40</sub> (20 t/ha) est supérieure de 3 t/ha à celui du témoin et le rendement des composts C<sub>2/10</sub> + C<sub>2/40</sub> (24 t/ha) est supérieur de 7 t/ha à celui de T (17 t/ha) (Tableau 70). L'incorporation des composts dans les sols arables augmente leur richesse en éléments fertilisants ainsi que leur capacité d'adsorption des colloïdes minéraux (Mémento de l'agronome, 1992 et Delas et Goulas, 1973). Le compost C2 (fins + grossiers) a un effet supérieur sur la culture de la pomme de terre que celui du compost C1 (fins + grossiers) parce que, le compost C1 est riche en phosphore, en magnésium et en calcium par rapport au compost C2. De même, les rapports C/N du compost C2 sont inférieurs à ceux du compost C1, ce qui évite plus efficacement l'immobilisation de l'azote dans les composts C2 par rapport au compost C1 (Farinet et Niang, 2005).

Tableau 70: Rendements de récolte de la pomme de terre avec le mélange des composts C1 et C2.

Cultures : Pomme de terre				
Traitement	T	M	C1/10+C1/40	C2/10+C2/40
$\Sigma Bi$ (kg/18m <sup>2</sup> ) i= 1, 2et 3	31	34	37	44
t/ha	17	19	20	24

### III.3.2 Rendement du navet

Les apports des composts  $C_{3/10} + C_{3/40}$  et des composts  $C_{4/10} + C_{4/40}$  ont donné des rendements de navet supérieurs au rendement obtenu avec la dose M', respectivement de 4 t/ha et de 2 t/ha (Tableau 71). Les composts C4 ont un meilleur effet sur la production de navet que les composts C3. Ces résultats confirment que la disponibilité des éléments nutritifs nécessaires agit à long terme sur les plantes. D'après Soltner (2003), la bonne croissance des plantes n'est pas seulement liée aux éléments majeurs (azote, phosphore et potassium) mais, à la disponibilité suffisante des oligo-éléments (Mg, Zn, Cu, Na, Ca).

Tableau 71: Rendements de récolte du navet avec le mélange des composts C3 et C4.

Cultures : Navet				
Traitement	T	M'	C3/10+C3/40	C4/10+C4/40
$\Sigma Bi$ (kg/6m <sup>2</sup> ) i= 1, 2et 3	16	21	24	23
t/ha	26	36	40	38

Les résultats obtenus avec les composts C3 et C4 montrent une différence successivement de 14 t/ha et de 12 t/ha par rapport à ceux du rendement de T. Ces rendements, significativement élevés, sont dus vraisemblablement aux apports en éléments fertilisants des composts C1 et C2 dans le cas de l'ensemencement précédent de la pomme de terre.

## III.4 Résultats de mélange des composts C1, C2, C3 et C4 avec les engrais minéraux

### III.4.1 Rendement de la pomme de terre

Une dose de  $C_{1/10}+C_{1/40}+M$  donne un rendement (50 t/ha) supérieur de 11 t/ha à celui de T (17 t/ha) et de 9 t/ha à celui de la dose M (19 t/ha). Le compost  $C_{2/10}+C_{2/40}+M$  donne la

même production (50 t/ha) de pomme de terre que celui du compost C1 mélangé avec M (Tableau 72).

Tableau 72: Rendements de la pomme de terre pour des mélanges des composts C1 et C2 et d'engrais minéraux.

Cultures : Pomme de terre						
Traitements	T	M	C1/10+C1/40 +M	C1/10+C1/40 +M/2	C2/10+C2/40 +M	C2/10+C2/40 +M/2
$\Sigma bi$ (kg/18m <sup>2</sup> ) i= 1, 2et 3	31	34	50	49	50	49
t/ha	17	19	28	27	28	27

Cet effet est justifié par la présence des éléments nutritifs à l'état organique dans les composts qui se minéralisent lentement. Les composts C1 ou C2 à différentes granulométries additionnés à une dose ou une demi-dose d'engrais minéraux donnent le même rendement de pomme de terre.

#### III.4.2 Rendement du navet

Les doses  $C_{3/10}+C_{3/40}+M'$  et  $C_{4/10}+C_{4/40}+M'$  agissent sensiblement de la même façon sur la productivité du navet (Tableau 73). Les résultats montrent que l'augmentation varie entre 16 t/ha et 17 t/ha par rapport à celle de la parcelle témoin (26 t/ha) et elle varie entre 6 t/ha et 7 t/ha par rapport à celle de  $M'$  (36 t/ha). Ces faibles différences de rendements sont vraisemblablement en relation avec la fertilisation du sol traité précédemment par les composts C1 et C2. Les composts incorporés dans les sols arables améliorent les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol dans le temps. Bouzaine et al., (2007), confirment une augmentation notable de la matière organique du sol et de la biomasse microbienne dans une parcelle de terre traitée par un compost.

Tableau 73: Rendements de navet pour des mélanges de composts C3 et C4 et engrais minéraux.

Cultures : Navet						
Traitement	T	M'	C3/10+C3/40 +M'	C3/10+C3/40 +M'/2	C4/10+C4/40 +M'	C4/10+C4/40 +M'/2
$\Sigma bi$ (kg/18m <sup>2</sup> ) i= 1, 2et 3	16	21	25	25	26	25
t/ha	26	36	42	42	43	41

By Abigail et Maynard (2000), ont obtenu des rendements importants de tomates par rapport à la parcelle zéro (parcelle témoin), lorsqu'ils ont utilisé un compost conjointement avec des engrais minéraux.

Les doses des composts à différentes granulométries additionnées à des demi-doses ou à des doses d'engrais minéraux donnent sensiblement les mêmes résultats. L'application répétée des composts améliore progressivement la productivité du sol. Une étude analogue en Italie a montré que les composts des déchets solides ménagers augmentaient le rendement de la betterave à sucre et du thé (Crecchio et al. 2004).

### **III. 5 Conclusion**

Ces tests agronomiques ont montré que les composts des RSU à différentes granulométries 10 et 40 mm agissent comme des amendements organiques et améliorent rapidement la fertilité du sol. Les composts additionnés d'engrais minéraux augmentent les rendements culturels de la pomme de terre et de navet. Une question demeure, celle d'une part de l'efficacité de ces amendements vis à vis d'autres cultures, grande cultures comme les céréales ou cultures maraîchères comme la tomate, les oignons, etc.

Il faut considérer les dangers de contamination des sols et de toute la chaîne alimentaire par les métaux. Il est indispensable de fixer des normes mais, de vérifier leur application. Les limites en ETM et en impuretés tolérées par la norme NFU 44 051 donnent un premier cadre réglementaire mais, il est nécessaire que l'Algérie se munisse d'une réglementation nationale qui puisse assurer une qualité reconnue par tous, et pour tous les composts produits à partir des RSU. La production des composts à partir des déchets ménagers pourrait alors participer à la diminution de l'utilisation souvent exagérée d'engrais chimiques.

Mais la R & D (recherche et développement) doit pouvoir accompagner cette utilisation des composts urbains en agriculture en s'attachant à étudier leurs effets sur les sols et notamment la dissémination des polluants métalliques.

## **IV. MISE EN PLACE DE LA FILIERE DE COMPOSTAGE DES RSU A CHLEF**

Ce chapitre est une synthèse des résultats obtenus dans le cadre de cette étude. Elle concerne la caractérisation physico-chimique des RSU, le procédé de compostage, la caractérisation chimique des différents composts produits et les tests agronomiques. Il traite la relation entre besoin des sols et apports des composts. L'objectif final est l'extrapolation de ce travail de laboratoire vers l'industriel, c'est-à-dire la mise en place d'une plate-forme de compostage qui traite les déchets compostables générés par la commune, et pourquoi pas, à plus grande échelle, ceux de toute la wilaya de Chlef et ceux des wilayas limitrophes. Le choix du procédé de compostage adéquat, à travers cette expérience est une clé d'intégration et de pérennisation de cette filière dans la gestion des déchets, ce qui nécessite d'intégrer le recyclage de certains matériaux non biodégradables et le stockage des déchets ultimes.

### **IV.1 Relation entre besoin des sols de la wilaya et apport de compost urbain**

La wilaya de Chlef a une vocation agricole. Plus de 203 000 ha est la surface agricole utile (SAU) et 18 000 ha est une surface agricole irriguée (SAI) (Direction de l'agriculture de la wilaya, 2010).

Les sols de la région de Chlef sont généralement argileux. On trouve des textures limoneuses et sableuses avec des intermédiaires, argileux-limoneux et limono-sableux. Tous ces types de sols sont très pauvres en matière organique dont la teneur varie entre 0 et 2%. La fumure organique est très faiblement utilisée faute d'élevages (bovin et ovin). La consommation des engrais reste faible (40913 quintaux/an) à cause de plusieurs contraintes à savoir : -la plupart des agriculteurs n'ont pas d'actes de propriétés pour leurs terres ce qui les empêchent à se procurer des engrais minéraux ; -le prix des engrais est de plus en plus couteux ; -la non disponibilité des engrais aux moments opportuns. Pour cela, la production locale du compost est indispensable. Mais la qualité du compost produit doit respecter les principales normes réglementaires environnementales. Les apports des engrais minéraux (NPK) actuellement sont de 40913 quintaux/an et les besoins sont de 24548 quintaux/an. Le Tableau 74 illustre les apports et les besoins en NPK d'après les résultats de la campagne agricole 2010/2011 de la wilaya de Chlef.

Tableau 74: Besoins en fertilisants dans la wilaya de Chlef (Direction de l'agriculture de la wilaya, campagne agricole 2010/2011).

Type de fertilisant	Quintaux/an	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>N.P.K 11. 15. 15</b>	7855	864	1178	1178
<b>P.K. (20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. 25% K<sub>2</sub>O)</b>	40	-	8	10
<b>TSP 46% (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	8446	3885	-	-
<b>Phosfert (12% N. 52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	599	72	312	-
<b>Urée 46% (46% N)</b>	17231	7926	-	-
<b>Fosfatyl (3% N. 22% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	5005,5	150	1101	-
<b>SULFAMMO (23% N. 24%S)</b>	1736,5	400	-	-
<b>Besoins (quintaux/an)</b>	40913	13297	2599	1188
<b>Apports (quintaux/an)</b>	24548	7978	1559	713
<b>Manque (quintaux/an)</b>	16365	5319	1040	475

La présente étude a été conduite en vue de compenser les besoins d'engrais organiques dans la wilaya de Chlef. Les apports en fertilisants des composts produits à partir des déchets solides ménagers générés dans la commune ainsi que, dans la wilaya sont répertoriés dans les Tableaux 75 et 76.

Tableau 75: Estimation des apports en fertilisants par la production de composts C10 et C40 sur la commune de Chlef.

Commune Déchets : 120 t/j											Total C10+ C40 (t/an)
	kg/t DB	kg/t DB	t/ jour	t/an		kg/t DB	kg/t DB	t/jour	t/an		
	<b>C1/10</b>	<b>244</b>		<b>29</b>	<b>10585</b>	<b>C1/40</b>	<b>303</b>		<b>36</b>	<b>13140</b>	
	N %	0,7	1,7	0,049	19,9	N %	0,8	2,4	0,093	34	<b>53,9</b>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,7	1,7	0,049	19,9	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	1	3,0	0,108	39	<b>58,9</b>
	K <sub>2</sub> O%	1	2,4	0,069	25	K <sub>2</sub> O%	1	3,0	0,108	39	<b>64</b>
	<b>C2/10</b>	<b>192,5</b>		<b>23</b>	<b>8395</b>	<b>C2/40</b>	<b>312,5</b>		<b>37</b>	<b>13505</b>	
	N %	0,9	1,7	0,039	14	N %	1,01	3,1	0,114	41	<b>55</b>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	1,4	2,7	0,062	22	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	1,6	5,0	0,185	67	<b>89</b>
	K <sub>2</sub> O%	0,7	1,3	0,029	10	K <sub>2</sub> O%	0,7	2,2	0,081	29	<b>39</b>
	<b>C3/10</b>	<b>183</b>		<b>22</b>	<b>8030</b>	<b>C3/40</b>	<b>286,7</b>		<b>34</b>	<b>12410</b>	
	N %	1,09	2,0	0,044	16	N %	1,27	3,6	0,122	44	<b>60</b>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,4	0,7	0,015	5	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,5	1,4	0,047	17	<b>22</b>
	K <sub>2</sub> O%	0,9	1,6	0,035	12	K <sub>2</sub> O%	0,8	2,3	0,078	28	<b>40</b>
	<b>C4/10</b>	<b>314</b>		<b>37</b>	<b>13505</b>	<b>C4/40</b>	<b>313</b>		<b>37</b>	<b>13505</b>	
	N %	1,14	3,6	0,133	48	N %	1,19	3,7	0,136	49	<b>97</b>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,9	2,8	0,103	37	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	1	3,1	0,114	41	<b>78</b>
	K <sub>2</sub> O%	0,8	2,5	0,092	33	K <sub>2</sub> O%	0,7	2,2	0,081	29	<b>62</b>

C: Compost ; DB: Déchets Bruts ; t: tonne

Tableau 76: Estimation des apports en fertilisants par la production de composts C10 et C40 sur la wilaya de Chlef.

Wilaya Déchets : 753 t/j		kg/t DB	kg/t DB	t/ jour	t/an		kg/t DB	kg/t DB	t/jour	t/an	Total C10+ C40 (t/an)
	<b>C1/10</b>	<b>244</b>		<b>183</b>	<b>66795</b>	<b>C1/40</b>	<b>303</b>		<b>228</b>	<b>83220</b>	
	N %	0,7	1,7	0,311	<b>113</b>	N %	0,8	2,4	0,547	<b>199</b>	<b>312</b>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,7	1,7	0,311	<b>113</b>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	1	3,0	0,684	<b>249</b>	<b>362</b>
	K <sub>2</sub> O%	1	2,4	0,439	<b>160</b>	K <sub>2</sub> O%	1	3,0	0,684	<b>249</b>	<b>409</b>
	<b>C2/10</b>	<b>192,5</b>		<b>144</b>	<b>52560</b>	<b>C2/40</b>	<b>312,5</b>		<b>235</b>	<b>85775</b>	
	N %	0,9	1,7	0,244	<b>89</b>	N %	1,01	3,1	0,728	<b>265</b>	<b>354</b>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	1,4	2,7	0,388	<b>141</b>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	1,6	5,0	1,175	<b>428</b>	<b>569</b>
	K <sub>2</sub> O%	0,7	1,3	0,187	<b>68</b>	K <sub>2</sub> O%	0,7	2,2	0,517	<b>188</b>	<b>256</b>
	<b>C3/10</b>	<b>183</b>		<b>137</b>	<b>50005</b>	<b>C3/40</b>	<b>286,7</b>		<b>215</b>	<b>78475</b>	
	N %	1,09	2,0	0,274	<b>100</b>	N %	1,27	3,6	0,774	<b>282</b>	<b>382</b>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,4	0,7	0,095	<b>35</b>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,5	1,4	0,301	<b>109</b>	<b>144</b>
	K <sub>2</sub> O%	0,9	1,6	0,219	<b>80</b>	K <sub>2</sub> O%	0,8	2,3	0,494	<b>180</b>	<b>260</b>
	<b>C4/10</b>	<b>314</b>		<b>236</b>	<b>86140</b>	<b>C4/40</b>	<b>313</b>		<b>235</b>	<b>85775</b>	
	N %	1,14	3,6	0,849	<b>310</b>	N %	1,19	3,7	0,869	<b>317</b>	<b>627</b>
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,9	2,8	0,660	<b>241</b>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	1	3,1	0,728	<b>265</b>	<b>506</b>
	K <sub>2</sub> O%	0,8	2,5	0,590	<b>215</b>	K <sub>2</sub> O%	0,7	2,2	0,517	<b>188</b>	<b>403</b>

C: Compost ; DB: Déchets Bruts ; t: tonne

Les résultats de cette estimation montrent que les composts produits au niveau de la wilaya couvrent largement les besoins exprimés en éléments NPK. Le compost de RSU présente un autre avantage pour la wilaya de Chlef et les wilayas limitrophes du fait de la matière organique des composts qui pourra compenser les insuffisances en matière organique des sols agricoles de la wilaya

## IV.2 Analyse du gisement des déchets disponibles

La population de la commune est estimée à 159 641 habitants, produisant une quantité de déchets de 120 tonnes par jour, ce qui correspond à une ration de 0,7 kg/habitant/jour. La production de déchets dans la wilaya est estimée à 753 tonnes par jour si on conserve ce ratio de 0,7 kg/habitant/jour pour une population estimée à 1 002 088 habitants.

### IV.2.1 Composition moyenne journalière par habitant

#### IV.2.1.1 Dans la commune de Chlef

Dans le cadre de cette étude, les campagnes de caractérisation physique des RSU ont donné la répartition de 13 catégories selon les zones d'études et les saisons. Ces déchets sont constitués en moyenne de 60% de putrescibles et de 40% des autres catégories. Le Tableau 77 suivant illustre la production journalière moyenne des différentes catégories par habitant.

Tableau 77: Production moyenne des catégories de déchets dans la commune de Chlef.

<b>Catégories</b>	<b>Production/jour (kg/j)</b>	<b>Ratio de production (kg/hab/j)</b>
1-Putrescibles	78246	0,5
2 -Papiers	3347	0,02
3 -Cartons	5386	0,03
4-Composites	2296	0,01
5-Textiles	2657	0,01
6-Textiles sanitaires	9280	0,05
7-Plastiques	10301	0,06
8-CNC	530	0,00
9-Verre	2205	0,01
10-Métaux	1673	0,01
11-INC	1133	0,01
12-Déchets dangereux	734	0,00
13-Matières fines	2228	0,01

Ces données sont des outils d'informations sur la quantité des déchets générés par catégorie. D'après les données en terme de catégories, on remarque que les putrescibles prédominent avec une quantité moyenne journalière de 78246 kg et une quantité de 8733 kg de papiers-cartons, ce qui donne une estimation en moyenne de la partie fermentescible à 86979 kg par jour. Les plastiques générés sont en moyenne de 10301 kg par jour, les verres, métaux, les CNC et la matière fine sont des quantités minoritaires dans la composition des déchets générés.

#### **IV.2.1.2 Dans la wilaya de Chlef**

Le Tableau 78 donne une estimation du flux journalier des catégories de déchets générés au niveau de la wilaya et des ratios de production de chaque catégorie.



Tableau 78: Production moyenne des catégories de déchets dans la wilaya de Chlef.

Catégories	Production/jour (kg/j)	Ratio de production (kg/hab./j)
1-Putrescibles	490994	0,5
2 -Papiers	21002	0,02
3 -Cartons	33797	0,03
4-Composites	14407	0,01
5-Textiles	16673	0,01
6-Textiles sanitaires	58232	0,05
7-Plastiques	64639	0,06
8-CNC	3326	0,00
9-Verre	13836	0,01
10-Métaux	10498	0,01
11-INC	7110	0,01
12-Déchets dangereux	4606	0,00
13-Matières fines	13981	0,01

Au niveau de la wilaya, le classement des différentes catégories reste le même que celui de la commune, mais avec des taux de production plus élevés. Sachant que les fermentescibles sont de 65%, les textiles 2%, les plastiques 8,5%, les CNC 0,4%, le verre 1,8% et les métaux 1,4% par rapport au taux de déchets générés quotidiennement. Ce qui donne un taux de 79,1% de déchets qui peut être valorisé. Un taux non négligeable pour proposer des modes de traitements pérennes et pour éviter la récupération informelle de certaines catégories (plastiques (bouteilles en PET), cartons, verres et métaux).

#### **IV.2. 2 Gisements des déchets valorisables par compostage**

Les putrescibles, papiers et cartons sont valorisables par compostage qui est une voie possible en tenant compte de leurs paramètres chimiques (humidité et teneur en matière organique) pour obtenir un compost de bonne qualité. Cette filière concerne un gisement de 31 390 tonnes par an au niveau de la commune et 200 428 tonnes par an au niveau de la wilaya. Donc, un pourcentage de 72% de déchets valorisables par compostage. Les teneurs en eau des fermentescibles varient entre 40% et 88% avec une valeur moyenne de 64% et celle de leur teneur en matière organique oscille entre 40% et 86% avec une teneur moyenne de 63%. Ces teneurs en humidité et en matière organique sont favorables à un traitement par compostage.

Actuellement, le compostage est quasi inexistant en Algérie et le développement du niveau de la population progresse, ce qui conduit à la génération de grandes quantités de déchets. Ces taux récupérées par le système de gestion des déchets se retrouvent dans le circuit de rejet « tout à la décharge ». La fraction fermentescible constitue la partie importante de ces déchets et le meilleur mode de traitement de cette fraction serait alors sa valorisation en compost.

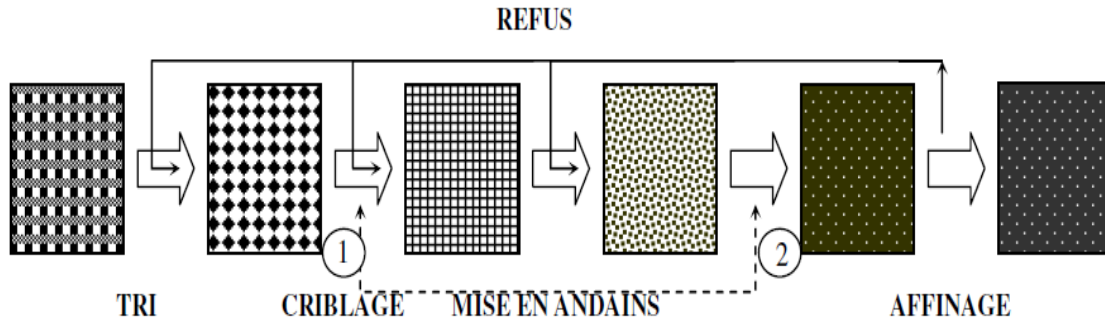
#### **IV.2.3 Gisements des déchets recyclables**

Les déchets concernés par le recyclage sont le verre, certaines sous-catégories de plastiques (bouteilles en PVC et en PET), les textiles et les métaux. L'ensemble constitue un gisement de 14% du flux total des RSU. Ce pourcentage faible devant celui des putrescibles, peut toutefois constituer une source d'économie aussi bien en ressources naturelles qu'en énergie. Cette approche mérite d'être prise en considération à condition de la mise en place d'une politique de tri à la source.

Il y a lieu de mentionner que le verre est le seul matériau infiniment recyclable sans perdre, pour autant ses qualités. L'incinération des plastiques dégage des toxines, donc leur réutilisation ou recyclage constituent la seule solution la plus adéquate du point de vue écologique et économique. Généralement, les textiles regroupent les vêtements et les chaussures usagées, leur mise à la disposition de la population par le biais de leur collecte dans des points d'apports, constitue une solution rationnelle. Les métaux ferreux ont des impacts néfastes sur les nappes phréatiques si on considère le lixiviat qu'ils génèrent quand ils sont enfouis dans les CET.

#### **IV.3 Choix du procédé de compostage**

La caractérisation physico-chimique des RSU de la commune de Chlef a confirmé le choix d'un traitement par le procédé de compostage de la partie fermentescible des déchets dans des conditions spécifiques. Dans ce contexte, la filière compostage repose sur plusieurs étapes (Figure 54) : - la collecte sélective ; - la réception des déchets sur l'aire de compostage ; - la mise en andain ; - le retournement et l'arrosage ; - la maturation et le criblage.



1 et 2 : criblage

Figure 54: Synoptique du procédé de compostage.

#### IV.3.1 Tri

Dans le cadre de cette thèse, le procédé de compostage et les résultats d'analyses des différents composts montrent l'importance du tri des déchets avant leur mise en andains. Les résultats d'analyse ont montré que la teneur en Pb dans les composts  $C_{2/10}$ ,  $C_{2/40}$ ,  $C_{3/10}$ ,  $C_{3/40}$ ,  $C_{4/10}$  et  $C_{4/40}$  dépassent généralement la limite de 180 mg/kg inscrite dans la norme NFU 44 051. De ce fait, le tri-compostage est une solution adéquate pour obtenir un compost de qualité pour éviter des teneurs excessives en ETM dans les composts produits.

#### IV.3.2 Mise en andain

Pour cette étude, il a été décidé d'opter pour des andains trapézoïdaux selon les conditions climatiques de la région. Les andains avaient des hauteurs de 1,2 m à 2 m, leur longueur de 7 m à 9 m et des bases de 1,5 m à 2,5 m. La mise en andains trapézoïdaux a mis en évidence leur aptitude au stockage de l'eau en cas de sécheresse, et leur aptitude à évacuer l'eau dans le cas de fortes précipitations. Les andains trapézoïdaux sont donc recommandés pour une optimisation du procédé de compostage en andain à Chlef.

#### IV.3.3 Retournement

L'aération des andains est importante surtout pendant les premières semaines du compostage (phases mésophile, thermophile et refroidissement). Les deux fréquences choisies et testées pendant ces expériences ont montré que les retournements sont nécessaires pour la dégradation des matériaux. Une aération au début de la fermentation jusqu'à la maturation est recommandée surtout dans le cas de la présence des CNC dans les andains, et aussi dans le cas de la réintroduction des refus à la tête d'un compostage. D'après ce travail, les retournements des andains retenus sont : 2<sup>ème</sup> jour, 4<sup>ème</sup> jour, 8<sup>ème</sup> jour, 15<sup>ème</sup> jour, 30<sup>ème</sup> jour,

7<sup>ème</sup> semaine, 9<sup>ème</sup> semaine et 11<sup>ème</sup> semaine. Ces fréquences sont idéales au cours d'un processus de compostage des déchets solides urbains.

#### IV.3.4 Arrosage

Pendant la phase de fermentation, la teneur en eau diminue quand la température augmente et les retournements sont rapprochés. L'arrosage est utile pour maintenir le taux d'humidité entre 50 et 60%. D'après les expériences de compostage, l'arrosage était important pendant l'été malgré la présence d'un pourcentage élevé des putrescibles.

Pendant la saison de l'hiver, la protection de l'andain 3 s'est avérée nécessaire à cause des intempéries (plate-forme non couverte). Donc une plate-forme couverte est recommandée pour une meilleure gestion de l'eau et pour mieux contrôler les apports d'eau nécessaires.

#### IV.3.5 Affinage par criblage et stockage

Les composts en fin de maturation ont été criblés par des tamis respectifs de maille carrée 10 et 40 mm. Après cette opération, les composts ont été stockés sous la toiture (deuxième partie de la plate-forme). Le stockage peut durer de 3 à 4 mois avant son utilisation.

Suite à ces techniques expérimentées à l'échelle pilote, une plate-forme de compostage à l'échelle industrielle peut être envisagée sans oublier de mettre en place un véritable suivi et de contrôle du procédé et de la qualité du compost produit. Des guides d'expertise ont été élaborés (Bouhadiba et al., 2010) dans ce but en fixant des indicateurs de performance du procédé. Le schéma de la figure 55 permet de classer ces différents paramètres.

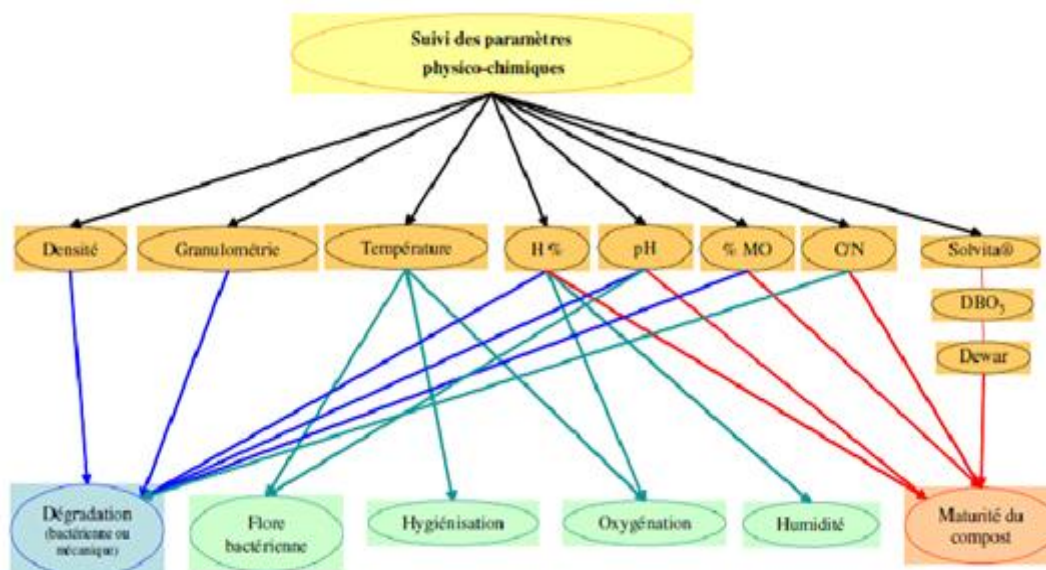


Figure 55: Signification des différents paramètres de suivi du compostage (Charnay, 2005).

#### **IV.4 Intégration du compostage dans la filière gestion des déchets**

Actuellement, en Algérie, l'aménagement des sites de décharges contrôlées est la seule action mise par PROGDEM depuis 2002 dans la plupart des grandes villes algériennes. Cette technique de gestion reste inadaptée compte tenu des grands volumes de lixiviats générés, récupérés mais non traités dans plusieurs wilayas. Ce moyen d'élimination des déchets reste insuffisant au vu des grandes quantités de déchets collectés et déposés dans des décharges sauvages suite à l'engorgement des centres d'enfouissement techniques. Le problème des nuisances du point de vue sanitaire et environnemental persiste malgré les grands efforts des EPIC (Entreprises Publics à caractères Industriel et Commercial), mis en place par les directions de l'environnement dans chaque wilaya. Ces EPIC sont chargées des activités de tri, de collecte, de transport, de traitement, de valorisation et d'élimination des déchets mais, ils se doivent d'élaborer des actions pour la récupération et la valorisation des déchets d'emballage.

Plusieurs tentatives de la part des institutions gouvernementales ont réussi à trouver quelques solutions adaptées à une gestion intégrée des RSU mais, les nuisances persistent toujours. D'autres tentatives ont été expérimentées mais elles sont restées dans le domaine confidentiel de la recherche universitaire. On peut citer à titre d'exemples, Mezouri Fadila de l'EPAU d'Alger (2010), qui a mené une étude expérimentale sur deux sites (CET d'El.Outaya à Biskra et CET d'Ouled Fayet à Alger) à climat différent. Cette dernière a montré qu'un suivi expérimental des différents paramètres (densité, humidité, MO, teneur en carbone, teneur en ETM, capacité de rétention, T°C et perméabilité) peut améliorer la conception et l'exploitation des CET au niveau du territoire algérien. Cette expérience a montré que l'enfouissement de tous les déchets solides urbains dans les CET n'est pas une fatalité.

Une autre étude a été menée dans le même domaine, Bouhadiba Brahim de l'UST d'Oran (thèse en cours) propose des scénarios qui prennent en compte la valorisation par compostage des fermentescibles, la gestion spécifique des déchets dangereux et des filières de recyclage des autres déchets (papiers-cartons, plastiques et métaux). Il propose plus particulièrement des scénarios d'acheminement vers le compostage avec en amont, l'organisation nécessaire pour la pérennisation de la filière compostage compte tenu des taux élevés des fermentescibles dans les déchets ménagers d'Oran.

Ce travail confirme l'approche proposée par ces deux chercheurs, à savoir l'intégration du compostage ainsi que sa pérennisation dans la filière gestion des déchets plus particulièrement à Chlef avec une méthodologie pour un suivi à long terme.

## IV.5 Méthodologie pour un suivi à long terme de qualité de compostage

La filière de compostage peut être une alternative appropriée par sa technologie relativement rustique mais, d'autres arguments plaident en faveur de cette filière et résident dans la disponibilité de matière organique issue des déchets pour des sols qui en manquent. Le compostage peut générer des composts à grande valeur minérale et organique. Mais, il faut optimiser le tri pour réduire largement les substances indésirables comme les inertes et les métaux. Il est important de souligner aussi la participation, à l'amont et à l'aval, de la population pour contribuer de manière significative à l'intégration du compostage dans la gestion des déchets, et l'obtention d'un compost qui répond aux normes environnementales et aux besoins de l'agriculture locale. Mais, plusieurs points sont à appréhender et vérifier.

### IV.5.1 Composition des déchets entrants

Le CET de la commune de Chlef reçoit 120 t/j de déchets ménagers. D'après, la caractérisation physique, les déchets entrant au niveau du CET de Meknassa sont constitués de 13 catégories et 5 sous-catégories. La figure 56 donne une estimation de la composition journalière de toutes les catégories entrantes dans le CET de la commune de Chlef.

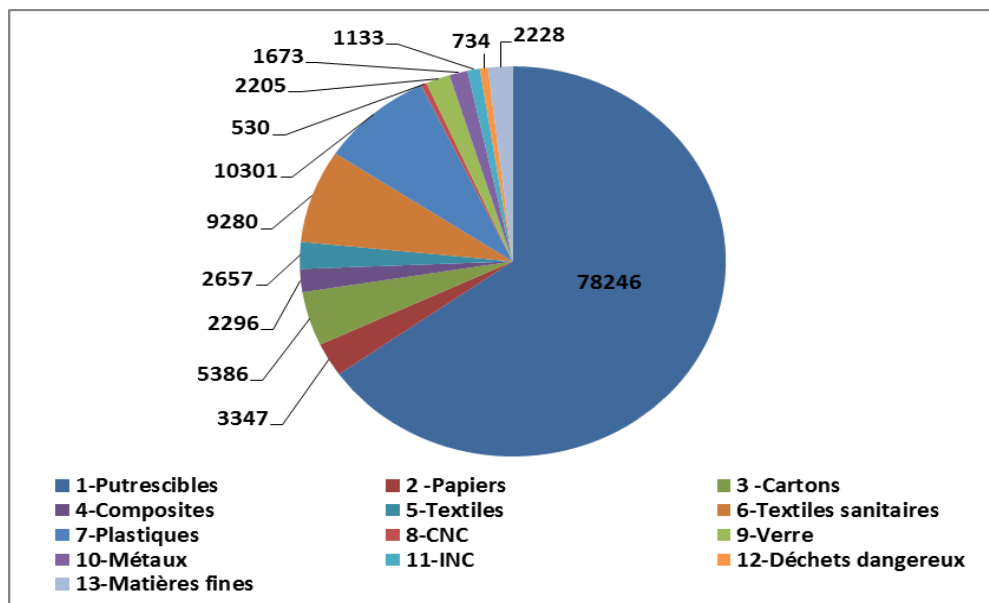


Figure 56: Production journalière (kg/j) des déchets entrant au niveau du CET de Meknassa.

La composition des déchets de la wilaya de Chlef extrapolée à partir des résultats obtenus dans la commune de Chlef est donnée par la Figure 57.

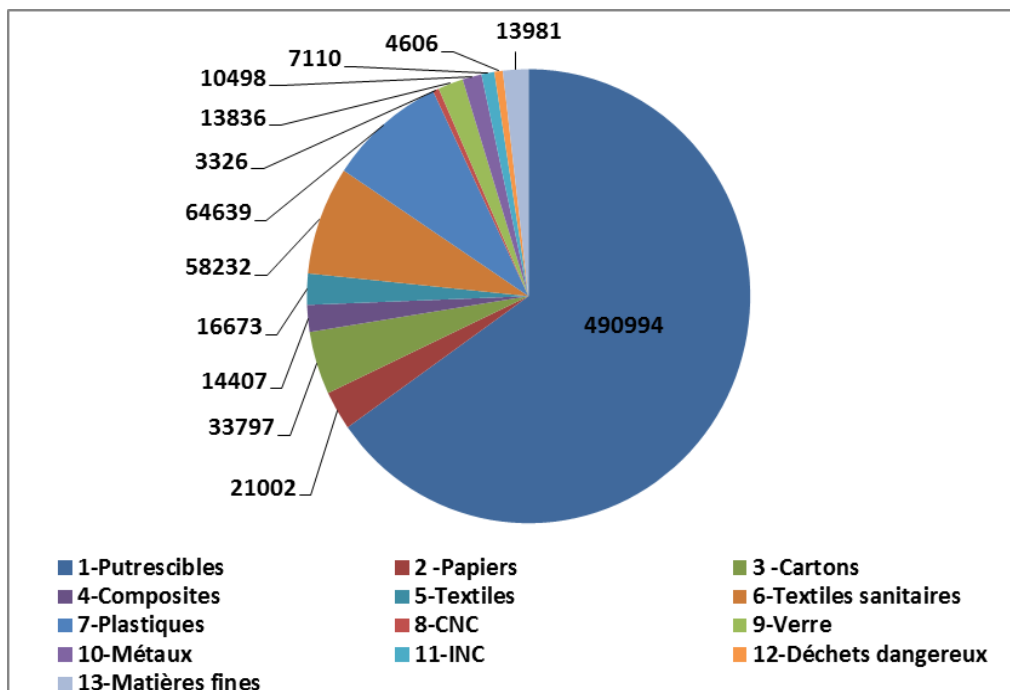


Figure 57: Production journalière (kg/j) des déchets de la wilaya de Chlef.

D'après ces données, le gisement des déchets peut être classé en déchets compostables, recyclables et enfouissables (cf. Tableau 79).

Tableau 79: Gisement des déchets au niveau de la commune et de la wilaya de Chlef.

Déchets	Compostables		Recyclables		Enfouissables	
	t/j	t/an	t/j	t/an	t/j	t/an
<b>Commune</b>	87	31755	25	9125	16	5840
<b>Wilaya</b>	549	200385	160	58400	98	35770

Le gisement de ces déchets est calculé à partir des résultats de tri et de caractérisation des déchets bruts des cinq zones d'études. A partir de ces données, un scénario de gestion des RSU générés sur la wilaya est illustré par la figure 58.

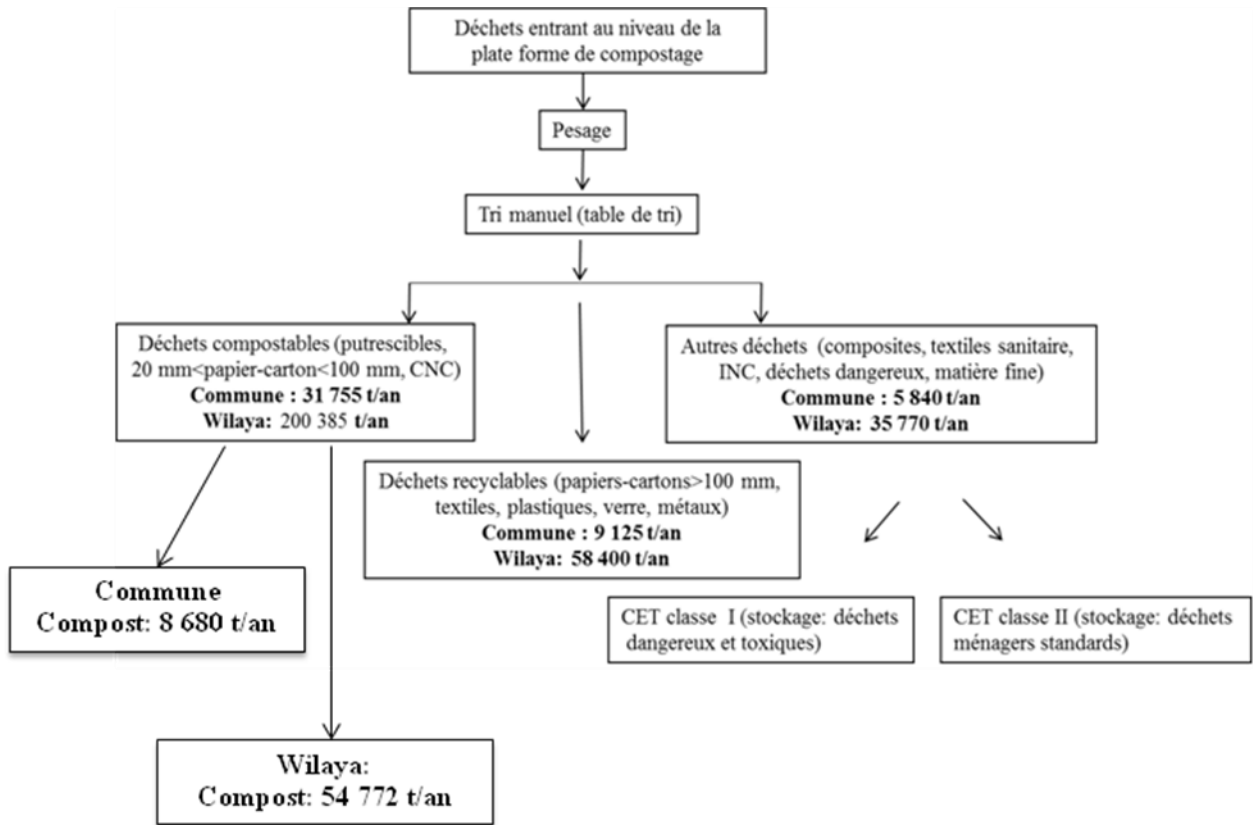


Figure 58: Schéma d'un scénario de gestion des RSU de la wilaya de Chlef envisageant un centre de tri-compostage (les refus de tri et de compostage n'ont pas été évalués).

#### IV.5.2 Qualité de compost produit

La filière du compostage reste pérenne lorsqu'il y a un suivi et un contrôle de la qualité du compost (les teneurs en impuretés, les taux d'ETM, le taux en MO, la phytotoxicité). Ces paramètres doivent répondre aux règles environnementales préconisées par les PD. L'Algérie ne possédant pas de réglementation en matière de critères de stabilité des déchets et de maturité des composts, l'utilisation de normes européennes sera dans un premier temps le seul moyen de vérifier la qualité des composts produits.

##### IV.5.2.1 Teneur en ETM

Un compost appliqué dans un sol sans surveillance des teneurs en élément traces métalliques pourrait avoir des effets néfastes sur les sols et par conséquent sur toute la chaîne alimentaire. Dans le cas de cette expérimentation, les résultats d'analyses des teneurs en ETM ont montré que les composts C2, C3 et C4 contiennent des concentrations en Pb qui dépassent les valeurs limites imposées par la norme française NFU 44 051. En se basant sur les résultats, des tests de lixiviation ou « mesure du relargage du Pb » (Koledzi, 2011), la rétention de Pb est lié au taux de la matière organique. Lorsque le taux de la MO est élevé, la rétention de Pb



est très forte. Donc, les composts produits pourront être classés comme des amendements organiques. Mais, un tri-compostage est recommandé pour éliminer les sources du Pb dans les RSU. D'après les bilans massiques, la présence ou l'absence de certaines catégories (plastiques, textiles) n'influe pas sur la quantité du compost produit.

#### **IV.5.2.2 Teneurs en impuretés**

Les amendements organiques ne doivent pas contenir des éléments indésirables (textiles, plastiques, verres ...etc.). Ces catégories ne sont pas toxiques mais, peuvent pénaliser l'avenir commercial du compost. Les composts ne doivent pas contenir ces éléments indésirables même en petites quantités. Cette étude montre que, les composts C<sub>2/10</sub>, C<sub>2/40</sub>, C<sub>3/10</sub>, C<sub>3/40</sub>, C<sub>4/10</sub> et C<sub>4/40</sub> contiennent des impuretés (plastiques et verres) qui dépassent les normes préconisées par la norme NFU 44 051. Ces matières non biodégradables sont dues essentiellement aux différentes composantes de déchets initiaux, une autre raison pour confirmer qu'il faut optimiser le tri avant le compostage.

#### **IV.5.2.3 Toxicité**

La stabilité biologique et la formation d'humus sont des caractéristiques d'un compost mature. Donc, il est nécessaire de prévoir les critères de maturité, car un compost immature peut avoir des effets néfastes sur les végétaux lorsqu'il est appliqué en grande quantité. Toutefois, à l'heure actuelle, il faut toujours respecter les exigences suivantes:

- Rapport C/N < à 25;
- Taux de germination > à 50% ;
- Indice de germination > à 50%.

Cette étude a montré que les rapports C/N des différents composts produits sont importants. Ils varient entre 17 et 22. Ils sont conformes aux valeurs trouvées dans la littérature. Les tests de germination et ceux de l'indice de germination des différentes doses de composts produits ont montré que les composts ne présentent pas de phyto-toxicité (chapitre II).

#### **IV.5.2.4 Eléments fertilisants, NPK et oligo-éléments**

Les composts produits contiennent 1% de N, 1% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 0,8% de K<sub>2</sub>O/ kg de compost/tonne de déchets bruts pour les différents criblages (10 et 40 mm). Ils sont riches en MgO, Na<sub>2</sub>O, CaO, Cu et Zn (chapitre II). Les tests agronomiques des deux cultures (pomme de terre et navet) ont donné des taux de production satisfaisants (chapitre III). Donc, les composts produits peuvent répondre aux manques en éléments fertilisants.

## **IV. 6 Conclusion**

La caractérisation physico-chimique des RSU de la commune de Chlef a permis de déterminer le gisement des déchets compostables, ainsi que leur teneur en eau et en matière organique. Compte tenu de la prédominance de la partie organique, un traitement par compostage s'impose, mais il faut prendre en considération l'adaptation de la technique du procédé aux conditions climatiques.

Ce programme de recherche/action a montré que la mise en place d'une plate-forme de tri-compostage industriel constitue à priori une solution adéquate et confirme l'intérêt et l'importance de l'intégration de ce traitement dans la filière gestion des déchets. Mais, des conditions s'imposent en dehors de la collecte régulière des RSU :

- La caractérisation périodique des RSU et leur composition en différentes catégories;
- Le suivi du procédé de tri-compostage ;
- L'analyses de la qualité du compost (teneurs en éléments fertilisants, impuretés, ETM) ;
- Les tests agronomiques.

Mais, comme l'atteste le guide du compostage des déchets solides urbains dans les PED conçu et validé par le CEFREPADE ([http://www.cefrepade.org/documents/guide\\_compostage\\_cefrepade.pdf](http://www.cefrepade.org/documents/guide_compostage_cefrepade.pdf)), d'autres aspects sont à prendre en compte en dehors des aspects purement techniques, à savoir ,les données politico-économiques, les habitudes socio-culturelles et aussi les contraintes financières.

## **CONCLUSION GENERALE**



Cette étude a été initiée à la suite d'une convention en cotutelle entre l'université de Blida (Algérie) et l'université de Limoges (France). Une partie de ce travail a été réalisée au niveau de la station expérimentale agronomique de l'université de Chlef et les analyses physico-chimiques des composts ont été effectuées au laboratoire GRESE (Groupement de Recherche Eau, Sol et Environnement) de l'université de Limoges. L'objectif principal de cette recherche/action était la valorisation par compostage de la partie fermentescible des déchets de Chlef. L'exploitation de ce travail industriellement sera une première démarche d'intégration du compostage dans la filière de gestion des RSU en particulier à Chlef et en Algérie en général.

La partie bibliographique, démarche nécessaire pour mieux cerner le problème de caractérisation, de composition, du gisement et de traitement des déchets dans les PED et spécialement en Algérie, a montré qu'il y a un déficit de données relatives au gisement des déchets dans les PED ce qui conduit à une mauvaise appréciation de la situation. Cette partie a pu donner des informations sur la valorisation par compostage initiée dans plusieurs PED, mais qui s'est trouvée confrontée à plusieurs problèmes de procédé souvent importé et de qualité de compost.

L'aspect expérimental de ce travail a porté sur trois étapes de la filière compostage.

\*Caractérisation physico-chimique des RSU de Chlef sur deux ans. Les déchets des zones d'études ont été caractérisés selon la méthode MODECOM. La caractérisation physique a été réalisée suivant trois fractions : Gros (>100 mm) ; moyens (20- 100 mm) et les fins (< 20 mm). Les déchets ont été classés en 13 catégories (putrescibles, papiers, cartons, composites, textiles, textiles sanitaires, plastiques, CNC, verre, métaux, INC, déchets dangereux, matière fine) et 5 sous-catégories (films en plastique, bouteilles en PET, bouteilles en PVC, métaux ferreux et métaux non ferreux).

Les résultats ont montré que le ratio de production varie entre 0,5 et 0,7 kg/hab/j, avec une forte proportion de déchets valorisables, en moyenne 86%, reçus à la décharge de Meknassa, dont 72% de fermentescibles compostables et 14% de recyclables. La teneur en matière organique des fermentescibles varie entre 60 et 70%, les teneurs en eau des putrescibles, des papiers-carton et de la matière fine sont un gage pour une biodégradation de ces substrats par compostage qui s'avère nécessaire pour minimiser les déchets enfouis. Il pourra éviter la pollution de l'atmosphère, des sols et des nappes phréatiques, tout en produisant un compost destiné à l'enrichissement des sols agricoles. Mais, la pérennisation de cette filière dépendra de plusieurs facteurs dont le niveau d'investissement des autorités

locales ainsi qu'une adaptation des techniques et des procédés de compostage aux conditions locales.

\*Etude expérimentale du compostage pour mettre en exergue l'interaction d'importants facteurs dans le procédé et pour la qualité des composts obtenus. Quatre andains de différents substrats (RSU plus ou moins triés) ont été étudiés pendant deux années successives (2010 et 2011). Les résultats donnent deux différentes granulométries de composts produits (10 et 40 mm) dont les pH sont basiques (8-9) et des rapports C/N variant entre 17 et 22. Les teneurs en matière organique des composts sont acceptables par la norme NFU 44 051 (34 et 48 %). Les analyses des teneurs en ETM ont révélé une forte concentration en Pb dans les composts C2, C3 et C4. Les résultats des analyses des teneurs en impuretés montrent que le taux du plastique dépasse 7% dans les composts 2, 3 et 4 et un taux élevé (3,8%) en verre dans le compost 3, ce qui confirme la nécessité d'un tri compostage pour que ce type d'amendement pour l'agriculture locale. Par contre les résultats de phytotoxicité ont donné des taux d'IG dépassant 50% avec des doses de 25 et 50% d'extrait de compost et des taux de germination significatifs avec des doses de 75% de compost.

\*Valorisation agronomique des composts sur parcelles agricoles. Les composts obtenus C10 et C40 seuls ou en mélange et/ou additionnés d'engrais chimiques NPK ont amélioré les rendements de deux cultures (pomme de terre et navet), ce qui montre que les composts présentent un avantage pour l'agriculture.

En tenant compte des résultats de cette expérience à l'échelle laboratoire, la mise en place d'un centre de tri compostage à l'échelle industrielle constitue à priori une solution adéquate. Mais des conditions sont pré requises. Une politique de sensibilisation de la population pour contribuer au tri à la source de déchets valorisables est nécessaire. Sur le plan agricole, une campagne de vulgarisation de l'intérêt de l'utilisation de composts urbains, est à mettre en place par les autorités concernées pour assurer de meilleurs débouchés tout en créant des emplois.

En recherche et développement au sein de l'université dans ce domaine spécifique de la gestion des déchets, des perspectives sont ouvertes dans deux directions. La première est l'exploration d'autres techniques de valorisations énergétiques ou non, comme la digestion anaérobie. La deuxième est l'étude de l'impact des composts urbains sur les sols et notamment de la mobilité des polluants métalliques.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**





## *Références bibliographiques*

**Abad Berjon, M., Climent Morato M. D., Aragon P., Revuelta and Camarero Simon A. (1997).** "The influence of solid urban waste compost and nitrogen-mineral fertilizer on growth and productivity in potatoes". *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 28:1653-1661.

**Abdennaceur H., Kaouala B., Naceur J., Ameer C., Mohamed C et Abdellatif B. (2001).** Microbial characterization during composting of municipal solid waste, *Bioresource Technology* 80:217-225.

**Aber Mohamed, (2010).** « Rapport pays sur la gestion des déchets en Syrie ».

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

**Adani F., Genevini P.L. & Tambone F. (1995).** "A new index of organic matter stability". *Compost Science & Utilization*, 3:23-37.

**Adnani, D. (2006).** « Gestion Déléguée du Service Public : Cas de l'Assainissement Solide » Publié le 19/09/2006 par Dr Driss ADNANI.  
Site internet : <http://adnanidriss.centerblog.net/550095-GESTION-DELEGUEE-ASSAINISSEMENT-SOLIDE>.

**ADAS Consulting Limited. (2005).** "Assessment of options and requirements for stability and maturity testing of composts." *The Waste and Resources Action Programme*. March 2005.

**ADEME, (1993).** Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, France. Méthode de caractérisation 434 des ordures ménagères, MODECOMTM – Manuel de base – édité par ADEME Centre 435 Angers, Septembre 1993 - Réf 1601 - Coll., « Connaître pour agir », 64p.

**ADEME, (1998).** « Le Compostage de la Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères en Allemagne - Mars 1998 - 13 pages

**ADEME, (1998).** « *Gestion des déchets ménagers et assimilés en Midi-Pyrénées* » Grenoble I, 1998, p. 200.

**ADEME (1999a).** « Composition des ordures ménagères en France (données et référence), 60 pages ».

**ADEME, (2003).** « Réalisation d'un référentiel technique et économique d'unités de traitement de déchets organique par méthanisation avec et sans valorisation du biogaz ».

**ADEME, (2004).** « Elimination des déchets générés par les traitements anticancéreux: Bilan des études R&D, Guide de recommandations ». ISBN 2868177549, 9782868177544

**ADEME, (2005a).** « Gestion des déchets ménagers ; Etude de préfiguration de la campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères ; Rapport intermédiaire : les objectifs ; Version définitive ».

**ADEME (2005b).** « Gestion des déchets ménagers. Etude de préfiguration de la campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères, Rapport intermédiaire : Les objectifs ».

**ADEME, (2010).** « La production des déchets dans le secteur SYCTOM ».

**AFNOR, (1996-c).** « Association Française de Normalisation » Norme NF XP X30-408 « Déchets - Caractérisation d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés, norme expérimentale, Octobre 1996.

**AFNOR, (1996-d).** « Norme NF XP X30-416 : Déchets - Guide pour la caractérisation des ordures ménagères et assimilées, échantillonnage d'une benne, norme expérimentale, Novembre 1996 ».

**AFNOR, (1996).** « Déchets : Caractérisation d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés ; Eds AFNOR ; 24 pages ».

**AFNOR, (2005).** « Norme NF XP X30-466 – *Déchets ménagers et assimilés – Méthodes de caractérisation-Analyse sur produit sec*, norme expérimentale, Mars 2005 ».

**AFNOR, (2007).** « Classification des déchets selon la commission de normalisation AFNOR/X300 le 12 juin 2007 ».

**Aina Martin Pépin, (2006).** « Expertise des centres d'enfouissement techniques de déchets urbains dans les PED : Contribution à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites. Thèse de doctorat n°46, Université de Limoges. 16p.

**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 » thèse de doctorat. Université PAUL CEZANNE AIX-MARSEILLE III. 92-96p

**Albuquerque J. A., Gonzalez J., Garcia D & Cegarra J., (2006).** "Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system". *Chemosphere*64, 470-477p.

S. Aloueimine, G. Matejka, C. Zurbrugg and M. Sidi Mohamed, (2006) "Caractérisation des ordures ménagères à Nouakchott Partie 1: Méthode d'échantillonnage ", *Déchets sciences et techniques*, Vol. 44, 2006, pp. 4-8

**Aloueimine S., Matejka G., Zurbrügg C. et Sidi Mohamed M., (2006).** "Caractérisation des Ordures Ménagères à Nouakchott Partie II : Résultats en Saison Sèche et en Saison Humide", *Revue Francophone d'écologie industrielle*.

**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. Thèse de doctorat n° 012, Université de Limoges

**Albuquerque J.A., Gonzalez J., Garcia D and Cegarra J., (2006).** « Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid byproduct of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system". *Chemosphere* 64: 470-477.

**Amir Soumia., (2005).**« Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost »Thèse de doctorat de l'Université Cadi Ayyad de Marrakech (Maroc).

**Annabi M., Houot S., Francou C., Poitrenaud M and LeBissonnais, Y. (2007).** "Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 413–423

**Andrew Blowers, (1993).** « *Planning for a Sustainable Environment* », Earthscan, Londres.

**Arif Cherif, (2010).** « Rapport: Défis et opportunités pour la gestion des déchets solides dans la région du machrek et du maghreb » Sweepnet : Le réseau régional d'échange d'informations et d'expertise dans le secteur des déchets dans les pays du Maghreb et du Mashreq. P13

**APC de Chlef, (2002),** (Assemblée Populaire Communale de Chlef). Bureau d'hygiène.

**Asomani-Boateng R., Haight M. & Furedy C. (1996).** "Community composting in west Africa." *Biocycle* 38 (01): 70-71.

**Avnimelech Y., Bruner M., Ezrony I., Sela R., and Kochba M.(1996).** "Stability indexes for municipal solid waste compost. *Compost Science & Utilization*, 4, 2:13-20.

\*\*\*\*

**Bajon F., Coulomb I., Gillet R., Giloux P., Lachaud A. & Van De Kerkhove J.M. (1994).** "Le compostage des ordures ménagères." *Norvergies*. Juillet 1994. 37.

**Barrington S., Choinière D., Trigui M., and Knight W. (2002).** "Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses". *Bioresource Technology* , 83, 189–194.

- Barrigton S., Choinière D., Trigui M et Knight W., (2003).** « Compost convective air low under passive aeration ». *Bioresources Technologie*, 86:259-266.
- Bras Anis, (2010).** «Eléments pour définition de la problématique de la propreté urbaine en Haïti : Le cas de Port-au-Prince » thèse de doctorat de l'université de Lyon: 47-48P.
- Boda B., (2002).** "Evaluation of stability parameters for landfills". Thesis in Civil and Environmental Engineering, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State university, 48 pages.
- Baudl., Grafakos S., Hordijk M& Post J., (2001).** "Quality of life and alliances in solid waste management - Contributions to urban sustainable development" .*Cities* 18 (1): 3-12.
- Beede D. and Bloom D.E., (1995).** "The economics of municipal solid waste, The word bank Research Observer".VOL, 10, (2)
- Bayard R. et Gourdon R., (2006).** « Traitement Biologique des Déchets. Techniques de l'Ingénieur, traité Environnement » G2, G2060, 20 p.
- Beck-Friis, B., Smørs, S., Jönsson, H., Eklind, Y. and Kirchmann, H. (2003).** Composting of source-separated household organics at different oxygen levels: gaining and understanding of the emission dynamics. *Compost Sci. Util.*, 11(1): 41-50. .... Quality and agronomic performance of compost. *Compost Sci. Util.*, 1(2): 17-29.
- Ben Ammar .S, (2006).** « Les enjeux de la caractérisation des déchets ménagers pour le choix de traitements adaptés dans les pays en développement. Résultats de la caractérisation dans le grand Tunis mise au point d'une méthode adaptée » thèse de doctorat, Institut Nationale Polytechnique de Lorraine. P19-20.
- Becker, G. and KotterA.,(1995).**“A standard measurment for compost maturity. International Symposium” "Biological Waste Management -A wasted chance?"
- BGK (1998).** « Methodenbuch zur analyse von kompost, 4 ». auflage. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln, Germany. 154 pp.
- Bernal M. P., Paredes C., Sanchez-Monedero M. A & Cegarra J. (1998).** “Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes”. *BioresourceTechnology* 63, 91-99.
- Bertolini G., (1989).** "Une ressource à valoriser : le secteur informel, le cas indonésien." Programme interministériel Rexcoop. 44p.
- Bertoldi M., De,Vallini G. andPera A., (1983).**”The biology of composting: a review”.*WasteManagement &Research* 1: 157-176
- Bertolini G., (1990).** « Le marché des ordures : économie et gestion des déchets ménagers » ; éd. Harmattan ; Paris.
- Bhattacharyya P., Chakraborty A., Bhattacharya B.,ChakrabartiK., (2003b).**“Evaluation of MSW compost as a component of integrated nutrient management in wetland rice”. *Compost Sci. Util.* 11 (4), 343–350.
- Bionet.(2002).** "Biological waste treatment in Europe - Technical and market development. "In: [en ligne].Disponiblesur: [www.bionet.net](http://www.bionet.net).
- Bouhadiba B., Mezouari F., Kehila Y., et Matejka G., (2010).** « Pour une gestion intégrée des déchets solides urbains en Algérie : Approche systématique et méthodologique » *International Review of Chemical Engineering* n°43 - juin 2010. p 8
- Bouchareb N., (2010).** « Rapport pays sur la gestion des déchets au Maroc ».

## *Références bibliographiques*

**Bouzaiane O., Cherif H., Saidi N., Jedid N et Hassen A., (2007).** « Effects of municipal solid waste application on the microbial biomass of cultivated and non-cultivated soil in a semi-arid zone, waste Management. Research 25, 334-342.

**Blanchard Antoine & Limache Flora., (2005).** « Les stimulations des défenses naturelles des plantes (SDN) » Rapport bibliographique. DAA Protection des plantes et environnement ENSAM, ENSAR & I NA P-G.

**Bolan N. S., Adrianob D. C., Natesana R. & Koob B.-J., (2003).** « Effects of Organic Amendments on the Reduction and Phytoavailability of Chromate in Mineral Soil ». *Journal of Environmental Quality* 32, 120-128.

**Bresson L. M., Koch C., Le Bissonais Y., Barriuso E. & Lecomte V., (2001).** « Soil surface structure stabilization by municipal waste compost application ». *Soil Science Society of America Journal* 65, 1804-1811.

**Braun R and Jaag O., (1970).** « Methods of Sampling and Analysis of Solid Waste ». Eawag, Swiss Federal Institute for Water Supply, Sewage Purification and Water Pollution Control ; Section for Solid Wastes ; CH-8600 Dübendorf, Switzerland; 72 pages.

**Brewer L.J & Sullivan D.M., (2003).** « Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings ». *Compost Science & Utilization*, 11: 96-112.

**Brinton, W. F. and E. Evans. (2000).** Plant performance in relation to depletion, CO<sub>2</sub>-rate and volatile fatty acids in container media composts of varying maturity.

**Broadbent, F.E. (1953).** « The soil organic fraction ». *Advan. Agron.* 5 :153-183.

**Buenrostro O. et Bocco G., (2003).** « Solid waste management in municipalities in Mexico: Goal and perspectives, Resources, Conservation and Recycling ». 251 – 263

**By Abigail A. Maynard, (2000).** « Compost: The Process and Research ». Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin 966

\*\*\*

**Chefetz B., Hatcher P. G., Hadar Y and Chen Y.,(1996).** « Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste ». *J. Environ. Qual.*, 25:776-785.

**Campan F., (2007).** « Le traitement et la gestion des déchets ménagers à la Réunion : Approche géographique ». Thèse de doctorat, Université de Réunion.

**Castald, P., Alberti G., Merella R. & Melis P.(2005).** « Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity ». *Waste Management* 25, 209-213.

**CEGEP (Centre d'Etude et Gestion de Projet), (2004)** « Schéma directeur de gestion des déchets urbains en Algérie ».

**Celier G., (2008).** « Caractérisation moléculaire et dynamique de la matière organique de compost (Déchets verts/Bio déchets) dans un sol. Thèse de doctorat de l'université de Poitiers : 37P.

**Changa C.M., Wang P., Watson M.E., Hoitink H.A.J & Michel F.C., (2003).** « Assessment of the reliability of a commercial maturity test kit for composted manures ». *Compost Science & Utilization* 11 (2): 125-143.

**Charnay F., (2005).** « Compostage des déchets urbains dans les pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost ». Thèse de doctorat n°562005, Université de Limoges.

**Chen Y and Aviad T., (1990).** Effects of humic substances on plant growth. In P MacCarthy, CE Clapp, RL Malcolm, PR Bloom, eds, *Humic Substances in Soil and Crop Science: Selected Readings*. American Society of Agronomy Inc., Soil Science of America, Inc., Madison, WI, pp 161 – 186.

**Chen Y & Inbar Y., (1993).** "Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity". In Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects, Harry A.J. Hoitink and Harold M. Keener ed. (The Ohio State University). 551-600

**Chen Y., (2003).** "Nuclear magnetic resonance, infra-red and pyrolysis: application of spectroscopic methodologies to maturity determination". Compost Science & Utilization, 11, 2:152-168.

**Cheriet K. (1995).** "Les résidus urbains du grand Alger et le réaménagement de la décharge de Oued-Smar", Projet de fin d'étude, école nationale polytechnique (Alger).

**Chevalier D., (1990).** « Le broyage compostage des déchets végétaux des collectivités ». *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 137:52-54.

**Chiampo F., Conti R and Cometto D., (1996).** "Morphological characterisation of MSW landfills". Resources, Conservation and Recycling, 17, 37-45.

**Chikae M., Kerman K., Nagatani N., Takamura Y & Tamiya E., (2007).** "An electrochemical on-field sensor system for the detection of compost maturity". *nalytica Chimica Acta* 581, 364-369.

**Chong T.L., Matsufuji Y and Hassan M.N., (2005).** "Implementation of semi-aerobic landfill system (Fukuoka method) in developing countries :A Malaysia cost analysis". *Waste Management* 25: 702-711.

**Chung S.S & Poon C.S., (1998).** "A comparison of waste management in Guangzhou and Hong-Kong." *Resources, Conservation and Recycling* 22: 203-216.

**Cointreau-Levine S. (1996).** "Systèmes de gestion des déchets solides financièrement durables." dans " Déchets solides en milieu urbain d'Afrique de l'Ouest et Centrale - Vers une gestion durable". 14-16 février 1996, Abidjan, Côte d'Ivoire. 29-34.

**Cole, M. (1992).** "Simple chemical test for compost maturity". Recherche effectuée à l'Université de l'Illinois. Cité dans *Biocycle*, mai 1992, page 26.

**Compaoré E., Léopold S., Nanéma L.S., Bonkougou M., Sedogo P., (1997).** « Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture ». *Journal of Applied Biosciences* 33: 2076 – 2083 ISSN 1997–5902

**Compaoré E & Nanéma L.S., (2010).** « Compostage et qualité de compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso ». *TROPICULTURA*, 2010, 28, 4, 232-237.

**C.P.I., (2001)** : Projet de contrôle de la pollution Industrielle. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

**CRÉDOC (2010)** ; Grand Lyon, Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public d'élimination des déchets 2007, 2009 ; Berlin, « A comparison of municipal solid waste management in Berlin and Singapore », *Waste Management*, 30 (2010).

**Crecchio C., Curci M., Pizzigallo M.D.R., Ricciuti P and Ruggiero P., (2004).** "Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biol. Biochem.* 36: 1595-1605.

\*\*\*

**Das T., Purkayastha-Mukherjee C., D'Angelo J., and Weir M. (2002).** "A conserved F-box gene with unusual transcript localization" *Dev. Genes Evol.* 212(3):134-140 (Journal).

**De Bertoldi M., Vallini G. & Pera A., (1983).** "The biology of composting: A review". *Waste Management & Research* 1, 157-176.

## *Références bibliographiques*

**De Haan, S. (1981).** "Results of municipal waste compost research over more than fifty years at the Institute for Soil Fertility at Haren/Gorringen, the Netherlands". *Neth. J. agric. Sci.*, 29:49-61.

**Delas J et Goulas J.P., (1973).** « Matière organique et fertilité des sols. Contribution à l'étude de la matière organique sur les rendements et la qualité des récoltes ainsi que l'évolution du milieu ». B.T.I. N ° 285, pp 842-855.

**Deloraine A., Hedreville L. et Arthus C., (2002).** "Étude bibliographique sur l'évaluation des risques liés aux bio-aérosols générés par le compostage des déchets." Angers, France, ADEME & CAREPS. Mars 2002. 163.

**De Vasconcelos Barros R.T., (2003).** "Enjeux d'une gestion durable de déchets solides dans les villes moyennes de Minas Gerais (Brésil). Thèse de doctorat. Institut National des sciences appliquées de Lyon. P 196-197.

**De Vleeschauwer, D.O., P. Verdonock and P. van Assche, (1981).** "Phytotoxicity of refuse compost". *BioCycle*, 22: 44-46.

**Devisscher S., (1997).** « Le compost ». Mémoire. D.E.S.S., université. Picardie, 60 p.

**DGCL-DEA. (1991).** (Direction Générale des Collectivités Locales- Direction de l'eau et de l'Assainissement, Maroc). Principes et pratiques pour la gestion rationnelle des déchets solides municipaux – Document réalisé pour le Ministère de l'Intérieur Marocain avec le soutien de l'Agence Américaine pour le Développement International (USAID), 1991, 82p.

**DGCL-DEA. (1995).** (Direction Générale des Collectivités Locales- Direction de l'eau et de l'Assainissement, Maroc). Collecte et traitement des ordures ménagères au Maroc – Document Technique réalisé pour le Ministère de l'Intérieur Marocain avec le soutien du Ministère français des Affaires Etrangères, 1995, 40p.

**DHW, (2005).** « Direction d'Hydraulique de la Wilaya de Chlef ».

**Djemaci B et Ahmed Zaid-Chertouk M., (2011).** « La gestion intégrée des déchets solides en Algérie. Contraintes et limites de sa mise en œuvre ». CIRIEC N° 2011/04. WORKING PAPER. P 3-66.

**Di Capua G and Magagni A., (2000).** "Municipal waste management in Italy. Present situation and future development". IWSA Congress 2000 and beyond which choices for waste management, pp : 67-74.

**Diop O., (1988).** « Contribution à l'Etude de la Gestion des Déchets Solides de Dakar : Analyse systémique et Aide à la Décision ». thèse de doctorat N° 757, Département de Génie Rural et Géométrie, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 292 page.

**Diop O. et Maystre L.Y., (1989).** « Méthodologie systématique multicritère appliquée à la gestion des déchets solides urbains de Dakar (Sénégal) ». T.S.M. eau, 187-191P.

**DSA., (2011).** (Direction des Services Agricoles) de la wilaya de Chlef. « Compagne Agricole 2009/2010 ».

**Duval, agr., M.Sc. (1991).** « Méthodes d'évaluation de la maturité des composts ». AGRO-BIO-310-02

**Duval C., (2004).** « Matières plastiques et Environnement : Recyclage, Valorisation, Biodégradabilité, Ecoconception ». Paris : Eds. Dunod., 310p. (Technique et Ingénierie. Série Environnement et Sécurité), ISBN 2100068350.

\*\*\*

**Eklind Y and Kirchmann H., (2000a).** "Composting and storage of organic household waste with different litter amendments". I. Carbon turnover. *Bioresour. Technol.* 74, 115–124.

**Équiterre, (2009),** Tous droits réservés. Module 7, Amendements et fertilisation - Chapitre 12, « Les amendements organiques, fumiers et composts », manuscrit du Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée, rédigé par Anne Weill et Jean Duval.

**Engineering Fu Foundation of School of Engineering and Applied Science**, Earth Engineering Center, Columbia University; 32 pages.

**Environmental Protection Agency.U.S., (1994).**“Waste Analysis, EPA Guidance Manual for Facilities that Generate, Treat, Store and Dispose of Hazardous Wastes, Rockville, Government Institutes Inc”., 186 p.

**Epstein E., TaylorandJ.M., Chaney R.L., (1976).** “Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties”. *Journal of Environmental Quality* 5:422-426.

**Estevez P., (2003).** “Management of Municipal Solid Waste in Santiago, Chile: Assessing Waste-to-Energy Possibilities”. Department of Earth and Environmental. Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation of School of Engineering and Applied Science, Earth Engineering Center, Columbia University

**European Commission (CE),(2003).**“Waste generated and treated in Europe”. Data 1990-2001. (Ed. Eurostat), 104 p.

**EUROSTAT, (2007).** « Direction générale de la Commission européenne chargée de l’information statistique à l’échelle communautaire ».

\*\*\*

**Farinet J., Niang S., (2005).** « Le recyclage des déchets et effluents dans l'agriculture urbaine ». idrc.ca Home> IDRC Publications> IDRC Books Online > All our books> développement durable de l'agriculture en Afrique francophone> 27p.

**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 Québec, 33 pages.

**F.C.Q.A.O., (1994).** "Methods book for the analysis of compost." *Kompost Information*. B. ed.

**Fauzi H., (2005).** « ENVIRONNEMENT ET SANTE AU MAROC ».

**Fehr M., De Castro M.S.M.V. &Calcado M.D.R., (2000).** "A practical solution to the problem of household waste management in Brazil." *Resources, Conservation and Recycling* 30: 245-257.

**Ferrer J., Paez, G., Marmol Z., Ramones E., Chandler C., Marin M andFerrer J., (2001).**“Agronomic use of biotechnologically processed grape wastes”. *Bioresource Technology* 76:39-44

**Folléa V., Brunet F., Benrabia N., Bourzai M.P. et Faucompre P., (2001).**« Revu comparative des modes de gestion des déchets urbains dans différents pays de la ZSP. Agence française du Développement » 24P.

**Fiorello Amélie., (2011).** « Le comportement de tri des déchets ménagers : Une approche Marketing ». Thèse de doctorat, version juin 2012. Université de Nice-Sophia Antipolis : p 63-64.

**Francou C., (2003).** « Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage » *Recherche d’indicateurs pertinents*. Thèse de doctorat de l’INAPG: 286P.

**Francou C., Poitrenaud M and Houot S., (2005).** ”Stabilization of Organic Matter During Composting: Influence of Process and Feedstocks”. *Compost Science & Utilization* (2005), Vol. 13, No. 1, 72-83

**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, thèse de doctorat N° 8-2004, Université de Limoges.

**Fuchs J andLarbi M., (2004).** “Disease control with quality compost in pot and field trails”. Paper presented at International Conference on soil and Composts eco-biology. *SoilACE, Biomase Peninsular, C/Cartagena*, 58, 1, SP-Madrid 28028. León-Spain, 1517. Sep. 2004:157-166.

**Furie C., Ferra C., Medori P., Devaux J., Hemptinn J.L., (2003).** “Approche scientifique et pratique”. 5<sup>e</sup> édition. Ecologie. pp. 358-359

\*\*\*

**Garcia C., Hernandez T., Costa F. & Pascual J.A., (1992).** "Phytotoxicity due to the agricultural use of urban waste: Germination experiment". J. Sci. Food Agric., 59:313-319.

**Garcia C., Hernandez T., Costa F., Ceccanti B., Masciandaro G. and Calciani M., (1993).** “Evaluation of organic matter composition of raw and composted municipal wastes”. SoilSci Plant Nutr 39, 99–108.

**Garcia-Gil J.C., Plaza C., Soler-Rovira P., Polo A., (2000).** “Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass”. Soil Biol. Biochem. 32, 1907–1913.

**Garcia-Gil J.C., Ceppi S., Velasca M., Polo A and Senesi N., (2004).** “Long- term effects of amendment with municipal solid waste compost on the elemental and acid functional group composition and pH-buffer capacity of soil humic acid”. Geoderma 121, 135–142

**Garcia A.J., Esteban M.B., Marquez M.C., Ramos P., (2005).** “Biodegradable municipal solid waste: Characterization and potential use as animal feedstuffs”. Waste Management 25 (2005) 780–787.

**GariglioNF., Buyatti M.A., Pilatti R.A., Gonzalez Rossia D.E and Acosta M.R., (2002).** « Use of a germination bioassay to test compost maturity of willow (*Salix* sp.) sawdust”. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 30: 135-139.

**Gamage W., Vincent S & Outerbridge T., (1999).** "Low-tech composting on an Island." Biocycle 40 (04): 79-80.

**Gallardo-Lara, Nogales R., (1987).** “Effect of the application of town refuse compost on the soil-plant system: A review. Biological Wastes. Volume 19, Issue I, Pages 35-62

**Gallardo-Lara F., Azcon M and Polo A., (2006).** “Phytoavailability and fractions of iron and manganese in calcareous soil amended with composted urban waste”. J. Environ. Sci. Health B 41, 1187–1201.

**Germon, J.-C., B. Nicolardot et G. Catroux. (1980).** « Mise au point d'un test rapide de détermination de la maturité des composts ». Ministère de l'environnement et du cadre de vie, Convention d'étude n 79-509. France.

**Gilbert Mouthon, (1985).** “L’incinération des déchets ménagers. Nuisances et danger dans les zones de productions agricoles”. Pp. 23-24.

**Gillet R., (1986).** « Traité de gestion des déchets solides et son application aux pays en voie de développement ». Volume 2 : Les traitements industriels des ordures ménagères et des déchets assimilés, Organisation et gestion d’un service. Publications de l’OMS.

**Gilbert R and Richard O., (1987).** “Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring”, New York, Van Nostrand Reinhold, 320 p.

**Grigatti M., Ciavatta C. & Gessa C. (2004).** « Evolution of organic matter from sewage sludge and garden trimming during composting”. Bioresource Technology 91, 163-169.

**Giroux M et Audesse P., (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 » Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA). Agrosol. P 107-110.

**Gobat J.M., Aragno M et Matthey W., (1998).** « Le sol vivant. Bases de la pédologie. Biologie des sols ». Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Collection Gérer l’Environnement N° 14. Lausanne, Suisse. 519 pages.

**Godden B., (1986).** « Etude du processus de compostage du fumier de bovin ». Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université Libre de Bruxelles. Laboratoire de microbiologie, 136 pages+annexes.



- Gootas H.B., (1959).** « Compostage et assainissement ». Document préparé pour l'OMS. Genève, 206 p.
- Gotschall et al. (1991).** "Einfluss der Rottesteuerung auf Qualität, Düngewert und Bodenverbesserungseigenschaften von Restmistkomposten". Department of Ecology Agriculture at the University of Kassel, Witzenhausen.
- Grossmann J., (2003).** "Mesures d'urgence pour une remise à niveau de la station de compostage de Blida" Rapport de la coopération technique algero-allemand entre le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) et la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH - Programme Gestion de l'Environnement. Mars 2003. 56p.
- Grossmann J., (2004).** " Etude de commercialisation du compost urbain de Beni Mered " Rapport de la coopération technique algero-allemand entre le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) et la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH - Programme Gestion de l'Environnement. Mars 2004. 56p.
- \*\*\*
- Hamrouche G., (2003).** " Situation des déchets en Algérie". [http://www.algeria-watch.de/Fr/mrv\\_rap/ onu\\_rapport.htm](http://www.algeria-watch.de/Fr/mrv_rap/ onu_rapport.htm)
- Hafid N., (2002).** « Etude de compost de l'UPAO, des refus de compostage et des anciens dépotoirs d'ordures ménagères de la ville d'Agadir ». Laboratoire de Chimie minérale et Appliquée et Génie des procédés. Agadir-Maroc, Université IBN ZOHR, Agadir.
- Hani Abu Qdais., (2010).** « Rapport pays sur la gestion des déchets en Jordanie ».
- Hartz T. K. and Giannini C.,(1998).** "Duration of composting of yard wastes affects both physical and chemical characteristics of compost and plant growth". HortScience, 33, 7:1192-1196.
- Haouaoui L., Loukil F., (2009).** « Evaluation du système de gestion des déchets ménagers en Tunisie » Article en français. Thème : Environnement Site internet : <http://www.ps2d.net/media/Leila%20Haouaoui.pdf> URL Source : <http://www.ps2d.net>
- Hassen A., Belguith K., Jedidi N., Cherif A., Cerif M. & Boudabous A., (2001).** "Microbial characterization during composting of municipal solid waste." Bioresource Technology 80: 217-225.
- Haouaoui L et Loukil F., (2009).** Evaluation du système de gestion des déchets ménagers en Tunisie. Cinquième colloque international «Energies, changements climatiques et développement durable», Hammamet, Tunisie, juin 2009.
- He X., Logan T and Traina S., (1995).** "Physical and chemical characteristics of selected U.S. municipal solid waste composts". J. Environ. Qual. 24, 543-552
- Hebette A., (1996).** « Guide pratique de la gestion Afrique sub-saharienne des déchets solides urbains », IAGU-GREA ISBN 2-919894-02-1 Banque Mondiale, page 14, 154 pages.
- Helfrich P., Chetetz B., Hadar Y., Chen Y. & Schnabl H., (1998).** "A novel method for determining phytotoxicity in composts." Compost Science & Utilization, 6, 3:6-13.
- Hernando S., Lobo M and Polo A., (1989).** "Effect of the application of municipal refuse compost on the physical and chemical properties of soil". Sci. Total Environ. 81/82, 589-596.
- Hirai, M.F., V. Chanyasak et H. Kubota. (1984).** "A standard measurement for compost maturity". Biocycle, 24(6):54-56.
- Hirai M.F., Katayama A. & Kubota H. (1986).** "Effect of compost maturity on plant growth." BioCycle, 27:58-61.

## *Références bibliographiques*

**Hoitink H.A.J., and Grebus M.E., (1994).** "Status of biological control of plant diseases with composts". *Compost Science and Utilization* 2:6-12.

**Hoitink H.A.J. (1995).** "The Composting Process". Cité par ITAB (2001). *Guide des matières organiques*. Tome 1. Deuxième édition 2001.

**Hoitink H.A.J., Stone A.G and Han D.Y., (1997).** "Suppression of plant diseases by composts". *HortScience* 32:184-187.

**Hogg D., Favoino E., Centemero M., Caimi V., Amlinger F., Devliegher W., Brinton W and Antler S., (2002).** "Comparison of compost standards within the EU, North America and Australia, The Waste and Resources Action Programme (WRAP), Oxon. ISBN 1-84405-003-3.

**Hoornweg D. & Thomas L., (1999).** "What a waste : Solid waste management in Asia." Washington D.C, The World Bank.

**Huang G. F., Wu Q. T., Wong J. W. C. & Nagar B.B., (2006).** "Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust". *Bioresource Technology* 97, 1834-1842.

**Houot S., Francou C., Lineres M. et LE Villio M., (2002).** "Gestion de la maturité des composts : conséquence sur leur valeur amendante et la disponibilité de leur azote - première partie-." *Echo MO* 34: 3-4.

\*\*\*

**Iannotti D.A., Pang T., Toth B.L., Elwell D.L., Keener H.M and Hoitink H.A.J.A., (1993).** "Quantitative respirometric method for monitoring compost stability". *Compost Science and Utilisation*, vol 1, n°3. p 52-65.

**Iglesias-Jimenez E & Perez-Garcia V., (1989).** "Evaluation of city refuse compost maturity: A review". *Biological Wastes*, 27:115-142.

**Iglesias-Jimenez, E., Alvarez, C., (1993).** « Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse ». *Biol. Fert. Soils* 16, 313–318.

**Inbar Y., Chen Y., Hadar Y & Verdonck O., (1988).** "Composting of agricultural wastes for their use as container media: Simulation of the composting process." *Biological Wastes* 26(4): 247-250.

**Institut supérieur de l'irrigation et du drainage (I.N.S.I.D). (2002-2007).** « Comment mieux fertiliser » au niveau des exploitations agricoles.

**ITAB, (2001d).** « Guide des matières organiques ». Tome 1. Deuxième édition 2001 p 105-106.

**Itävaara M., Venelampi O and Karjomaas., (1995).** "Testing methods for determining the compostability of packaging materials". In: Barth, J. (ed.). *Proceedings of Biological Waste Management «Wasted Chance» BWM Infoservice*, Germany.

\*\*\*

**Jambu P., Coulibaly G., Bilong P., Magnoux P and Amblès A., (1983).** "Influence of lipids on physical properties of soil". *Humus & Planta* VIII, 1, 46-50.

**Jeris J.S and Regan R.W., (1973).** « Controlling environmental parameters for optimum composting. *Compost Science*. vol 14, n°1, p 10-15-23.

**Jimenez E.I. and Garcia V.P., (1989).** "Evaluation of city refuse compost maturity": a review. *Biological Wastes* 27: 115-142.

**Jimenez E. I. & Garcia V. P., (1991).** « Composting of Domestic Refuse and Sewage-Sludge .1. Evolution of Temperature, pH, C/N Ratio and Cation-Exchange Capacity ». *Resources Conservation and Recycling* 6, 45-60.

## *Références bibliographiques*

**Jouraihy A., Amir S., El Gharous M., Revel J.- C & Hafidi M., (2005).** “Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste”. *International Biodeterioration&Biodegradation*56, 101-108.

\*\*\*

**Kaiser M., (1983).** « L’analyse de la microbiologie du compost ». 1ère partie. *Compost information*, 12: 9-13.

**Kathiravale S., MuhudYunus M.N., Sopian K., Samsuddin A.H. and Rahman R.A., (2003).** “Modeling the heating value of Municipal Solid Waste”, *Fuel* 82, 1119 – 1125.

**Kathirvale S., Yunus M.N.M., Sopian K. &Samsuddin A.H. (2003).**"Energy potential from municipal solid waste in Malaysia." *Renewable Energy* 29: 559-567.

**Kehila Y., (2005).** “The landfill in Alger and the use of geosynthetic material to protect the Environment” : Proceeding 7th International conference in geosynthetic "in" Municipal solid waste in Mostaganem city (Western Algeria).

**Kehila Y., (2010).** « Rapport pays sur la gestion des déchets solides en Algérie » Préparé avec l’appui de KEHILA Youcef et en étroite collaboration avec le coordonnateur national du Réseau SWEEP-Net (Le réseau régional d’échange d’informations et d’expertise dans le secteur des déchets dans les pays du Maghreb et du Mashreq) en Algérie M. GOURINE Lazhari. P15-16.

**Kehila Y, Aina M., Mezouari F., Maejka Get Mamma D., (2007).** « 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?Acte des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007. P 6-7.

**Kehila Y et Gourine L., (2010).** « Rapport pays sur la gestion des déchets en Algérie ».

**Kelly R.J., (2002).** “Solid waste biodegradation enhancements and the evaluation of analytical methods used to predict waste stability”. PhD. Thesis in Environmental Science and Engineering, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 65 pages.

**Kirchmann H and Widen P., (1994).** “Separately collected organic household wastes”. *Swedish J. Agric. Res.* 24: 3-12

**Klamer M and Baath E., (1998).** “Microbial community dynamics during composting of straw material studied using phospholipid fatty acid analysis FEMS” *Microbiology Ecology*, 27, 9-20.

**Koledzi E., (2010).** “Valorisation des déchets urbains : Mise en place du compostage décentralisé dans les quartiers de Lomé ; Méthodes et perspectives » thèse de doctorat n°04-2011, université de Limoges.

**Koledzi E., Baba G., Feuillade G et Matejka G., (2011).** « Caractérisation physique des déchets solides urbains à Lomé au Togo, dans la perspective du compostage décentralisé dans les quartiers » *Revue francophone d’écologie industrielle*. Mars 2011. P 8-9.

**Kouame., (2005).** « Gestion des ordures à N'douci ». Mémoire de Maîtrise. IGT. 105p.

**Kulcu R. &Yaldiz O., (2004).**"Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes." *BioresourceTechnology* 93: 49–57.

\*\*\*

**Labidi R., (2010).** « Rapport pays sur la gestion des déchets en Tunisie ».

**Larsen, K. L. and McCartney D. M., (2000).**“Effect of C:N ratio on microbial activity and N retention in benchscalestudy using pulp and paper biosolids”. *Compost Science &Utilization*, 8, 2:147-159.

**Lanini S., (1998).** « Analyse et modélisation des transferts de masse et de chaleur au sein des décharges d'ordures ménagères » Thèse de doctorat. Institut National polytechnique de Toulouse.

**Lasaridi K.E & Stentiford E.I., (1998).** "A simple respirometric technique for assessing compost stability." *Water Research* 32 (12): 3717-3723.

**Laos F., Mazzarino M. J., Walter I., Roselli L., Satti P. & Moyano, S. (2002).** "Composting of fish offal and biosolids in northwestern Patagonia". *Bioresource Technology* 81, 179-186.

**Lechler P. J et Desilets M. O., (1987).** « A review of the use of loss on ignition as a measurement of total volatiles in whole-rock analysis », dans *Chemical Geology*, vol. 63, p. 341-344.

**Leclerc B., (2001).** « Guide des matières organiques ». Deuxième édition, Tome I. ITAB – Paris.

**Liang C., Das K.C & McClendon R.W., (2003).** "The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a solids composting blend." *Bioresource Technology* 86: 131-137.

**Ligue Pour la Propreté en Suisse (LPPS), (1991).** « Déchets et recyclage ». Truninger AG, Zurich, Suisse. 1991. 453p.

\*\*\*

**MADR, (2004).** Le recensement général en Algérie.

**Mamo M., Rosen C. JandHalbach T. R., (1999).** "Nitrogen availability and leaching from soil amended with municipal solid waste compost". *J. Environ. Qual.*, 28:1074-1082.

**Manios VI., Tsikalas P.E., Siminis H.I., (1989).** "Phytotoxicity of olive tree leaf compost in relation to the organic acid concentration". *Biological Wastes* 27: 307-317.

**Mansoor Ali., Andrew Cotton., and Ken Westlake., (1999).** Down to Earth. "Solid Waste Disposal for Low-Income Countries, WEDC, Loughborough University,"

**Martel J.M. et Nadeau R., (1988).** « *Statistique en gestion et en économie* », Montréal, Gaëtan Morin éditeur, 621 p.

**MATE, (2004).** Atelier international sur le nouveau mode de gestion des déchets municipaux : Le centre d'enfouissement technique (CET).

**Maynard A., (1995).** Cumulative effect of annual additions of MSW compost on the yield of field-grown tomatoes. *Compost Sci. Util.* 3 (2), 47-54.

**Matejka G., De LasHeras F., Klein A., Paquetteau F., Barbier J & Keke A. (2001).** "Composting of municipal solid waste in Labé (Guinea): Process optimisation and agronomic development". Eight International Waste Management and Landfill Symposium". Cagliari, Italy. 451-457.

**Matejka G (France), Bouvet Y (France), Emmanuel E (Haïti), Koulidiati J (Burkina Faso), Emmanuel N (Cameroun) et Vermande P (France), (2004).** « Gestion maîtrisée des déchets solides urbains et de l'assainissement dans les PED : Les besoins en études scientifiques et techniques spécifiques, et en outils méthodologiques adaptés ».

**Matejka G., (2011).** « Colloque scientifique sur le thème : Gestion et valorisation des déchets solides des villes africaines. Bilan et perspectives » A Lomé au Togo, du 30 mai au 1<sup>er</sup> juin 2011.

**MBT, (2003).** Mechanical Biological Treatment, Cool Waste Management, a State-of-the-Art Alternative to Incineration for Residual Municipal Waste, February 2003 Published by the Greenpeace Environmental Trust Canonbury Villas, London N1 2PN, United Kingdom, 58 pages.

**Mbuligwe S.E., Kassenga G.R., Kaseva M.E. & Chaggu E.J. (2002).** "Potential and constraints of composting domestic solid waste in developing countries : findings from a pilot study in Dar es Salaam." *Resources, Conservation and Recycling* 36: 45-59.

**Mbuligwe S.E et Kassenga G.R., (2004).** « Feasibility and strategies for anaerobic digestion of solid waste for energy production in Dar Es Salaam city, Tanzania ». *Resources, Conservation and Recycling* 42 (2004) 183 – 203.

**Mémento De l'Agronome, (1992).** « Ministère de la coopération française ».

**McKinley V.L and Vestal J.R., (1985).** "Biokinetic analyses of adaptation and succession: Microbial activity in composting municipal sewage sludge". *Appl. Environ. Microbiol.* 47: 933-941

**METAP-PRGDS-Maroc, (2004).** « Programme d'Assistance Technique pour l'Environnement Méditerranéen-Projet Régional de Gestion des Déchets Solides », Rapport Pays - Maroc, préparé par le consortium international GTZ-ERMKGW, mai 2004, 51p.

**METAP-Egypte, (2004).** « Le projet régional de gestion des déchets solides du METAP (Rapport Pays-Egypte).

**Meoun, N et Le Clerc, F., (1999).** « Identification de sources des métaux lourds dans les OM ; Creed ».

**Mezouari F., (2011).** « Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux » Thèse en 2011. Université de l'EPAU à Elharch en Algérie et Université de Limoges.

**Mohamed El Mokhtar Ould Sidi Mohamed., (2010).** « Rapport pays sur la gestion des déchets en Mauritanie ».

**Mohee R., (2002).** « Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius ». *Resources, conservation and Recycling* 36 (2002) 33 – 43.

**MODECOM, (1993).** « Méthode de caractérisation des ordures ménagères ». ADEME (Angers). Déchets ménagers et assimilés.

**Morel J.L., Guckert A., Nicolardot B., Benistant D., Catroux G. & Germon J.C. (1986).** "Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage". *Agronomie*, 6, 8:693-701.

**Morel J.L., Jacquin F., Guckert, A et Barthel C., (1979).** « Contribution à la détermination de tests de maturité des composts urbains ». *Compte rendu de fin de contrat n°75-124.* Ministère de l'Environnement et du cadre de la vie, ENSAIA, Nancy.

**Morel J.L., Guckert A., Nicolardot B., Benistant D., Catroux G. & Germon J.C.(1986).** "Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage". *Agronomie*, 6, 8:693-701.

**Morvan B., (2000).** « Méthode de caractérisation des déchets ménagers: analyse sur produit sec ». *Déchets - Sciences et Techniques*, 20, 9-11.

**Montemurro F., Maiorana M., Convertini G and Ferri D., (2006).** "Compost organic amendments in fodder crops: effects on yield, nitrogen utilization and soil characteristics". *Compost Sci. Util.* 14 (2), 114–123.

**Mustin M., (1987).** « Le Compost, gestion de la matière organique ». F. Dubuse 954 pages.

**Mustin M., (1997).** « Le compost: gestion de la matière organique », ed François Dubusc, 954p.

**Miquel M., (2001).** "Rapport sur les métaux lourds et leur effets sur l'environnement et la santé." Paris, Sénat. 365.

\*\*\*

## ***Références bibliographiques***

**Naghel M., (2003).** « Gestion des déchets solides urbains. Cas d'étude : ville de M'sila » Mémoire de magister, université Mohamed Boudiaf, M'sila en Algérie. P101.

**Namkoong W., Hwang E. Y., Cheong J. G. & Choi J. Y.,(1999).** "A comparative evaluation of maturity parameters for food waste composting". *Compost Science & Utilization* 7, 55-62.

**Navarro A et al., (1994).** "Gestion de déchets", Technique de l'ingénieur, traités généralités et construction, A8660-C4260. p.32.

**N'Dayegamiye A., Roye R and Audess P.,(1997).** "Nitrogen mineralization and availability in manure composts from Québec biological farms". *Can. J. of Soil Sci.*, 77:345-350.

**N'Dayegamiye A., Drapeau A et Laverdière M.R., (2005).** « Effets des apports de composts de résidus ménagers sur les rendements des cultures de certaines propriétés du sol » Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA). *Agrosol*. P 142-143.

**NF U 44-051, (Avril 2006).** « Amendements organiques - Dénominations spécifications et marquage ». Norme homologuée par l'AFNOR et rendue d'application obligatoire. Mise en application obligatoire : 21 Août 2007. Amendement A1 (décembre 2010) mis en application obligatoire le 29 octobre 2011.

**Ngnikam Eet Tanawa E., (2006).** « Les villes d'Afrique face à leur déchets » Edition UTMB, Belfort-Montbéliard, 281P.

**Ngnikam E., Vermande P., Tanawa M et Wethe J., (1997).** « Une démarche intégrée pour la maîtrise de la gestion des déchets solides urbains au Cameroun » - *Rev. Déchets Sciences & Techniques*, 1997, n°20, pp 22-34.

**Ngnikam E., (2000).** « Evaluation environnementale et économique de système de gestion des déchets solides municipaux : analyse de cas de Yaoundé au Cameroun ». Thèse de doctorat e Sciences et Technique du déchet. LAEPSI/INSA DE Lyon. mai 2000. 363 p.

**Ngnikam E., Rousseaux P., Tanawa E. et Gourdon R., (2002).** « Multicriteria analysis for environmental assessment of solid waste management systems in tropical african cities : case study of Yaoundé (Cameroon) ». *Journal of decision systems*, vol 11, n°3-4/2002. Décembre 2002, Pages 479 - 498.

**Nicolardot B., Germon J.C., Chaussod R et Catroux G., (1982).** "Une technique simple pour déterminer la maturité des composts urbains." *Compost Information* 10: 4-8.

\*\*\*

**Ojeda-Benitz S., Armijo De Vega C&Rameraz-Brreto M.E., (2003).**«Characterization and quantification of household solid waste in a Mexican city » *Resources, Conservation and Recycling* 39: 211-222.

**O.N.E.M, (2001).** "Rapport sur l'Etat de l'Environnement du Maroc : Chapitre IV: Déchets et Milieux humains". Observatoire National de l'Environnement au Maroc.

**Organisation des Nations Unies (ONU, 2004).** « Perspectives sur l'urbanisation mondiale : édition (2003 - 2004) ».

**Opirih-Opareh N and Post J., (2002).**« Quality assessment of public and private modes of solid waste collection in Accra, Ghana, *Habitat International* » (26), 95-112P.

**Ouvrage rédigé par les experts de CFREPADE, (octobre 2008).** « Compostage des déchets ménagers dans les pays en développement : Modalités de mise en place et de suivi d'installations décentralisées pérennes ». Ouvrage rédigé collectivement par les experts du CFREPADE (Centre Francophonie de Recherche Partenariale sur l'Assainissement, les Déchets et l'Environnement).

\*\*\*

**Pascual J.A., Garcia C & Hernandez T. (1999).** "Comparaison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality." *Bioresource Technology* 68: 255-264.

**Pagliai M., Vignozzi N & Pellegrini S., (2004).** « Soil structure and the effect of management practices ». *Soil and Tillage Research* 79, 131-143.

**Parkhurst David F., (1984).** « Optimal Sampling Geometry for Hazardous Waste Sites » in *Environ. Sci. Technol.*, n° 18, p. 521-523.

**Pauwels J.M., Van Ranst E., Verloo M. et Mvondo Ze A., (1992).** Manuel de Laboratoire de Pédologie « Méthodes d'analyses de sols et de plantes, équipement, gestion de stocks de verrerie et de produits chimiques ». Publications Agricoles 28. Adminis. Générale Coopération au Développement, Bruxelles. 265p.

**Paul J., Arce-Jaque J., Ravena N and Villamor S.P., (2012).** "Integration of the informal sector in to municipal solid waste management in the Philippines – What does it need? Special Thematic Issue: Waste Management in Developing Countries. Volume 32, Issue 11, November 2012, Pages 2018–2028

**PATEM, (2005).** (Programme d'Assistance Technique pour l'Environnement Méditerranéen) : Projet Régional de Gestion des Déchets Solides, Rapport Synthèse Pays, préparé par le consortium international GTZ-ERMKGW. 70p.

**P.D à Blida (Algérie), (2002).** " projet de déchetterie à Blida en Algérie" (2002) <http://www.CHINA.Org.Cn/frenche/74129.htm>

**Peireira-Neto J.T., (2001).** "Controlled composting developing countries. " *Biocycle* 42 (2): 2.

**Perucci, P., (1990).** "Effect of the addition of municipal solid-waste compost on microbial biomass and enzyme activities in soil". *Biol. Fertil. Soils* 10, 221–226.

**Pfeifer E. (éd.), (1979).** « La fécondité de la terre ; 7<sup>éd</sup> ». Triades. 348P

**Pierre GY., (1996).** « L'échantillonnage des lots de matière en vue de leur analyse ». Sciences de l'ingénieur, Collection Mesures Physiques, Paris : Masson, 1986, 148p.

**PNUE, (2004).** Programme d'Aménagement côtier (PAC) " Zone côtière Algéroise". Lutte contre la pollution liée aux déchets solides – Diagnostic, 70 pages.

**Poincelot R. P., (1972).** "Biochemistry and methodology of composting. Connecticut Experiment Station Bull " . 727: 1-38

**Porlier A., (2000).** "Gestion des déchets solides au Vietnam." dans " Séminaire sur la gestion des déchets solides au Vietnam". 8-9 Mai 2000, Damang & Hô Chi Min Ville. 25.

**Pourrut B., (2007).** « Cours Traitement des déchets, DAA Sciences de l'environnement et du Master pro biosciences de l'environnement 2007-2008 ».

\*\*\*

**Raj S., (2000).** « Programme régional d'éducation et de sensibilisation aux déchets (WASTE), rapport final ». Programme régional océanien de l'environnement, PROE, Apia.

**Rapport, (2004).** Statewide Waste Characterization Study, Contractor's Report to the Board, Cascadia Consulting Group, Inc., 124 pages.

**Rapport pays-Egypt, METAP, (2004).** « Rapport pays sur la gestion des déchets en Egypt ».

## *Références bibliographiques*

**Redjal Omar., (2005).** «Vers un développement urbain durable..... Phénomène de prolifération des déchets urbains et stratégie de préservation de l'écosystème : Exemple de Constantine » Mémoire de magister, université Mentouri de Constantine en Algérie. P 99-100.

**Riachi K., (1998).** « Compostage des ordures ménagères et déchets verts. Flore fongique et risques sanitaires potentiels », Thèse Université Joseph Fou.

**Robertson F. A and Morgan W. C., (1995).** "Mineralization of C and N in organic materials as affected by duration of composting". *Aust. J. Soil. Res.*, 33:511-524.

**Roletto, E., R. Barberis, M. Consiglio, and R. Jodice.(1985a).** "Chemical parameters for evaluating compost Maturity". *BioCycle*, 26:46-47.

**Roletto, E., R. Chiono, and E. Barberis. (1985b).** "Investigation on humic matter from decomposing poplar bark". *Agricultural Wastes* 12, 12:261-272.

**Rynk R., Van de Kamp M., Willson G. B., Singley M. E., Richard T. L., Kolega J. J., Gouin F. R., Laliberty JR. L., Kay D., Murphy D. W., Hoitink H. A. J. and Brinton W. F., (1992).** In: R. Rynk (ed.). "On-farm composting handbook". Northeast Regional Agricultural Engineering Service, NRAES-54, Ithaca, New York, 186 p

**Rynk R., (2003).** "The art in the science of composting". *Compost Science & Utilization*, 11, 2:94-95.

**Rynk R., (1992).** "On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service". Cornell University, Ithaca, NY.

\*\*\*

**Sachs I., (1993).** « Le développement reconsidéré : quelques réflexions inspirées par le sommet de la terre », in revue de tiers monde, n°137, janvier février, 1993.

**Said-Pullicino D., Kaiser K., Guggenberger G and Gigliotti G., (2007).** "Changes in the chemical composition of water-extractable organic matter during composting: Distribution between stable and labile organic matter pools". *Chemosphere* 66: 2166-76.

**Sané Y., (2002).** « La gestion des déchets à Abidjan : un problème récurrent et apparemment sans solution ». *AJEAM/RAGEE* 2002 ; Vol. 4 N°1 ; 13-22

**SBA, (2005).** « Gestion rationnelle des déchets au Maghreb, GV-UMWELT- and RECYCLING MANAGEMENT ». Rapport sur Mesures d'urgences pour une remise à niveau de la station de compostage de Blida, mars 2003.

**Saviozzi A., Levi-Minzi R. & Riffaldi R. (1988).** "Maturity evaluation of organic waste." *BioCycle*, 29:54-56.

**Serra-Wittling C., (1995).** "Valorisation de composts d'ordures ménagères en protection des cultures: Influence de l'apport de composts sur le développement des maladies d'origine tellurique et le comportement de pesticides dans un sol." Mémoire de thèse pour l'obtention du diplôme de docteur de L'INA-PG, 220p.

**Séréme A et Mey P., (2007).** « Valorisation agricole des ordures ménagères en zone saoudano-sahélienne : cas de la ville de Bobo Dioulasso ». *Rev. CAMES- Série A*, Vol. 05 : 64-71p.

**Scharef C and Vogel G., (1994).** "A Comparison of collection systems in European cities". *Rev. Waste Management & Research*, 12, pp387-404.

**Scherrer Bruno., (1984).** « *Biostatistique* », Montréal, Gaëtan Morin éditeur, 850 p.



## *Références bibliographiques*

**Schnitzer, M. (1982).** « Organic matter characterization ». pages 581-595 in Page, A.L., R.H. Miller et D.R. Keeney (éditeurs). 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2e édition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 1159 pages.

**SGDSN, (2003).** « Stratégie de gestion des déchets solides de Nouakchott, organisation de la filière d'enlèvement des ordures ménagères ». Volume I, Rapport final, Ministère des Affaires Economiques et du Développement, Programme de Développement Urbain, 2003, 130 pages

**Spohn, E. (1969).** "How ripe is compost?". Compost Science, automne 1969, pages 24 à 26.

**Skordilis A., (2004).** "Modelling of integrated solid waste management systems in an island". Resources, Conservation & recycling 41: 243-254.

**Solid Waste Analysis-Tool., (2000).** "Development of a methodological tool to enhance the precision & comparability of Solid Waste Analysis data". European Commission Project, final report. 58p.

**Solid Waste Analysis-Tool., (2001).** "Development of a methodological tool to enhance the precision & comparability of Solid Waste Analysis data". European Commission Project, final report - December 2001, 58p.

**Soltner D., (2003).** « Les bases de la production végétale Tome 1 ». Le sol et son amélioration 14<sup>ème</sup> édition: collection sciences et techniques agricoles, 472p.

**Smars S., Gustafsson L., Beck-Friis B. & Jonsson H., (2002).** "Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control." *Bioresource Technology* 84: 237-241.

**Soudi B., (2001).** « Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost: cas des petites et moyennes communes au Maroc », ed Actes, 104 p.

**Soumaré M., Tack F and Verlo, M., (2003).** "Characterisation of Malian and Belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application". *Waste Manag.* 23, 517-522

**Soclo H., Aguewe M., Adjahossou B.C., Houngue T. et Azontonde A.H., (1999).** "Recherche de compost type et toxicité résiduelle au Bénin." *TSM* 9: 68-76.

**Suhler, D.J & Finstein, M.S., (1977).** "Effect of temperature, aeration, and moisture on CO<sub>2</sub> transformation in bench scale, continuously thermophilic composting of solid waste". *Appl. Environ. Microbiol.*, vol 33, n°2, p 345-350.

**Sundberg C., Smars, S. & Jonsson H. (2004).** "Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting". *Bioresource Technology* 95, 145-150.

**Stevenson F.J., (1982).** *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions.* John-Wiley & Sons, New York, p 443.

\*\*\*

**Tabet. M. Aoul., (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.

**Tahraoui Douma N., (2006).** « Analyse des déchets ménagers de la ville de Chlef : Méthodes de traitement » Mémoire de Magister à l'université de Chlef, Algérie.

**Tchobanoglous G., Theisen H & Vigil S., (1993).** "Engineering principles and management issues: Integrated solid waste management" McGraw-Hill. 978 p.

**Tezanou J., Kouliadiati J., Proust M., Sougoti M., Goudeau J.C., Kafando P et Rogaume T., (2001).** "Caractérisation des déchets ménagers de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)."

## *Références bibliographiques*

**Tha Thu Thuy., (1998).** « Pour une gestion efficace des déchets dans les villes africaines : Les mutations à conduire » Les cahiers du PDM (Programme de Développement Municipal), janvier 1998, (1) 59P.

**Thogersen J., (1999).** « Wasteful Food Consumption: Trends In Food And Packaging Waste, Scandinavian Journal of Management ». Volume 12, Issue 3, Pages 291-304.

**Tiquia S.M. & Tam N.F.Y., (1998).** "Composting pig manure in Hong Kong." *Biocycle* 39 (02): 78-79.

**Tang J-C., Maie N., Tada Y and Katayama A., (2006).** "Characterizations of the maturing process of cattle manure compost". *Process Biochemistry* 41: 380-389.

**Tezanou J., Koulidiati J., Proust M., Sougoti M., Goudeau J.C., Kafando P et Rogaume T., (2001).** "Caractérisation des déchets ménagers de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)."

**Tiquia S. M., Wan J. H. C & Tam N. F. Y., (2002).** "Microbial population dynamics and enzyme activities during composting". *Compost Science & Utilization* 10, 150-161.

**Tremier A., de Guardia A., Massiani, C., Paul E., Martel J.L., (2005).** « A respirometric method for characterizing the organic composition and biodegradation kinetics and the temperature influence on the biodegradation kinetics, for a mixture of sludge and bulking agent to be composted ». *Bioresource Technology* 96, 169-180.

**Tuladhar, B., Bania, A., (1998).** "Operating a compost plant in the Himalayan Kingdom." *Biocycle* 39 (08): 79-83.

**Tuomela M., Vikman M., Hatakka A and Itävaara, M., (2000).** "Biodegradation of lignin in a compost environment: a review". *Bioresource Technology* 72: 169-183

\*\*\*

**USEPA, (1993).** « Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis ».

**UNEP, (2001).** « Les avantages financiers de la production plus propre (PP) ».

\*\*\*

**Van Beukering P., Sehker M., Gerlagh R. & Kumar V. (1999).** "Analysing urban solid waste in developing countries : a perspective on Bangalore, India." *Creed. Mars* 1999. 36.

**Van Ginkel S.W., Lay J.J., Sung S., (2001).** "Biohydrogen production as a function of pH and substrate concentration". *Environ. Sci. Technol.*, 35 (24) (2001), pp. 4726-4730

**Van Haaren, R., (2009).** Large scale aerobic composting of source separated organic wastes: A comparative study of environmental impacts, costs and contextual effects. MS Thesis, Columbia University, New York. Unpublished Results. [www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/haaren\\_thesis.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/haaren_thesis.pdf)

**Véro J., (2006).** « L'urbanisation dans le monde ». Paris, la découverte, coll « Repère économique » P.122

**Veeken A., Nierop K., Wilde V and Hamelers B., (2000).** "Characterisation of NaOH-extracted humic acids during composting of biowaste". *Bioresource Technology*, 72:33-41.

**Villebonnet C., (1988).** « Etude quantitative des déchets d'espaces verts publics ». Mémoire ENITRTS, 119 p.

**Von Blottnitz H., Pehlken A et Pretz T., (2001).** « The description of solid wastes by particle mass instead of particle size distributions ». *Resources, Conservation and Recycling*, 34, 193- 207.

\*\*\*

**Waksman, S.A., Cordan, T.C and Hulpoi N., (1939).** "Influence of temperature Upon the microbiological population and decomposition processes in compost of stable manure. *Soil.*

**Waas E., Adjademe N., Bideaux A., Deriaz G., Diop O., Guene O., Laurent F., Meyer W., Pfammatter R., Schertenleib R et Toure C. (1996).** "Valorisation des déchets ménagers organiques dans les quartiers populaires des villes africaines." Genève, Suisse, SKAT.142.

**Wahyono S. & Sahwan F.S. (2000).** "Low-tech composting in tropical countries." *Biocycle* 41 (02): 78-79.

**Walter I., Martinez F., Cuevas G., (2006).**« Plant and soil responses to the application of composted MSW in a degraded, semiarid shrubland in central Spain”. *Compost Sci. Util.* 14 (2), 147–154.

**Wei Y.S., Fan Y.B., Wang M.J et Wang J.S., (2000).**“Composting and compost application in China” *Resources, Conservation and Recycling* 30 (2000) 277 – 300.

**WickerA., (2000).** "Gestion des déchets. Statistiques pour la politique de l'environnement". 27-28 novembre 2000, Munich.

**Wilson D., Whiteman A and Tormin A., (2001).**“Strategic Planning Guide For Municipal Solid Wastes management”. The International Bank for Reconstruction and Development /The World Bank, Version 2.

**Wong M.H., (1985).**“Phytotoxicity of refuse compost during the process of maturation”. *Environmental Pollution, Series A: Ecological and Biological* 37: 159-174.

**World Health Organization, (1978).**“Methods of analysis of sewage sludge, soild wastes and compost”. International Reference Center for Wastes Disposal, CH-8600, Dubendorf, Suisse.

**Wu L., Ma L.Q& Martinez G.A., (2000).**"Comparison of methodes for evaluating stability and maturity of biosolids compost." *J. Environ. Qual.*, 29:424-429.

\*\*\*

**YulipriantoHieronymus., (2001).**« Emission d’effluents gazeux lors du compostage des substrats organiques en relation avec l’activité microbiologique (nitrification dénitrification) ». Thèse de doctorat. Université de Rennes 1.

\*\*\*

**Zahrani F., (2006).** « Contribution à l’élaboration et validation d’un protocole d’audit destiné à comprendre le dysfonctionnement des centres de stockage de déchets (CSD) dans 240 les pays en développement. Application à deux (CSD). NKOL FOULOU (Cameroun) et Essaouira (Maroc) ». Thèse de doctorat. Institut INSA Lyon.

**Zeglels et Masscho, (1999).** « Quantité d’organismes vivants intervenant à un moment ou à un autre pendant le compostage ». C.I.H.E.A.M Mediterranean Agronomic Instituted of Bari. p29.

**Zhang M., Heaney D., Henriquez B., Solberg E and Bittner E., (2006).**A four- year study on influence of biosolids/MSW cocompost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics. *Compost Sci. Util.* 14 (1), 68–80.

**Zorpas A.A., Arapoglou D and Panagiotis K., (2003).**« Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) forcompost production”. *Waste Management*, 23, 27–35.

**Zucconi F., Pera A., Forte M and De Bertoldi M., (1981).** «Evaluating toxicity of immature compost”.*Biocycle* 22: 54–57.

**Zucconi F., Forte M., Monaco A and De Bertoldi M., (1981a).** « Biological evaluation of compost maturity”.*Biocycle*, vol 22, 1981a, p 27-29.

**Zurbrügg C & Ahmed R.,(1999).**”Enhancing Community Motivation and Participation in Solid Waste Management”.*Sandec News* N°. 4

## ***Références bibliographiques***

**ZurbrüggC., (2003).**”Markets for compost - a key factor for success of urban composting schemes in developing countries”.In ISWA congress.9-13 November 2003, Melbourne Australia.

**ZurbrüggC., Drescher S., Patel A.H&Sharatchandra H.C. (2003).** "Taking a closer look at decentralised composting schemes - lessons from India." Published in: Asian Society for Environmental Protection (ASEP) – Newsletter, March 2003.

**ANNEXEX**



**Annexe I : Liste des catégories et sous-catégories des déchets ménagers (AFNOR, 12 juin 2007).**

N° de catégorie	Catégorie	N° de Sous-catégorie	Sous-catégorie	Exemples
01	<b>Déchets putrescibles</b>	01.01	Déchets alimentaires (reste de cuisine)	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
		01.02	Produits alimentaires non consommés (sous emballage)	Yaourts pleins fermés, sachets de produits congelés non ouverts, barquettes d'aliments non ouvertes
		01.03	Autres putrescibles	Cadavres d'animaux (oies entières, chats, rats...), excréments, croquettes et aliments pour animaux, peaux de lapin
		01.04	Déchets de jardin	Gazon coupé, herbes, fleurs, brindilles, branches, taille de haies, feuilles, résidus de jardin, résidus de potager, terre, glands, marrons
02	<b>Papiers</b>	02.01	Emballages papiers	Sacs ou sachets en papier, papier d'emballage, papier d'emballages spéciaux (viande, poisson, fromage, beurre) Papier de sucre, sachets à sandwiches
		02.02	Journaux, magazines et revues	Journaux locaux et nationaux (Métro, 20 minutes, quotidiens), annuaires téléphoniques, brochures avec ou sans papier glacé, Magazines, journaux des collectivités, documents publiés par un service public (mairie, conseil général, conseil régional, état, ministère...)
		02.03	Imprimés publicitaires a	Publicités, courrier publicitaire, publicités sur papier glacé Journaux gratuits (petites annonces), brochures présentant des promotions (grandes surfaces, grandes chaînes de magasins), catalogues touristiques, Catalogues de produits ou de vente par correspondance, tracts
		02.04	Papiers bureautiques	Papier d'ordinateur, photocopies, factures, listings Papier imprimé ou papier blanc de bureau, enveloppes, enveloppes à fenêtre, papier à lettre, papier autocopiant
		02.05	Autres papiers	agendas, affiches, livres reliés, livres brochés, papier canson, papier bristol, tickets d'autobus, papier peint, photos, cahiers à spirales, cahiers, papiers cadeaux

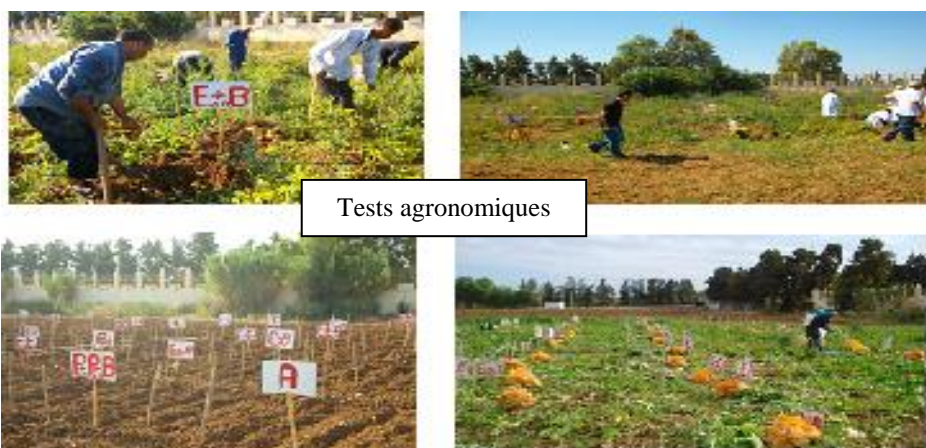
N° de catégorie	Catégorie	N° de Sous-catégorie	Sous-catégorie	Exemples
03	Cartons	03.01	Emballages cartons plats	Paquets de céréales, poudres à laver, boîtes d'œufs, de pâtes, de mouchoirs en papier (avec ou sans opercule en plastique), boîtes de lait en poudre, de jouets, cartons de crème glacée, de yaourts, pack de bières, Carton à pizza, emballages de biscuit (même s'il reste du plastique à l'intérieur), paquet de cigarettes vide, rouleaux de papier toilette, autres rouleaux, boîte de médicaments vide
		03.02	Emballages cartons ondulés	Cartons ondulés, cartons de déménagement
		03.03	Autres cartons	Cartes d'anniversaire/ Noël... dossiers, chemises en carton, cartes postales, calendriers, classeur hors d'usage
04	Composites	04.01	Composites ELA	ELA : emballages de liquides alimentaires ou briques alimentaires: lait UHT, jus de fruit, soupes, sauces, crème
		04.02	Autres Emballages composites	Emballages composés de plusieurs matériaux différents non séparables (papiers, cartons, plastiques, aluminium) : emballages café, emballages de saumon, emballage de beurre (avec aluminium)
		04.03	Petits Appareils Electroménagers (PAM)	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
05	Textiles	05.01	Textiles	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, brin, ficelle, corde, rideau, couverture
06	Textiles sanitaires	06.01	Textiles sanitaires fraction hygiénique	Couches culottes, serviettes hygiéniques, cotons, lingettes,
		06.02	Textiles sanitaires fraction papiers souillés	Mouchoirs en papier, papiers absorbants à usage ménager essuie-tout, serviettes en papier, nappes en papier
07		07.01	Films polyoléfinés (PE et PP)	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
		07.02	Bouteilles et flacons en PET	Code 1 (ou PET) : Bouteilles d'eau plate ou gazeuse, de boissons sucrées gazeuses, de jus de fruits, de vinaigre, de produits nettoyants, bouteilles d'huile vides bouteilles de lait frais pasteurisé



N° de catégorie	Catégorie	N° de Sous-catégorie	Sous-catégorie	Exemples
07	Plastiques	07.03	Bouteilles et flacons en Polyoléfines	Code 2 (ou HDPE), 4 (ou LDPE), 5 (ou PP) : Bouteilles de lait, de produits de lessives
		07.04	Autres emballages plastiques	Boîtes à œufs, barquettes alimentaires, calage électroménager Blister (emballage en plastique moulé, souvent associé à un carton, ex : emballage de pile, brosse à dent, stylo, rasoir, pellicule photos, ampoules...) Alvéoles, pots de produits laitiers et de margarine, pots de yaourt vides, boîte de crème glacée, couvercles (uniquement pour les emballages alimentaires), tubes de dentifrices (ou système à pompe) Recharge d'adoucissant vide (berlingots), barquette de viande en mousse polystyrène, boîte de pellicules photos, les brosses à mascara faisant partie du couvercle du récipient Bouchons seuls Bouteilles et flacons en PVC, code 3 (ou PVC) : Bouteilles d'eau plate ou gazeuse, de vinaigre, de produits nettoyants, de produits de droguerie, bouteilles de certaines marques de vin bon marché, bouteilles d'huile vides
		07.05	Autres plastiques	Tuyaux, doubles décimètres, couvercles de WC, thermos, brosses à dents, tubes, pichets, gobelets, boîtes plastiques hermétiques, boutons, ustensiles ménagers (fonctionnant sans prise électrique, pile ou accumulateur), pots de fleur, lunettes de soleil Stylos usagés, cintres, pistolets à eau, cerclage en plastique de bières, cassette VHS, CD, DVD, disquette, rasoir en plastique (type « bic »), coton tige, gaine de pompe, stick désodorisant, volant de badminton, pièces automobiles, prise électrique (simple, multiprise, avec ou sans rallonge), fibre de verre Jouets
08	Combustibles non Classés (CNC)	08.01	Emballages en bois	Cageots, cagettes, boîtes à fromage, palettes, barquettes de fruits
		08.02	Autres combustibles	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
09	Verre	09.01	Emballages en verre incolore	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 fruits, épices, parfums)
		09.02	Emballages en verre de couleur	Bouteilles, flacons et bocaux en verre, bière, cidre, vin, eau minérale
		09.03	Autres verres	Verres plats, miroirs, vaisselle en pyrex ou opaline Verres à boire en verre ou en cristal, petits bouts de verre, ampoule classique
10	Métaux	10.01	Emballages métaux ferreux	Boîtes de boissons (bière, cola, etc), boîtes d'aliments pour animaux, boîtes de conserves (légumes, fruits, viande, poisson), couvercle, boîtes à biscuits Aérosols en métal ferreux n'ayant pas contenu de produit chimique toxique (ex : brumisateur, bombe de crème chantilly, déodorant, mousse à raser...)
		10.02	Emballages aluminium	Boîtes de boissons (bière, cola, etc), boîtes de conserve, , barquettes, aérosols en aluminium n'ayant pas contenu de produit chimique toxique, tubes de dentifrice

N° de catégorie	Catégorie	N° de Sous-catégorie	Sous-catégorie	Exemples
10	<b>Métaux</b>	10.03	Autres métaux ferreux	Clés, écrous, boulons, clous, couverts, antivols, serre-joints, trombones, épingles de sûreté, outils, pièces automobiles, ustensiles ménagers, parapluie Boule de pétanque, lames de cutter, de rasoir
		10.04	Autres métaux	Profilés, couverts, vaisselle, ustensiles de cuisine, gourde, pièces de vélo, serre-joints, objets moulés (robinetterie, casseroles, fils de cuivre, etc.), tuyauterie, pièces automobiles, chutes de fil électrique, rallonges (sans multiprises), capsules de lait ou de yaourt, paquets craquants, aluminium ménager : feuille d'aluminium
11	<b>Incombustible non classés (INC)</b>	11.01	Emballages incombustibles	pots de yaourt en argile, pots de moutarde en grès, barquette en terre
		11.02	Autres incombustibles	Matériaux inertes non classés dans les autres catégories (gravats, pierres, poteries, coquillages), céramiques, carreaux, faïence ou porcelaine, briques, pots de fleur en terre, plâtre, Objets en pierre, coquilles d'oeufs, d'huîtres, de moules, pattes de crabes et langoustines, os, litière minérale des animaux, fusibles
12	<b>Déchets ménagers spéciaux</b>	12.01	Produits chimiques	Emballages souillés : bouteilles d'encre, vernis à ongles, colles ; Emballages souillés et contenant : dissolvant, acides forts, white spirit, toluène, trichloréthylène, ammoniac ; Emballages souillés de bains photographiques, clichés radiographiques et photographiques ; Emballages souillés par des fongicides, herbicides, insecticides (y compris les aérosols)... Huile de moteur, pot de peinture vide ou plein, négatifs photographiques Cartouche d'encre, toner de photocopieurs
		12.02	Tubes au néon, lampes basse consommation	Tubes au néon, lampes basse consommation
		12.03	Piles et accumulateurs	Batteries de voiture, piles boutons, piles alcalines, piles salines, ... Piles rechargeables, accumulateur de téléphone portable
		12.04	Autres déchets ménagers spéciaux	Seringues, médicaments (produit avec son emballage), filtre à huile, déchets des activités de soins, ...
13	<b>Eléments fins</b>	13.01	Eléments fins entre 8 et 20 mm	Tous déchets entre 8 et 20 mm

**Annexe II** : Déroulement du travail au niveau de la plate-forme et analyse des échantillons dans le laboratoire.



## **Résumé**

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

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

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

Ce travail de recherche-action est orienté sur plusieurs aspects pour assurer une filière pérenne de compostage, et sur notamment : - la caractérisation précise du gisement de RSU en flux (T/J) et en composition sur deux années et quatre saisons, - l'expérimentation sur un pilote demi-grand d'une plateforme de tri-compostage, permettant de fixer tous les paramètres de fonctionnement du procédé, et - l'étude de la valorisation agronomique du compost produit sur plusieurs types de cultures en pratique dans la willaya de Chlef.

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

## **Abstract**

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

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

In this context, a treatment by composting of the municipal solid waste of the municipality of Chlef, was formulated and presented to the competent authorities of the willaya of Chlef, with a study on the possibilities of composting of the MSW predominantly organic (60-70 %). This valorization of residues in the form of compost would allow relieving the polluting load arriving in the landfill of Meknassa.

This work of search-action is directed on several aspects to insure a long-lasting sector of composting, and on in particular: - the characterization specifics of the field of MSW into flow (Ton / day) and into composition over two years and four seasons, - the experiment on a half-big pilot of a platform of sorting-composting, allowing to fix all the parameters of functioning of the process, and the study of the agronomic valuation of the produced compost on several types of cultures used in the willaya of Chlef.

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