

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université ABDRAHMANE MIRA de Bejaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement

Mémoire de fin de cycle

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Naturelles de
l'Environnement*

Thème



*Compostage des déchets verts : Cas de
la station biocompost d'EL-KSEUR*

Présenté par :

Mme CHENNI Kahina

M^{elle} MAGHLOUCHE Yasmina

Membre de jury :

President: Mr SIDI Hachemi(MCA)

Promoteur: Mr BEKDOUCHE Farid..... (MCA)

Co-promoteur : Mr AIT SIDHOUM Djaffer(MAA)

Examineurs: Mr BOUADAM Said..... (MAA)

Mr LAIMOUCHE Abdelhafid.....(MAA)

Année : 2012/2013

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université ABDRAHMANE MIRA de Bejaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention d'un diplôme Master en Sciences Naturelles de
L'environnement

Thème

Compostage des déchets verts : Cas de la station *biocompost d'EL-KSEUR*

Proposé par :

Mme CHENNI Kahina

M^{elle} MAGHLOUCHE Yasmina

Membre de jury :

President: Mr SIDI Hachemi(MCA)

Promoteur: Mr BEKDOUCHE Farid.....(MCA)

Co-promoteur: Mr AIT SIDHOUM Djaffer.....(MAA)

Examineurs: Mr BOUADAM Said.....(MAA)

Mr LAIMOUCHE Abdelhafid.....(MAA)

Année : 2012/2013

Dédicace et remerciement



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

-Mes très chers parents, dont ce travail constitue une légère compensation pour tous leurs nobles sacrifices afin d'assurer mon bien être et mon éducation, Que Dieu les protèges et les gardent en bonne santé ;

-Mon adorable marie AMAR et toute ma belle famille ;

-Mon oncle HACEN et toute sa famille ;

-Mes chers frères et sœurs : SALAH, AZIZ, LOUNIS, MAKHELOUF, BAYA, CHAFIAA. Leurs maris, femmes et enfants ;

-La mémoire de mon défunt neveu FAFI que dieu l'accueille dans son vaste paradis ;

-Toutes la famille CHENI et KADIM ;

-A ma très chère collègue YASMINA, ensemble nous avons pu faire et achever ce travail, nous avons partagé d'agréables moments tout au long de notre cursus universitaire, ainsi que sa famille ;

-Tous mes collègues de la promotion M2 S.N.V ;

KAHINA





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

-Mes très chers parents, dont ce travail constitue une légère compensation pour tous leurs nobles sacrifices afin d'assurer mon bien être et mon éducation, Que Dieu les protèges et les gardent en bonne santé ;

-Mon grand père, que dieu le garde et lui accorde santé et bonheur ;

-La mémoire de mes défuntes grand-mères KHADIDJA que dieu les accueille dans son vaste paradis ;

-Mes chers frères : SADDEK et ZIZOU;

-Mes adorables petites sœurs : FAHIMA, CELINA ;

-Toutes mes tantes, mes oncles. Leurs maris, femmes et enfants ;

-Toutes la famille MAGHLOUCHE et ALOUACHE ;

-Mes chers cousins et cousines, et tous mes amis(es),

-A ma très chère collègue KAHINA, ensemble nous avons pu faire et achever ce travail, nous avons partagé d'agréables moments tout au long de notre cursus universitaire, ainsi que sa famille ;

-Tous mes collègues de la promotion M2 S.N.V ;

YASMINA





Remerciement

Nous tenons à remercier en premier lieu dieu le tous puissant de nous avoir donné courage et santé pour achever ce travail.

Un grand remerciement à notre promoteur Mr BEKDOUCHE F. pour ses valeureux conseils, ses orientations qui ont beaucoup enrichi ce travail, et à notre Co-promoteur Mr AIT SIDHOUM D.

Que nos vifs remerciements aillent à Mr SIDI qui nous fait l'honneur de présider l'honorable jury, et Mr LAIMOUCHE A. et Mr BOUADAM S. pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons aussi à remercier Mr AMZAL B. pour son aide et son chaleureux accueil à sa station biocompost d'EL-KSEAUR.

Nos remerciements sont également exprimés à Mr HARZELLI R. (ingénieur) pour son aide inestimable, et ses conseils.

Enfin, nos remerciements s'adressent à tous les enseignants et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.



Sommaire

Sommaire

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I

Etude bibliographique

I. Généralité

I.1. Définition des déchets	3
I.1.1. Déchets organiques d'un jardin	3
I.1.2. Types des déchets végétaux et animaux	3
I.1.3. Déchets verts	3
I.2. Définition et composition de la matière organique	4
I.2.1. Types de matières organiques	5
I.2.1.1. Le fumier	5
I.2.1.2. L'humus	5
I.2.1.3. Le lisier	6
I.2.1.4. La litière	6
I.2.1.5. Les engrais vert	6
I.2.2. Le rôle de la matière organique	7
I.2.3. Dynamique de la matière organique	8
I.2.3.1. La minéralisation	8
I.2.3.3. L'assimilation	8
I.2.3.2. L'humification	8
I.2.4. Dégradation des composants chez les différents types de végétaux	9
I.2.5. facteurs influençant la dynamique de la matière organique	9
I.2.5.1. Les conditions climatiques	9
I.2.5.2. Les propriétés physico-chimiques	10

II. Le compostage

II.1. Définition	10
II.2. Les organismes décomposeurs	11
II.2.1. Les micro-organismes	11
II.2.2. Les macro-organismes	13
II.3. Les activateurs du compostage	14
II.4. Type de matière à composter	15
II.5. le compost à base de déchets verts	16
II.6. Les avantages du compost	17
II.6.1. Amélioration de la croissance des végétaux et racines	17
II.6.2. Amélioration du rythme de diffusion des nutriments	17
II.6.3. Amélioration de la porosité du sol	17
II.6.4. Amélioration de la capacité de rétention d'eau	17
II.6.5. Elimination des maladies chez les végétaux	17
II.6.6. Effet sur la structure du sol	17
II.6.7. Effet sur les caractéristiques physico-chimiques du sol	18
II.6.8. Effet sur la dynamique du sol et amélioration des échanges gazeux	18

II.7. Les techniques	19
II.7.1. Le fût.....	19
II.7.1.1. L'aération dans un fût	20
II.7.2. Le silo	21
II.7.3. Le tas.....	22
II.8. Vermicompost	23
II.9. Les étapes du compostage	23
II.9.1. Réception et stockage des déchets verts	23
II.9.2. Broyage, mélange et mise en andains.....	23
II.9.3. Retournement et arrosage	24
II.9.4. Criblage et stockage du compost	24
II.10. Phases du compostage	24
II.11. Paramètres physico-chimiques	25
II.11.1.Ph.....	25
II.11.2.Température.....	26
II.11.3.Teneur en eau.....	28
II.11.4.Apport d'oxygène	29
II.11.5.Granulométrie	29
II.11.6.Teneur en azote.....	30
II.11.7.Teneurs en matière organique et en carbone organique	31
II.12. L'évaluation d'un compost mur	31

Chapitre II

Méthodologie

II.1. Présentation de la station d'étude

II.1.1. Présentation de la région d'EL-KSEUR.....	31
II.1.1.1. Aperçu historique et géographique.....	31
II.1.1.2. Démographie	32
II.1.1.3. Situation climatique.....	32
II.1.2. Présentation de la station de compostage biocompost d'EL-KSEUR.....	34
II.1.2.1. Collection des déchets verts	34
II.1.2.1.1. Travaux d'entretiens générant des déchets verts	34
II.1.2.1.2. Moyens de transport des déchets verts vers la station.....	37
II.1.2.2. Aire de compostage	38
II.1.2.2.1. Description de l'aire de compostage de la station	38
II.1.2.2.2. Organisation des tâches	38
II.1.2.2.3. Equipements de protection	39
II.1.2.2.4. Matériel.....	39

II.2. Méthodologie

II.2.1. Préparation de la matière à composter.....	42
II.2.1.1. Réception des déchets verts	42

II.2.1.2. Tri des déchets verts	43
II.2.1.3. Broyage des déchets verts.....	44
II.2.1.4. Construction des lots de compost	44
II.2.1.5. Arrosage des lots de compost	46
II.2.1.6. Retournement des andains	47
II.2.1.7. Le criblage	47
II.2.1.8. Le stockage du compost	48
II.2.2. Observation sur site	49
II.2.3. Evaluation de la maturité du compost	50
II.2.3.1. Analyses au laboratoire	50
II.2.3.2. Test de germination	55

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1. Suivi du compostage	56
III.1.1. Composition du substrat composé.....	56
III.1.2. Aspect du substrat composté	56
III.1.2.1. Aspect visuel	56
III.1.2.2. Aspects biologiques.....	57
III.1.2.3. Aspects physiques	59
III.1.2.3.1. Tests de température.....	59
III.1.2.3.2. Humidité.....	60
III.1.2.3.3. Le Ph	63
III.1.2.4. Aspect chimique	64
III.1.2.4.1. Matière organique et carbone organique	64
III.1.2.4.2. Azote	66
III.1.2.4.3. Phosphore	66
III.1.2.4.4. Potassium	67
III.1.2.4.5. Rapport C/N	67
III.1.2.5. Test de germination.....	68
Conclusion.....	70
Références bibliographiques	
Annexes	

Listes des figures

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Schéma représentant une coupe d'un profil pédologique de sol forestier	5
Figure 2 : La litière dans une communauté dominée par la fougère aigle (<i>Pteridium aquilinum</i>)	6
Figure 3 : Evolution générale des substances organiques dans le sol.....	8
Figure 4 : Représentation schématique d'une bactérie.....	11
Figure 5 : Représentation du mycélium d'un champignon	12
Figure 6 : Représentation du mycélium chez un actinomycète.....	13
Figure 7 : Quelques activateurs naturels du compostage	15
Figure 8 : Schéma du cycle de l'azote lié à un apport de compost	18
Figure 9 : Le fût.....	19
Figure 10 : La tige aératrice	20
Figure 11 : Silo grillagé métallique.....	21
Figure 12 : Palette en bois	21
Figure 13 : Aération au silo	21
Figure 14 : Méthode de compostage en silo.....	22
Figure 15 : Tas en forme trapézoïdale.....	22
Figure 16 : Tas disposé en andain	22
Figure 17 : Vermicompost	23
Figure 18 : Courbe de l'évolution de la température au cours du compostage.....	25
Figure 19 : Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du Compostage.....	28
Figure 20 : Situation géographique d'EL-KSEUR.....	32
Figure 21 : Courbe des Valeurs moyennes mensuelles des températures de la région D'EL-KSEUR (1978-2010)	33
Figure 22 : Histogramme des valeurs moyennes mensuelles des précipitations (mm) pour la Région d'EL-KSEUR (1970-2010).	33
Figure 23 : Situation de la station biocompost.....	34
Figure 24 : Photo de la Tonte du gazon	35

Figure 25 : Ramassage des feuilles	35
Figure 26 : Elagage avec la nacelle	36
Figure 27 : Taille des arbustes et des haies	36
Figure 28 : Tracteur avec remorque de benne.....	37
Figure 29 : Camion de collecte avec benne.....	37
Figure 30 : Aire de compostage de la station biocompost	38
Figure 31 : Le broyeur CIP 1500	40
Figure 32 : La pompe à moteur d'arrosage.....	40
Figure 33 : Le retourneur des andains	41
Figure 34 : Le cribleur.....	41
Figure 35 : Arrivée des déchets verts quelques soit leur tailles	43
Figure 36 : A : Déchets verts ne nécessitant pas de broyage, B : grosses branches difficiles à broyer, C : Déchets verts nécessitant un broyage.....	43
Figure 37 : Le broyage	44
Figure 38 : Déchargement des bennes	45
Figure 39 : Les andains	45
Figure 40 : Arrosage des lots de compost	46
Figure 41 : Récupération de l'eau dans le bassin	47
Figure 42 : Le retournement.....	47
Figure 43 : Opération de criblage.....	48
Figure 44 : Sac du compost	48
Figure 45 : Stockage du produit	48
Figure 46 : L'étiquette du produit.....	49
Figure 47 : Test de température	50
Figure 48 : Schéma illustrant le niveau de mesure de la température avec le thermomètre à sonde	50
Figure 49 : Construction d'un échantillon global qu'on homogénéise parfaitement.....	52
Figure 50 : Constitution d'un échantillon final.....	52
Figure 51 : Echantillon final du compost.....	53
Figure 52 : Modèle d'étiquette	53

Figure 53 : Aspect visuel du compost après 8 mois.....	57
Figure 54 : Evaluation de l'indice de maturité du compost	57
Figure 55 : Coprin chevelu.....	58
Figure 56 : Population des vers de terre.....	59
Figure 57 : Evolution de la température dans les lots de compost au cours du processus de compostage	59
Figure 58 : Différence d'humidité en fonction de la hauteur	61
Figure 59 : Zone 1	61
Figure 60 : Zone 2	62
Figure 61 : Zone3	62
Figure 62 : Zone 4	63
Figure 63 : Evolution du pH au cours du compostage	63
Figure 64 : Gamme de l'évolution du pH.....	64
Figure 65 : Evolution de rapport C/N au cours du compostage dans le compost.....	67
Figure 66 : Test de germination avec <i>Phaseolus sp</i>	68
Figure 67 : Croissance aérienne et racinaire chez <i>Phaseolus sp</i>	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Différentes formes que peut prendre un déchet en fonction de son origine.....	4
Tableau II : Les différents rôles de la matière organique dans le sol.....	7
Tableau III : Exemple de la quantité d'êtres vivants que l'on peut trouver dans un kilo de compost en activité.....	14
Tableau IV : Les différentes matières à composter.....	15
Tableau V : Les différentes matières à ne pas composter.....	16
Tableau VI : Type de micro-organismes intervenants en fonction de la température.....	27
Tableau VII : Paramètres de contrôle et de suivi du procédé.....	30
Tableau VIII : Caractéristiques des lots.....	46
Tableau IX : Hygiénisation du compost en fonction de la température.....	60
Tableau X : Définition des classes de maturité des composts à partir de production du carbone organique total après trois mois de compostage.....	65
Tableau XI : Définition des classes de maturité du compost.....	66
Tableau XII : Croissance aérienne et racinaire de <i>Phaseolus sp</i> dans le compost et le terreau.....	69

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Paramètre du compost mûr.

Annexe 2 : Liste des espèces végétales utilisées pour le compostage.

Annexe 3 : Classification de mélange de broyat.

Annexe 4 : Test visuel de la maturité du compost.

Annexe 5 : Tests de températures aux cours du compostage.

Annexe 6 : Caractéristiques physico-chimiques du substrat composté (le broyat).

Annexe 7 : Résultats des analyses physico-chimiques du compost.

Annexe 8 : Conformation de la maturité du compost.

Introduction

Introduction

Les sols en Algérie sont insuffisamment pourvus en éléments nutritifs assimilables par les plantes (N, P, Ca, etc.) (Anonyme1, 2012). Ainsi, ils ne peuvent en l'état assurer une production agricole acceptable sans que des apports massifs d'engrais chimique ou d'amendements organiques ne leur soient appliqués. Par ailleurs, l'urbanisation entraîne une concentration des structures minérales au cœur des villes algériennes, d'où la présence indispensable d'espaces verts au sein d'une agglomération pour conserver une place au végétal. C'est dans cet esprit que les collectivités s'engagent à mettre à la disposition du public des espaces verts dont la qualité passe par un entretien adapté. Cet entretien génère naturellement des déchets végétaux dont l'élimination pose des problèmes aux services municipaux. Le stockage de ces déchets sur le lieu de production a un impact négatif visuel et souvent olfactif surtout au printemps où les apports de gazon sont importants et contribuent à leur surcharge.

Les solutions de traitement ou de stockage des ordures ménagères sont peu adaptées aux déchets végétaux et présentent de nombreux inconvénients :

- Les déchets verts constituent des flux saisonniers volumineux qui contribuent à saturer les équipements de collecte et d'élimination.
- Décharges : les déchets verts contribuent à augmenter la fraction fermentescible que l'on cherche au contraire à diminuer pour réduire la production de biogaz et de lixiviats. La fermentation anaérobie des déchets verts produit du méthane et charge les lixiviats en matière organique.
- Unité d'incinération : Perturbation de la combustion dans les fours. Les quantités importantes de déchets verts provoquent des variations du pouvoir calorifique des ordures ménagères, une baisse de température et des mâchefers non conformes ou imbrûlés.

Pourtant, il existe une solution simple, écologique, économique et bénéfique pour nous comme pour la nature : le compostage, qui offre des solutions permettant de transformer les déchets organiques. C'est également la solution la plus acceptable pour assainir des matières organiques fraîches (Anita, 2003).

Le premier objectif du compostage des déchets organiques est le respect de l'hygiène de l'environnement (Werner et *al.*, 2000). Une possibilité pour réduire la quantité des déchets

biodégradables sur les décharges est leur compostage et réintroduction dans le cycle naturel comme un précieux amendement ou engrais (Sandres, 2000). C'est dans cette optique que la station de compostage biocompost a été créée.

La station de compostage biocompost d'EL-KSEUR a été mise en fonction en 2012, et elle est conçue dans le but de fabriquer et d'employer le compost et aussi d'énoncer de façon claire et scientifique les principes de base du compostage. Elle répond aussi à l'exigence écologique de ne plus ni brûler ni mettre en décharges les déchets des jardins et d'espaces verts (Soltner, 2007).

Le compostage est un phénomène biologique naturel qui peut durer de 4 à 8 mois pour avoir un compost mûr. Mais, aboutit également à des résultats hasardeux si les conditions ne sont pas réunies (présence des bactéries en quantité suffisante, apport d'oxygène, taux d'humidité, rapport du carbone sur l'azote, etc.). Les variations importantes de durée d'efficacité d'un compostage non dirigé sont difficiles à gérer lorsqu'il s'agit de le pratiquer à grande échelle. (Gray et Biddlestone, 1976)

Cette étude a donc pour objet de tester le mode de compostage en andain, suivre les processus de compostage et aussi d'évaluer la qualité du compost de déchets verts.

Ce mémoire comprend trois chapitres principaux :

- Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique, qui traite dans sa première partie de généralités sur le compostage et dans sa deuxième partie sur le processus de compostage ;
- Le deuxième chapitre est structuré en deux parties également dont la première présente le site d'étude et la deuxième porte sur la méthodologie de travail ;
- Le troisième chapitre est consacré aux résultats obtenus et à leur interprétation ;
- Enfin, une conclusion générale.

Chapitre I

Etude Bibliographique

I. Généralités

I.I.1. Définition des déchets

D'après la loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, on entend par déchets :

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

Autre définition : un déchet correspond à tout matériau, substance ou produit jeté ou abandonné parce qu'il n'a plus d'utilisation précise.

Le terme de déchet traduit l'idée de se défaire d'un produit dont une personne physique ou morale dispose (Damien, 2006).

I.I.1.1. Déchets organiques d'un jardin

Un jardin produit des déchets organiques, c'est-à-dire provenant d'un être vivant, animal ou végétal, autrefois on ne les appelait d'ailleurs pas des déchets. Ils étaient valorisés en terreaux de feuilles, bois pour la cheminée, compost (Cadorin, 1995).

I.I.1.2. Types des déchets végétaux et animaux

Sel minéraux et humus : les sels minéraux libérés servent de nourriture pour une nouvelle génération de plantes ; l'humus améliore la terre et nourrit lentement les plantes d'éléments simples comme le carbone et l'azote (Mustin, 1987).

Une multitude d'êtres vivants (microorganismes, vers de terre, insectes) décomposent la matière végétale pour en tirer leur nourriture. L'aboutissement de ce processus est double :

- Une partie se minéralise, c'est-à-dire se transforme en éléments minéraux simples: azote, phosphore, magnésium, oligoéléments,...etc.
- Une autre partie aboutit à la formation d'un ensemble de substances organiques complexes qui constitue l'humus (Pépin, 2008).

I.I.1.3. Déchets verts

Les déchets verts sont des déchets organiques issus de l'entretien des espaces verts, des jardins privés, des serres, des terrains de sports... On désigne par déchets verts les feuilles mortes, les tontes de gazon, les tailles de haies, d'arbustes, les résidus d'élagage, les

déchets d'entretien de massifs, les déchets de jardin des particuliers collectés séparément ou par le biais des déchetteries.

Tableau I : Différentes formes que peut prendre un déchet en fonction de son origine (Anonyme2, 2012) :

Activité professionnelle	Type de déchet
Entretien des espaces verts et des jardins	Tontes, coupes et tailles de haies ou d'arbustes, branches et branchages de différentes épaisseurs. Ces déchets sont générés par les services municipaux ou par des entreprises spécialisées dans la gestion des espaces verts intervenant auprès des communes, des établissements publics et privés ou des particuliers.
Abattage d'arbres	Racines, troncs, branches et feuilles. La partie ligneuse appartient plutôt à la catégorie « <u>déchets de bois</u> ».

I.I.2. Définition et composition de la matière organique du sol

La matière organique est l'ensemble des composés carbonés et azotés issus de la dégradation des produits de la faune et de la flore, de surface et du sous sol. Elle présente une gamme de substance très différente et à des stades d'évolution très variée (Duchaufour, 1977).

On distingue par ordre d'évolution:

- La matière organique vivante (racine, faune, microorganisme, microfaune), la matière organique fraîche, peu décomposée (provenant du reste de microorganisme vivant présent ou apporté dont la structure est encore facilement reconnaissable), les composés organiques chimiquement bien définis tels que les sucres, les acides organiques, les acides aminés (issus de la décomposition) et enfin l'humus (matière organique stabilisée) et les éléments microbiens constituant la biomasse (Bachelier, 1963).
- Les résidus organiques apportés au sol sous forme de litières, de résidus de récolte, de composts ou de fumiers, d'exsudats racinaires, constituent l'apport organique exogène. Cette matière organique exogène qui est incorporée au sol intact ou broyée, constitue une source d'éléments nutritifs pour les organismes vivants du sol, animaux ou végétaux (Feller et Beare, 2004).

I.I.2.1. Types de matières organiques

I.I.2.1.1. Le fumier

C'est l'ensemble des déjections animales mélangés avec des pailles. Il existe plusieurs types :

- Le fumier des fermes est une source importante d'humus par l'apport des déchets végétaux qu'il contient.
- Le fumier pondu à l'automne avant la tête de rotation doit être enfoui aussitôt pour diminuer les pertes d'azote. Les épandages de printemps limitent les risques d'érosion (Bonin, 2006), allègent les terres lourdes et donnent du corps aux terres légères (Vigneron, 1967).

I.I.2.1.2. L'humus

L'humus est la matière organique transformée par voie biologique, chimique et incorporée à la fraction minérale du sol, avec laquelle elle contracte des liens physique, chimique, plus ou moins étroits.

Par extension le mot humus désigne en écologie l'ensemble de la matière organique du sol, y compris les résidus d'origine végétale peu transformés et incomplètement incorporés au sol. Il est avec l'eau le garant de la fertilité du sol. Il joue le rôle d'une éponge fixant 10 à 50 fois sa masse en eau c'est l'humus en sens strict. En effet, c'est lui qui assure la rétention de l'humidité nécessaire à la croissance des plantes (Vigneron, 1967).

I.I.2.1.3. Le lisier

C'est le mélange de déjections solide et liquide, avec ou sans litière. Elles ont un rôle réduit sur l'entretien humique du sol. Sa composition est très variable selon le type d'animaux, le lisier à un rôle surtout dans la fertilité chimique du sol.

I.I.2.1.4. La litière

Elle est généralement de nature végétale sous forme de débris (feuilles, rameaux, fruits, graines, et exsudats racinaires et foliaires) (Duchaufour, 1984). Elle est plus ou moins biodégradable selon les espèces végétales installées. On parle de litière améliorante riche en

azote et de litière acidifiante qui se décompose plus difficilement. Les premières, activent la vie microbienne ; les secondes, la dépriment (Bonin, 2006).

I.I.2.1.5. Les engrais vert

Les engrais verts représentent une culture temporaire de plantes à croissance rapide destinées à un enfouissement rapide pour améliorer l'aptitude culturale du sol (propriétés physique, chimique, et biologique). Les enfouissements d'engrais verts présentent une action marquée et forte, mais de courte durée ; contrairement aux pailles de céréales qui sont moins fermentescibles, ils présentent une action moins marquée, mais mieux répartie dans le temps. Signalons également que les pailles de céréales produisent une quantité d'humus plus importante. (Mokrani, 2010).

I.I.2.2. Le rôle de la matière organique

La présence de la matière organique dans le sol est à l'origine de l'apparition de propriétés physicochimiques et biologiques favorisant le développement des végétaux cultivés ou naturels. Le tableau ci-dessous présente les rôles de la matière organique (Tableau II).

Tableau II : Les différents rôles de la matière organique dans le sol (Anonyme1, 2013).

	Action	Bénéfice
Rôle physique	Structure, porosité	-pénétration de l'eau et de l'air -stockage de l'eau -limitation de l'hydromorphie -limitation du ruissellement -limitation de l'érosion -réchauffement
	Rétention en eau	-Meilleure alimentation hydrique
Rôle biologique	Stimulation de l'activité biologique (vers de terre, biomasse microbienne)	-dégradation, minéralisation, réorganisation, humification -aération
Rôle chimique	Dégradation, minéralisation	Fourniture d'éléments minéraux (N, P, K, Oligo-éléments...)
	Capacité d'Echange Cationique	Stockage et disponibilité des éléments minéraux
	Complexation d'éléments trace métalliques (cuivre, aluminium, Plomb...)	Limitation des toxicités (Cu)
	rétention des micropolluants organiques et des pesticides	qualité de l'eau

I.I.2.3. Dynamique de la matière organique

La matière organique subit trois types de transformations dans le sol :

I.I.2.3.1. La minéralisation

Processus physique, chimique et biologique menant à la transformation des constituants organiques en constituant minéraux solubles ou gazeux tel que (nitrate, sulfate....).

I.I.2.3.2. L'humification

Processus biochimique de néo-synthèse de substances organiques par augmentation de taille de certaines molécules, et cela tout en contractant des liens entre les composés dit amorphes et des éléments minéraux (argile) à fin de former le complexe argilo-humique qui joue un rôle important dans le maintien des propriétés physiques du sol.

I.I.2.3.3. L'assimilation

Elle se fait par les microorganismes, consommateurs ultimes à l'extrémité des chaînes de détritivores (Gobat et *al.*, 2003).

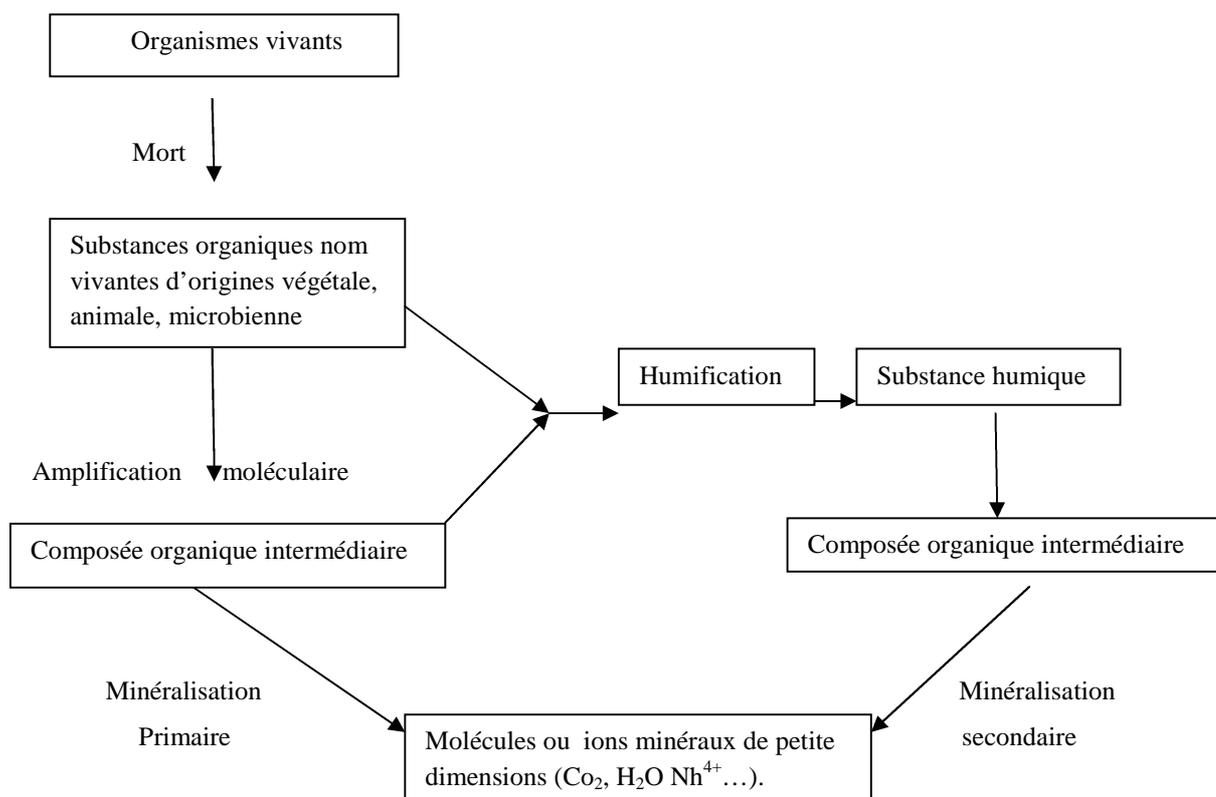


Figure 2: Evolution générale des substances organiques dans le sol (Morel, 1996)

I.I.2.4. Dégradation des composants chez les différents types de végétaux

Chez les végétaux supérieurs : il existe des structures spécialisées de soutien dont les parties les plus âgées, les plus dures, sont difficiles à dégrader (le bois ne pourrit pas rapidement).

Chez les mousses et les fougères : il existe des tissus différenciés avec des tissus de soutien qui rendent parfois leur décomposition difficile chez les plantes âgées (fougères et mousses sèches).

Chez les végétaux inférieurs : il n'y a pas de tissus différenciés (algues, champignons) et la dégradation des cellules après leur mort est relativement facile (sous l'action des bactéries).

Chez les bactéries : il existe une seconde paroi appelée paroi bactérienne dont la biodégradation est rapide.

I.I.2.5. facteurs influençant la dynamique de la matière organique

Dans les sols les matières organiques n'ont pas le même temps de résidence.

Selon leur composition biochimique, il peut aller de quelques mois à plusieurs années pour la fraction labile et jusqu'à des dizaines, voire des milliers d'années pour la fraction stable. La nature biochimique des matières organiques n'est pas le seul facteur définissant le renouvellement de ces dernières, des paramètres complémentaires tels que le climat, la nature du sol et sa gestion influencent également la dynamique des matières organiques dans les sols (Anonyme, 2008).

I.I.2.5.1. Les conditions climatiques

La température et la pluviométrie plus particulièrement, jouent un rôle prépondérant sur le renouvellement des matières organiques des sols. Une augmentation de température de 10°C diminue les temps de résidence d'un facteur de deux à trois fois. L'humidité du sol favorise également la biodégradation des matières organiques.

En conditions d'anaérobiose (sols saturés en eau), les matières organiques s'accumulent du fait du blocage de la biodégradation en l'absence d'oxygène.

I.I.2.5.2. Les propriétés physico-chimiques

Certaines propriétés physico-chimiques des sols, tels que la texture, la minéralogie des argiles, la dynamique de la matière organique et la porosité importante dans les sols sableux favorisent l'aération et le drainage du sol et conduit :

- A une biodégradation plus importante des matières organiques que dans les sols à texture plus fine. A l'inverse, la présentation d'argile dans les sols conduit à un ralentissement de la biodégradation par un processus de protection physique des matières organiques. En effet, les débris végétaux décomposés vont s'associer avec les argiles pour former des agrégats stables.
- Les matières organiques ainsi piégées sont alors peu accessibles à la dégradation par les microorganismes.
- Par ailleurs, les sols à pH acide, en particulier alumineux, sont caractérisés par un ralentissement de la biodégradation des matières organiques, du fait de la faible activité biologique. Ceci conduit à une accumulation de matières organiques faiblement décomposées en surface (litière).

II. Le compostage

I.II.1. Définition

Le compostage est la transformation d'une matière organique très instable et fortement biodégradable en une matière organique stable (Leclerc, 2001). Le compostage est un processus contrôlé de dégradation de constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobies, entraînant une montée de température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost. Selon Charnay (2005), le compostage est un mode de traitement biologique aérobie des déchets. Son principe peut-être schématisé comme le montre la figure suivante :

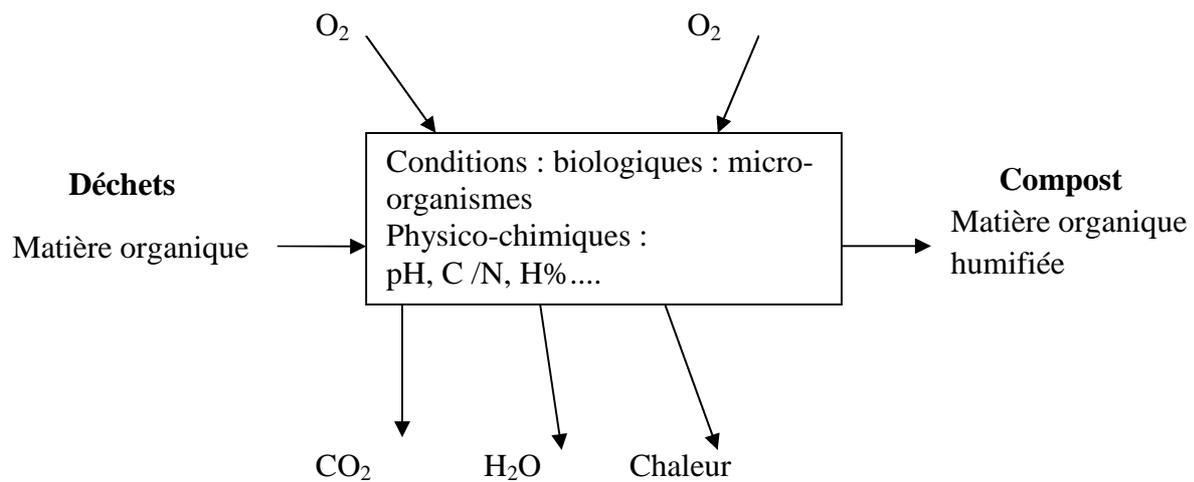


Figure 3: Représentation schématique du principe de compostage (Charnay, 2005).

Le compost est donc un produit organique en état de décomposition plus ou moins avancée destiné à un retour au sol (Francou, 2003).

I.II.2. Les organismes décomposeurs (Tableau III)

Ils se divisent en deux groupes : les micro-organismes et les macro-organismes : ils interagissent ensemble ou successivement selon leur fonction respective.

I.II.2.1. Les micro-organismes (Anonyme2, 2013)

➤ **Les bactéries**

De tailles et de formes variables (souvent filamenteuses). Elles sont toujours présentes dans la masse des déchets organiques dès le début du processus. Elles restent actives durant tout le compostage et en particulier à haute température. Elles se multiplient très rapidement. Cette multiplication rapide associée à la diversité en espèces permet l'utilisation de résidus organiques "tout venant".

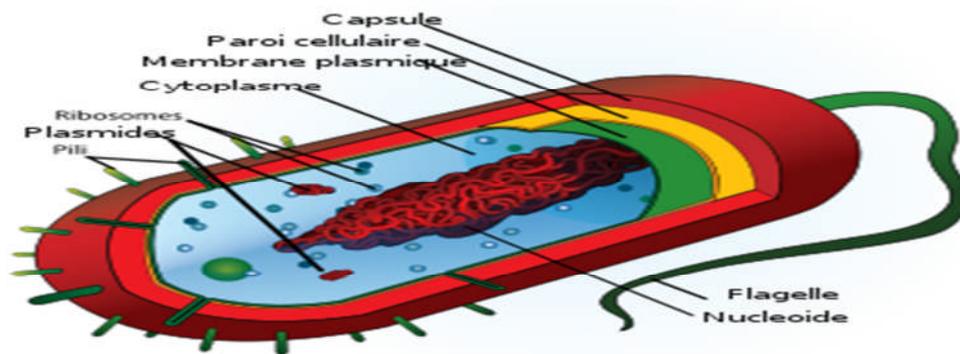


Figure 4: Représentation schématique d'une bactérie

(www.wikipedia.org.fr)

➤ Les champignons

Ils agissent surtout sur les matières qui résistent aux bactéries. Ils ont donc un rôle capital. Les champignons ne résistent pas à des températures supérieures à 50°C; ce qui explique leur localisation particulièrement en périphérie du compost. On peut voir apparaître à la surface du compost des champignons macroscopiques, mais ceux-ci ne sont que la manifestation externe du mycélium microscopique se trouvant à l'intérieur du compost.

Les champignons sont également les seuls à encore pouvoir travailler dans un compost plus sec, là où les autres ont abandonné la partie.



Figure 5 : Représentation du mycélium d'un champignon

(www.wikipedia.org.fr)

➤ Les actinomycètes

Ils agissent plus tardivement que le reste des micro-organismes et se multiplient moins rapidement. Les actinomycètes sont actifs dans les derniers stades du compostage. Ils se sont spécialisés afin de s'attaquer aux structures plus résistantes comme la cellulose, l'hémicellulose et la lignine (constituants du bois notamment).

Au côté de ces trois types de micro-organismes, on retrouve également dans le compost, des algues, des virus, des protozoaires,.... ex.

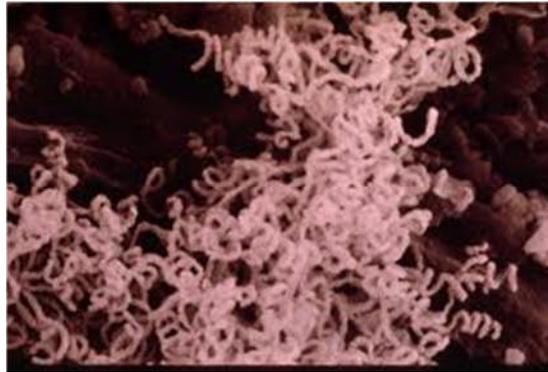


Figure 6 : Représentation du mycélium chez un actinomycète

(www.wikipedia.org.fr)

I.II.2.2. Les macro-organismes

Les macro-organismes sont très diversifiés dans le processus du compostage. Les lombrics du compost, par exemple, agissent au début du processus, sur des éléments peu décomposés (après la phase thermophile). Les grands lombrics quant à eux entraînent dans leurs terriers des fragments de feuilles ou même des feuilles entières. Ils intègrent ainsi un mélange de débris organiques et leurs excréments constituent un milieu idéal pour les activités microbiologiques du sol qui conduisent à l'élaboration du compost mûr. Beaucoup d'autres macro-organismes apparaissent, surtout dans la phase de maturation du compost.

Les principaux macro-organismes du compost sont les vers de compost ou de fumier (de plusieurs genres), les insectes, les acariens, les gastéropodes, les myriapodes, les cloportes, etc.

Tableau III: Exemple, de la quantité d'êtres vivants que l'on peut trouver dans un kilo de compost en activité (Anonyme2, 2013).

TYPES D'ORGANISMES	NOMBRE PAR KILO DE COMPOSTE
Bactéries	1.000.000.000 à 10.000.000.000
Actinomycète	1.000.000.à100.000.000
Champignons	10.000 à 1.000.000
Algues	10.000.000
Virus	Indéterminé
Protozoaires	Jusque 5.000.000.000
Vers de compost	Jusque 1.000
Collemboles	10.000
D'autres insecte et laves	2.00

I.II.3. Les activateurs du compostage (Figure 7)

Outre les produits vendus en jardinerie, il existe une multitude d'activateurs naturels : la pelure de banane, le marc de café (+ filtre) (2), le sachet de thé (3), la fausse camomille (*Matricaria chamomilla*)(4), la consoude (5), l'ortie (*Urtica dioica*), le pissenlit (espèces du genre *Taraxacum*), ... Revenant sur l'une des espèces les plus activatrice du compostage, la Consoude en l'occurrence qui est un plante herbacée vivace du genre *Symphytum*, appartenant à la famille des Boraginacées. La consoude est utile pour tous les jardiniers car elle est capable de récupérer gratuitement les précieux nutriments du sol telle une pompe fonctionnant à l'énergie solaire. Avec ses profondes racines, la consoude ramène du sous-sol de nombreux oligo-éléments et minéraux. C'est pour cette raison qu'on plante souvent des consoudes au près des arbres fruitiers. En Algérie, il existe une seule espèce du genre introduite (*Symphytum bulbosum*).(Anonyme3, 2012)

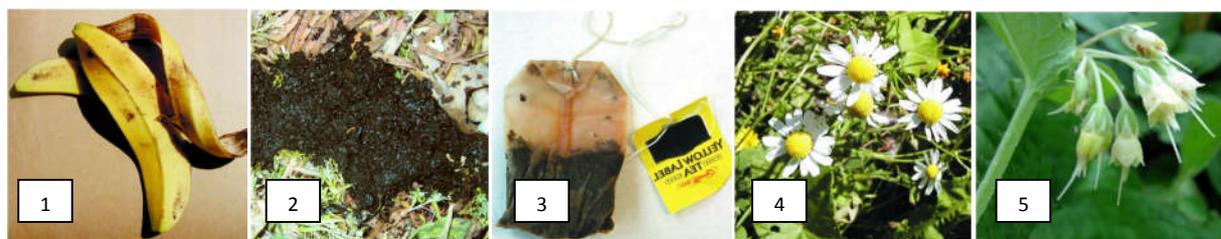


Figure7 : Quelques activateurs naturels du compostage.

I.II.4. Type de matière à composter (Tableau IV)

Il existe une grande diversité de compost, liée à la nature des déchets compostés, et des procédés de compostage. En théorie, tout déchet organique biodégradable est compostable (Francou, 2003). Ainsi peuvent être compostés des déchets ménagers, des déchets d'origine agricole comme les déjections des animaux auxquels sont ajoutés des résidus végétaux (Berger, 1996), le tout enrichi par des apports minéraux tels que le phosphate naturel, les cendres, la dolomie (Bazie, 1984). Les effluents d'élevage sont constitués le plus couramment de fumier de bovins, mais aussi de fumier d'ovins, de volailles et de Lisier de porcs (Leclerc, 2001).

Tableau IV : Les différentes matières à composter

Matière à composter	
Matière riche en carbone Les bruns, les matières sèches	Matière riche en azote Les verts, les matières humides
<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles, plantes et fleurs séchées • Brindilles, paille et foin • Marc, filtres de café et sachets de thé • Pâtes alimentaires, pain et riz • Papier (préférable de le recycler) • Serviettes de papier • Écailles de noix et noyaux • Tissu fait de fibres naturelles • Cheveux naturels et ongles • Sciure de bois • Terre 	<ul style="list-style-type: none"> • Restes de fruits • Restes de légumes • Fumier mature • Coquilles d'œufs • Algues (excellent fertilisant) • Tonte de gazon (en petite quantité)

Tableau V : Les différentes matières à ne pas composter

I.II.5. Le compost à base de déchets verts

Le compostage des déchets verts, bénéfique pour l'environnement, offre un débouché à une quantité importante de déchets organiques qui encombrant trop souvent les décharges ou les unités d'incinérations.

Dans les biotopes forestiers, feuilles et bois morts s'accumulent et se transforment lentement en un humus qui enrichit les sols et fournit aux plantes les éléments nécessaires à leur croissance. Le compostage des déchets verts recueillis lors de l'entretien des espaces verts des villes et des bourgs consiste à accélérer ce processus naturel en maîtrisant, sur une plate-forme bétonnée ou bitumée, les conditions biologiques indispensables à cette évolution de la matière organique végétale (Grandeau, 1890).

I.II.6. Les avantages du compost

L'utilisation du compost comporte plusieurs avantages parmi lesquels on peut citer :

I.II.6.1. Amélioration de la croissance des végétaux et racines

Il a été démontré que les végétaux se développant dans un milieu de croissance contenant du compost sont plus forts et ont un meilleur rendement (Ademe, 2008 ; Ademe, 2001).

I.II.6.2. Amélioration du rythme de diffusion des nutriments

Le compost rend au sol ses nutriments prolongeant ainsi leur présence dans le sol pour nourrir les végétaux pendant une plus longue période (Ademe, 2008 ; Ademe, 2001).

I.II.6.3. Amélioration de la porosité du sol

L'activité microbienne est essentielle à la porosité du sol. Les micro-organismes décomposent les matières organiques pour rendre les nutriments accessibles aux végétaux (Ademe, 2008 ; Ademe, 2001). L'amélioration de la porosité entraîne également une meilleure aération du sol et ainsi le développement de l'activité biologique.

I.II.6.4. Amélioration de la capacité de rétention d'eau

La matière organique contenue dans le compost peut absorber l'eau et améliorer ainsi la capacité de rétention d'eau du sol. (Ademe, 2008 ; Ademe, 2001; Zurbrugg et Ahmed, 1999).

I.II.6.5. Elimination des maladies chez les végétaux

Il a été démontré que certains composts améliorent la résistance des végétaux vis-à-vis de certaines maladies (Larbi, 2006). L'effet phytosanitaire décrit la faculté fongicide du compost.

D'une manière générale le compost contient des substances donnant plus de vigueur aux végétaux et augmentant ainsi leur résistance vis-à-vis de certains organismes pathogènes.

I.II.6.6. Effet sur la structure du sol

- amélioration de la structure du sol par augmentation des agrégats (pénétration des racines facilitée et exploitation du sol favorisée);
- le compost de couleur foncée, augmente l'absorption des rayons solaires (réchauffement). (Zurbrugg et Ahmed, 1999)
- meilleur perméabilité à l'air et à l'eau.
- réduction importante de l'effet du gel, de l'érosion (hydrique et éolienne) et diminution de la dessiccation par ventilation; (Guittonny-Larchevêque, 2004).

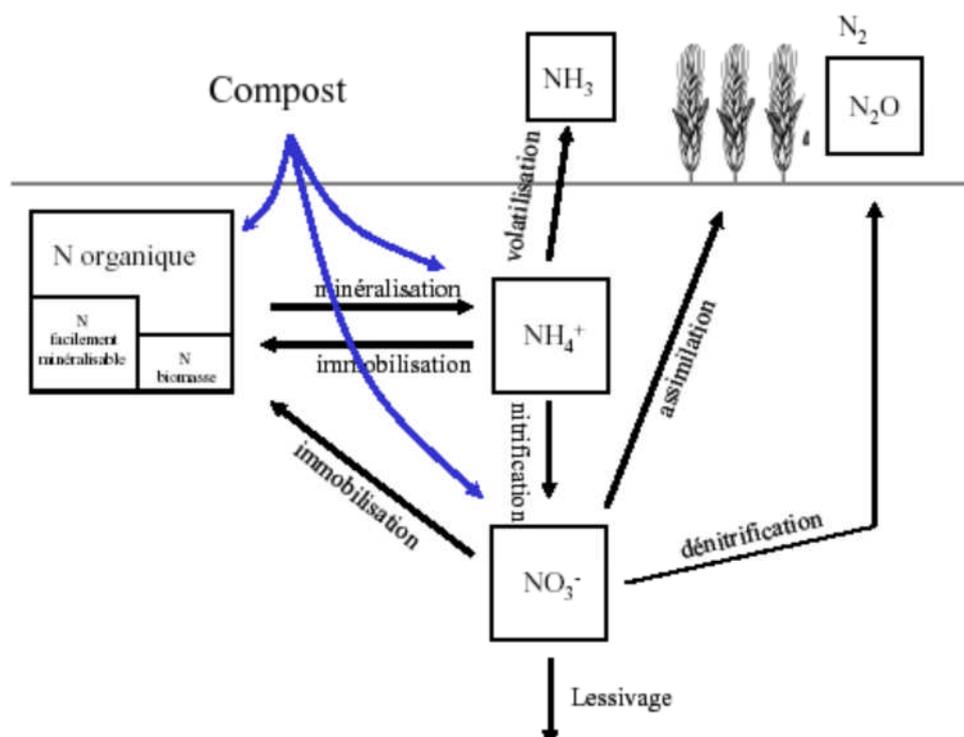


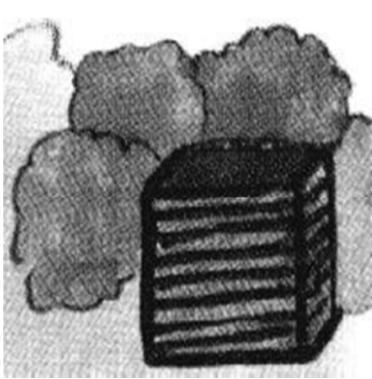
Figure 8 : Schéma du cycle de l'azote lié à un apport de compost (Francou, 2003).

I.II.6.7. Effet sur les caractéristiques physico-chimiques du sol

1. en se minéralisant, le compost fournit des substances nutritives progressivement assimilables par les plantes.
2. le compost bien mûr évite une acidification du sol ou corrige l'acidité d'un sol par effet tampon.

I.II.6.8. Effet sur la dynamique du sol et amélioration des échanges gazeux (Zurbrugg et Ahmed, 1999).

La présence de micro-organismes divers dans le compost augmente l'activité biologique du sol et permet un bon échange gazeux sol-air-eau-plante. L'apport de compost permettra au sol d'être plus poreux favorisant ainsi, les échanges gazeux et le développement de nouvelles racines.

I.II.7. Les techniques (Anonyme3, 2013)**Le fut****Le silo****Le tas**

(www.compostage.info)

I.II.7.1. Le fût (Figure 9)

Le fût composteur sera placé sur des pavés non jointifs pour permettre une circulation de l'air vers l'intérieur du fût.

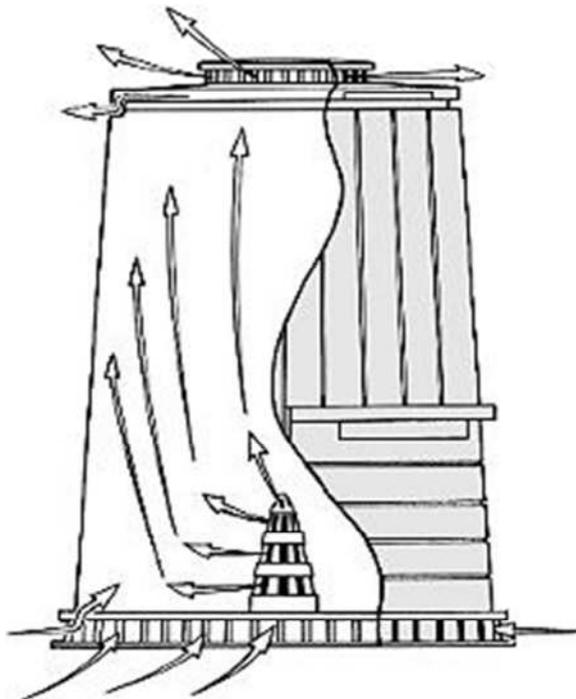


Figure 9 : Le fût. (www.compostage.info)

I.II.7.1.1. L'aération dans un fût

➤ La tige aératrice (Figure10)

L'aérateur est l'accessoire indispensable pour un bon compost en fût. Il permet de mélanger (donc d'aérer) la matière organique dans le container.

Il s'agit d'une tige métallique, d'un côté, une poignée qui permet de tenir l'instrument et de l'autre, une ou deux palette(s) triangulaire(s).

L'utilisation est facile : on le plonge dans le compost, on fait un quart de tour et on le retire. Ce mouvement, répété une dizaine de fois, va mélanger les matériaux et aérer le tout. L'opération se fera 2 à 4 fois par mois dès que le compost est rempli au quart environ ou après 3-4 semaines.

Une fois le fût plein, il faut alors le vider dans un plastique placé au sol à côté du fût (facultatif mais, c'est plus propre). La partie de dessus sera retirée (non compostée). Récupérer le compost mûr et le mettre à sécher. Le compost non encore complètement mûr est déversé dans le fût en rajoutant une couche de matières carbonées.

Le temps nécessaire pour obtenir du compost mûr avec le fût composteur s'étale sur une période allant de 6 à 9 mois (ou plus en région froide) après sa mise en service. Il faut le démouler après cette période.

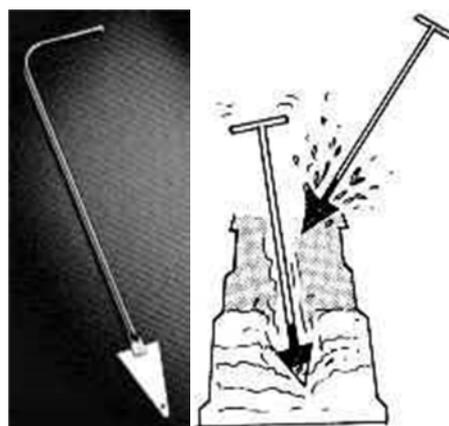


Figure 10 : La tige aératrice. (www.compostage.info)

I.II.7 .2. Le silo

Le compost est mis en contact avec le sol (terre ameublie). Pour éviter la présence de rats dans le compost, un fin treillis métallique peut être placé dans le fond. Deux modèles sont disponibles : le silo grillagé métallique (figure12) ou le silo constitué à partir de palettes en bois (Figure11). Le bac doit être placé de préférence à mi-ombre ou à l'ombre.



Figure 11 : Palette en bois



Figure 12 : Silo grillagé métallique

(www.compostage.info)

L'aération se fait par les côtés du silo (Figure 13) mais aussi par le fond. Le couvercle évitera l'évapotranspiration lors de la montée en température du tas et lorsque le temps est trop sec



Figure 13 : Aération au silo.

(www.compostage.info)

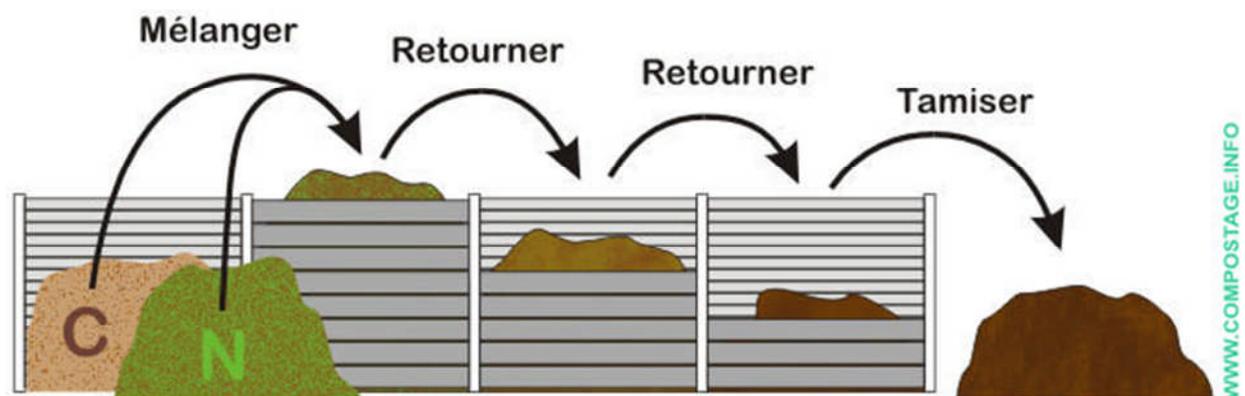


Figure 14 : Méthode de compostage en silo

I.II.7.3. Le tas (Figure 15, 16)

Cette méthode est celle demandant le moins d'aménagements. Le compost est mis directement en contact avec le sol. Le tas sera placé dans un endroit ombragé.

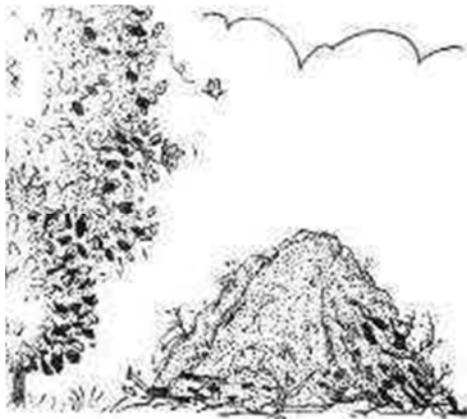


Figure15 : Tas en forme trapézoïdale



Figure 16 : Tas disposé en andain

(www.compostage.info)

Si la température monte bien (50-70°C voir plus), le processus complet dure environ de 6 à 9 mois. Il faut alors récupérer le compost mûr.

I.II.8. Vermicompostage

Le terme Vermicompostage (ou lombricompostage) se réfère à l'utilisation de vers. Pour composter les résidus organiques, Les vers peuvent consommer pratiquement tous les types de matière organique et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour. Les turriculés (excréments) des vers sont riches en nitrates, et en formes disponibles de P, K, Ca et Mg. Le passage à travers les vers de terre favorise la croissance des bactéries.

Notamment des actinomycètes dont la teneur dans les déjections de vers de terre est six fois supérieure à celle du sol d'origine (FAO, 2005).



Figure 17 : Vermicompost

(www.verslaterre.fr)

I.II .9. Les étapes du compostage (Grandeau, 1890)

Le processus de compostage nécessite une homogénéisation par mélange, une humidification par arrosage et enfin une oxygénation par retournement.

I.II.9.1. Réception et stockage des déchets verts

● **Contrôle/tri**

Un opérateur effectue un contrôle visuel des produits fournis par les collectivités ou les professionnels et s'assure de la qualité des dépôts de déchets verts (absence d'impuretés non compostables).

● **Suivi des livraisons**

Un bordereau est rempli pour chaque apport, précisant les volumes (ou les tonnages) et dans, la mesure du possible, l'origine et la nature des matières végétales reçues.

I.II.9.2. Broyage, mélange et mise en andains

● **Broyage/ mélange**

Organisé en règle générale sur l'aire de réception des déchets verts, le broyage permet de réduire le volume des matières végétales. A ce stade, le rapport carbone/azote (C/N) doit être compris entre 30 et 35 et l'humidité entre 60 à 65% du poids brut. En cas de besoin, un arrosage des végétaux au cours du broyage est réalisé.

● Mise en andain

Le produit est transporté sur l'aire de fermentation puis mis en andains. Les tas formés s'élèvent sur 1.5 à 3m de hauteur et s'étendent sur 4 à 8 m en largeur : leur longueur dépend des dimensions de l'unité de compostage.

I.II.9.3. Retournement et arrosage

Les résidus végétaux sont retournés une à deux fois par mois, soit 6 à 12 fois au cours du processus de compostage. Ils sont humidifiés, selon les besoins, durant les 2 ou 3 premiers mois, puis s'assèchent progressivement jusqu'au terme du processus.

Notons cependant que la nature des autres matières organiques susceptibles d'entrer en compostage en mélange aux déchets verts influence le mode de gestion de la plate-forme de compostage (mélange initial, fréquence de retournement...).

I.II.9.4. Criblage et stockage du compost

Le compost brut peut être stocké à l'extérieure dans l'attente du criblage ; le compost affiné est stocké sur une hauteur de 3 à 4m au plus, à l'abri (sous bâche ou dans un hangar), jusqu'à commercialisation.

I.II .10. Phases du compostage (Francou, 2003)

Le processus de compostage se déroule en quatre phases en fonction de l'évolution de la température :

- **La phase mésophile** : c'est la phase initiale du compostage. Durant les premiers jours la présence de matières organiques facilement biodégradables (les sucres, les glucides, les lipides) entraîne une forte activité microbienne générant une rapide montée en température à l'intérieur du compost.
- **La phase thermophile** : on observe une montée de la température allant de 60°C à 75°C.

Seules les bactéries peuvent survivre à ces températures. La grande partie de la matière organique est perdue sous forme de CO₂ et H₂O.

- **La phase de refroidissement** : elle est caractérisée par une diminution de la quantité de matières organiques facilement dégradables provoquant un ralentissement de l'activité microbienne. Ceci favorise un refroidissement du compost.
- **La phase de maturation** : les processus d'humification prédominent ainsi que la dégradation lente des composés résistants. Cette phase de maturation dure jusqu'à l'utilisation du compost.

Remarque

Les deux premières phases qui sont des phases de dégradation des matières organiques sont regroupées sous le nom de fermentation (Figure 18), la dégradation de la matière organique y est intensive. Le compost évolue en condition aérobie. L'évolution de la température au sein du compost dépend de la production interne de chaleur et des échanges avec l'extérieur.

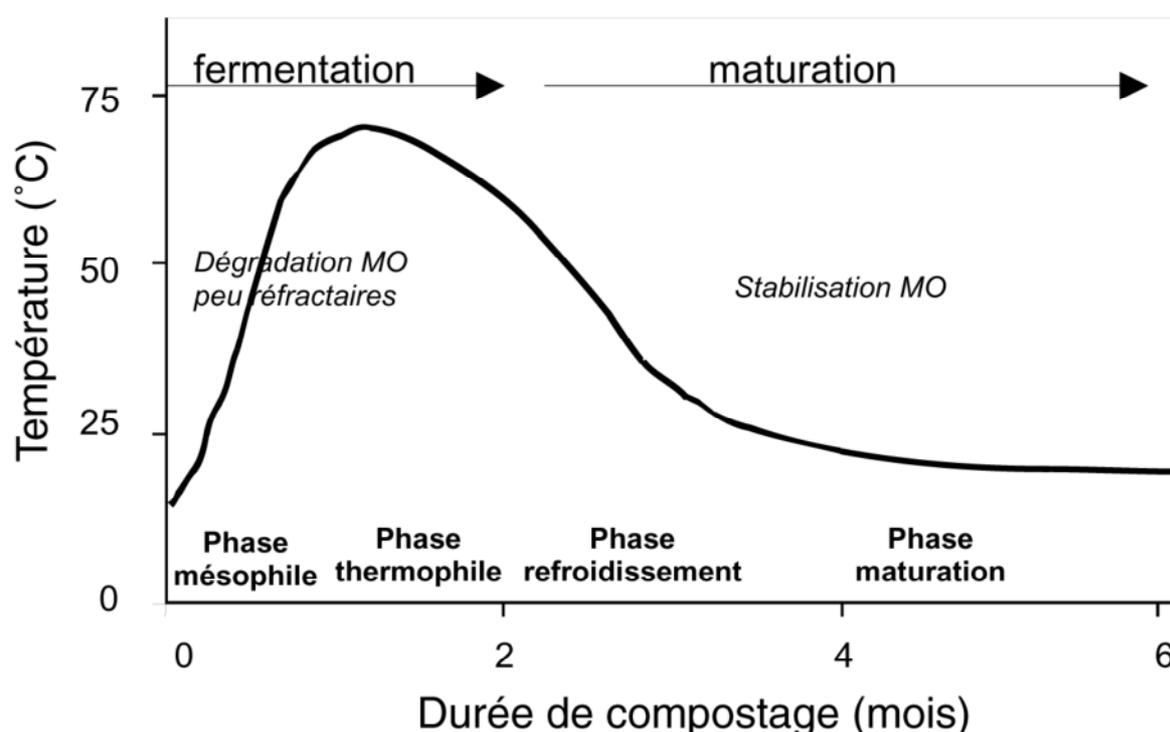


Figure 18 : Courbe de l'évolution de la température au cours du compostage (Leclerc, 2001).

I.II.11. Paramètres physico-chimiques (Annexe1)

Un procédé de compostage optimal correspond à une « fermentation » aérobie réalisée dans les conditions les plus propices au développement de la flore bactérienne. Pour vérifier ces conditions, les principaux paramètres à suivre pendant le procédé sont les suivants :

I.II.11.1. pH

Défini comme le Potentiel Hydrogène, c'est une indication chiffrée liée à la concentration en H_3O^+ (noté H^+ pour simplifier) d'une solution aqueuse. En solution diluée,

$[H^+] = 10^{-pH}$, c'est à dire $pH = -\log [H^+]$, avec $[H^+]$ exprimé en mol.l^{-1} . Le pH baisse donc d'une unité lorsque la concentration est multipliée par 10 (un apport d'acide diminue le pH).

Le pH des suspensions de solides (déchets en phase de dégradation aérobie, compost mûr) varie entre 5 et 8 et peut atteindre 9 (Yu et *al.*, 2009). Une phase acidogène se produit au début du processus de dégradation : production d'acides organiques et de dioxyde de carbone (CO_2) par les bactéries acidogènes, décomposeurs du matériel carbone complexe, provoquant ainsi une diminution du pH initial.

La seconde phase correspond à une alcalinisation : hydrolyse bactérienne de l'azote avec production d'ammoniac (NH_3) associée à la dégradation de protéines et à la décomposition d'acides organiques (Haug, 1993 ; Mustin, 1987). Le pH optimal se situe donc vers la neutralité en fonction de la nature du substrat (Damien, 2004).

Le suivi du pH est un indicateur du degré de décomposition biologique et biochimique. La première phase acidogène est difficilement observable comme l'indiquent les études de Canet & Pomares (1995). Ou celles de Sanchez-Monedero *et al.* (2001).

Il existe différentes méthodes de mesure du pH justement parce que l'on ne sait pas mesurer le pH de la solution du sol. Il existe des méthodes normalisées. Quelle que soit la méthode de mesure du pH utilisée (pH eau, pH KCl, pH CaCl_2), il s'agit d'une mesure simple, peu onéreuse, robuste et avec de nombreuses références agronomiques.

I.II.11.2. Température

Le suivi de la température est une mesure indirecte de l'intensité des dégradations qui ont la particularité d'être exothermiques. Elle renseigne également sur la qualité du processus de dégradation (Bustamante et *al.*, 2008) : un épuisement en oxygène peut ainsi être décelé puis corrigé par des apports complémentaires (retournement). De plus, ce suivi caractérise au début du processus la qualité du mélange. Les variations des montées en température sont fonction de l'aération et de la composition du substrat, notamment de la teneur en eau nécessaire au développement des différents microorganismes impliqués. Le tableau VI indique le type de micro-organismes intervenant en fonction de la température atteinte lors du procédé.

Pour obtenir l'hygiénisation du compost, l'U.S.E.P.A (1994) recommande une température de 55°C au moins pendant 15 jours en compostage à l'air libre. Dans des réacteurs, la température doit dépasser 60°C pendant une semaine (Ademe, 1998).

Les conditions optimales pour une hygiénisation dépendent de la nature du procédé et de la durée de maintien de la température. Stentiford (1996) rapporte qu'une température supérieure à 55°C permet l'hygiénisation, entre 45 et 55°C , elle favorise la biodégradation et

entre 35 et 40°C, elle améliore la diversité des micro-organismes. La figure 19 montre l'évolution de la température en fonction du pH. Une température voisine de 20°C ou supérieure à 82°C inhibe, voire arrête cette activité microbienne (Liang et al., 2003). Mais même avec une montée en température suffisante, il existe un risque pour le compost de réinfection due à l'action de certains agents pathogènes en état de latence (Hamer, 2003).

Tableau VI : Type de micro-organismes intervenants en fonction de la température (Bustamante et al., 2008).

Type de micro organismes	Température et durée nécessaire à sa destruction
<i>Ascaris lumbricoides</i>	4h à 60°C ou 1h à 15-20 min à 60°C ou 1h à 55°C
<i>Escherichia coli</i>	15-20 min à 60°C ou 1h à 55°C
<i>Salomonella spp</i>	15-20 min à 60°C ou 1h à 55°C
<i>Shigella spp</i>	1h à 55°C
<i>Taenia saginata</i>	5 min à 71°C

Remarque

La température peut être mesurée in situ à l'aide d'un thermomètre électronique de type VT100 équipé d'une sonde de pénétration de type PT100 (Albrecht, 2007).

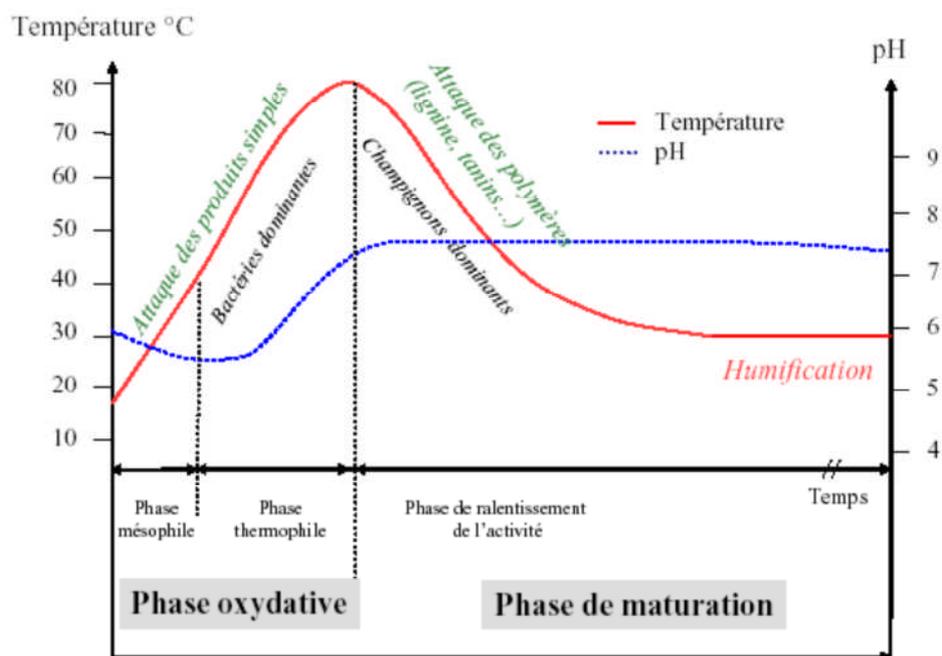


Figure 19 : Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage
D'après Mustin (1987).

I.II.11.3. Teneur en eau :

La teneur en eau ou humidité (H %) du substrat conditionne l'activité des microorganismes.

La teneur optimale dépend de la densité du milieu, qui est en fonction de l'état physique de la nature du substrat. Elle est sensible à deux phénomènes ayant des effets complémentaires.

D'une part, la dégradation de la matière organique provoquant une libération d'eau d'autre part, une évaporation de l'eau sous l'effet de l'énergie calorifique libérée par la fermentation.

La décomposition de la matière organique est inhibée si la teneur en eau baisse en dessous de 20 %. Au contraire, si elle dépasse 70 %, l'eau commence à remplir les espaces lacunaires des déchets et empêche les échanges d'oxygène, provoquant des conditions favorables à l'anaérobiose. Selon Mustin (1987), l'optimum de teneur en eau se situe entre 40% et 60 %. En fin de procédé, un produit sec ou presque facilite la finition mécanique du compost en évitant un colmatage des équipements.

Le pH, la température et l'humidité sont des paramètres interdépendants et difficilement dissociables. Les auteurs s'accordent pour donner des valeurs optimales de ces

paramètres. Liang *et al.* (2003) étudient plus spécifiquement les effets de deux paramètres, l'humidité et la température de dégradation des biodéchets. L'humidité semble être le paramètre ayant la plus grande influence. Cela suggère un contrôle du procédé par l'humidité et non comme habituellement par la température. D'autres études insistent sur les valeurs du pH et de la température au cours du procédé ou sur le compost lui-même (Smars *et al.* 2002 in Charnay, 2005).

Ces paramètres sont optimaux lorsqu'ils permettent une hygiénisation du produit, une vitesse de dégradation rapide et une humidification suffisamment active. Ils sont fonction de la nature du substrat et des conditions particulières de mise en œuvre du procédé.

I.II.11.4. Apport d'oxygène

L'oxygène est utilisé par les microorganismes comme un récepteur terminal d'électrons lors de la respiration aérobie et de l'oxydation des substances organiques (Waas *et al.* 1996).

La présence d'oxygène est indispensable au bon déroulement du compostage pour maintenir les conditions aérobies nécessaires à une décomposition rapide et inodore. La teneur en oxygène disposé représente le pourcentage d'oxygène dans l'air des vides entre les particules de compost. Ce taux est fonction de la granulométrie et de l'humidité des particules comme du renouvellement de l'air des lacunes. Au fur et à mesure de la dégradation du substrat, le besoin en oxygène diminue (Haug, 1993; Mustin, 1987).

Le taux minimal d'oxygène dans les espaces lacunaires d'un andain en fermentation doit être de 5 % (Puyuelo *et al.*, 2010). Si la teneur en oxygène est trop faible ou la masse à composter trop compacte, les conditions favorables à l'anaérobiose se mettent en place. Ce type de fermentation aboutit à un produit stabilisé mais par le biais d'un processus plus lent avec dégagement d'odeurs nauséabondes.

Les systèmes d'aération sont divers et variés : retournements mécaniques, aération forcée ou pilotée, avec ou sans recirculation (Bari, 2001 in Charnay, 2005). L'apport d'oxygène réduit aussi l'humidité initiale (si elle est trop forte), améliore l'homogénéité du substrat et diminue une possible élévation de température.

I.II.11.5. Granulométrie

La granulométrie est un facteur qui détermine la vitesse de biodégradabilité. Plus la surface spécifique du substrat sera élevée, plus la zone de contact entre le substrat et les micro-organismes sera étendue et meilleure sera la fermentation.

Une granulométrie trop fine induit un espace poral trop réduit et diminue l'accès puis la circulation de l'air : « étouffement » du compost. Contrairement si la granulométrie est trop

élevée, les apports en oxygène vont dépasser les teneurs optimales, asséchant le compost, et la montée en température se réalisera difficilement.

La granulométrie du substrat évolue au cours du processus de dégradation par fragmentation des agrégats vers des éléments fins. Elle peut être modifiée par l'emploi de cribleur de préférence au broyeur pour les déchets urbains très hétérogènes pour lesquels le broyage peut conduire à la dissémination des impuretés dans le compost. (Edem Koledzi, 2011).

Le tableau VII ci dessous présente ces caractéristiques pour un système classique en andain avec retournement mécanique.

Tableau VII : Paramètres de contrôle et de suivi du procédé. (Edem Koledzi, 2011)

Paramètre	Phase initial	Compost mur
Rapport C/N	20 à40	10-15
Humidité (%)	20à40	10à15
Température(C°)	40à65	35à45
PH	5à8	7à8.5
MO (%MS)	40à70	20à 40
Granulométrie (cm)	~1 en aération forcée 3-10 sans aération forcée	Dépend du criblage

I.II.11.6. Teneur en azote

La majorité de l'azote contenu dans le compost est d'origine organique, et sous forme de protéines ou de peptides simples. La qualité du compost est également évaluée par le suivi de l'azote. En effet, les microorganismes nitrifient le substrat, se traduisant par une diminution de la concentration en NH_4^+ et une apparition d'ions nitrate NO_3^- . Certains auteurs fixent la limite de stabilité d'un compost de la matière organique pour une teneur en NH_4^+ de 0,04%, soit 400 mg/kg (Bernal, 1998 ; Bustamante et *al.*, 2008). Sanchez-Monedero (2001) a montré que la perte d'azote dans un compost d'ordures ménagères est proche de 40% et qu'un rapport $[\text{N} - \text{NH}_4^+] / [\text{N} - \text{NO}_3^-]$ inférieur ou égal à 0,11% correspond à un indicateur de maturité pour ce type de compost. L'azote organique des composts stabilisés, se minéralise lentement, avec une vitesse similaire à celle des sols (0,26 mg N/kg/j) sans évolution avec l'âge du compost. Pour les composts moins stables, la vitesse de minéralisation est supérieure (0,4 mg N/kg/j) (Houot, 2002).

I.II.11.7. Teneurs en matière organique et en carbone organique

La matière organique est la matière spécifique des êtres vivants végétaux et animaux. En raison de sa richesse en carbone, la matière organique est appelée matière carbonée. Elle constitue l'humus. Elle est composée d'éléments principaux (C, H, O, N) et d'éléments secondaires, (S, P, K, Ca, Mg) (Mustin, 1987). On fait référence sous le terme de matière organique à la matière capable de se décomposer (ou de l'être) ou à la matière résultant de la décomposition.

Il est vrai que la matière organique est bien souvent le reste d'un organisme vivant, et peut même contenir des organismes vivants. Les polymères et les plastiques, si on les qualifie de « composés organiques », ne sont généralement pas considérés comme des matériaux organiques car ils se décomposent très difficilement.

I.II.12. L'évaluation d'un compost mur

Trois caractéristiques nous permettent d'évaluer la maturité d'un compost :

- ✓ **La couleur** : Un compost mûr à une couleur brune ou noire selon les matières organiques utilisées pour sa fabrication. Un compost brun clair ou verdâtre devra être laissé encore quelques temps tranquille avant de l'utiliser.
- ✓ **L'odeur** : Un compost mûr doit sentir l'humus forestier. Si l'odeur reconnus est de chou, de pomme de terre ou d'oignon, attendez encore avant de le récolter.
- ✓ **L'apparence** : S'il reste des bouts feuilles dans le compost, c'est que tous n'a pas été dégradé.

Chapitre II

Matériel et Méthodes

II.1. Présentation du site d'étude

Notre étude s'est déroulée au niveau de la station de compostage biocompost d'EL-KSEUR. Nous désignons par le terme « station de compostage », toutes les opérations d'entretien, de collecte et de transport ainsi que l'aire de compostage. Par le terme aire de compostage, nous désignons le lieu de stockage, broyage et de mise en compost.

II.1.1. Présentation de la région d'EL-KSEUR

II.1.1.1. Aperçu historique et géographique

Créée lors des reformes administratives de juillet 1974, la commune d'EL-KSEUR est l'une des 52 communes que compte la wilaya de BEJAIA. Elle est située au centre d'un triangle formé par BEJAIA, AMIZOUR et SIDI AICH, dans la vallée de la SOUMMAM au pied des montagnes d'IBARISSEN. C'est une commune qui s'étend entre ADRAR AGHBALOU - qui est le dernier contrefort du DJURDJURA - et l'oued SOUMMAM.

La commune d'EL-KSEUR est entourée par la commune de TOUDJA au nord, la commune de FENAIA-ILMATHEN au sud-ouest, la commune d'AMIZOUR au sud, la commune de OUED GHIR à l'est, et par la commune de TAOURIRT-IGHIL à l'ouest. Elle est distante de BEJAIA (chef lieu de la wilaya) de 25Km, de 108Km de TIZI OUZOU et de 224Km de la capitale ALGER (Figure 20).

La commune d'EL-KSEUR est d'une superficie totale de 94.06Km² et d'un périmètre de 64.42Km. Les coordonnées géographiques et altitude du chef lieu sont les suivantes:

- Latitude : 36°39' N.
- Longitude : 4°51' E
- Altitude : 50-100m.

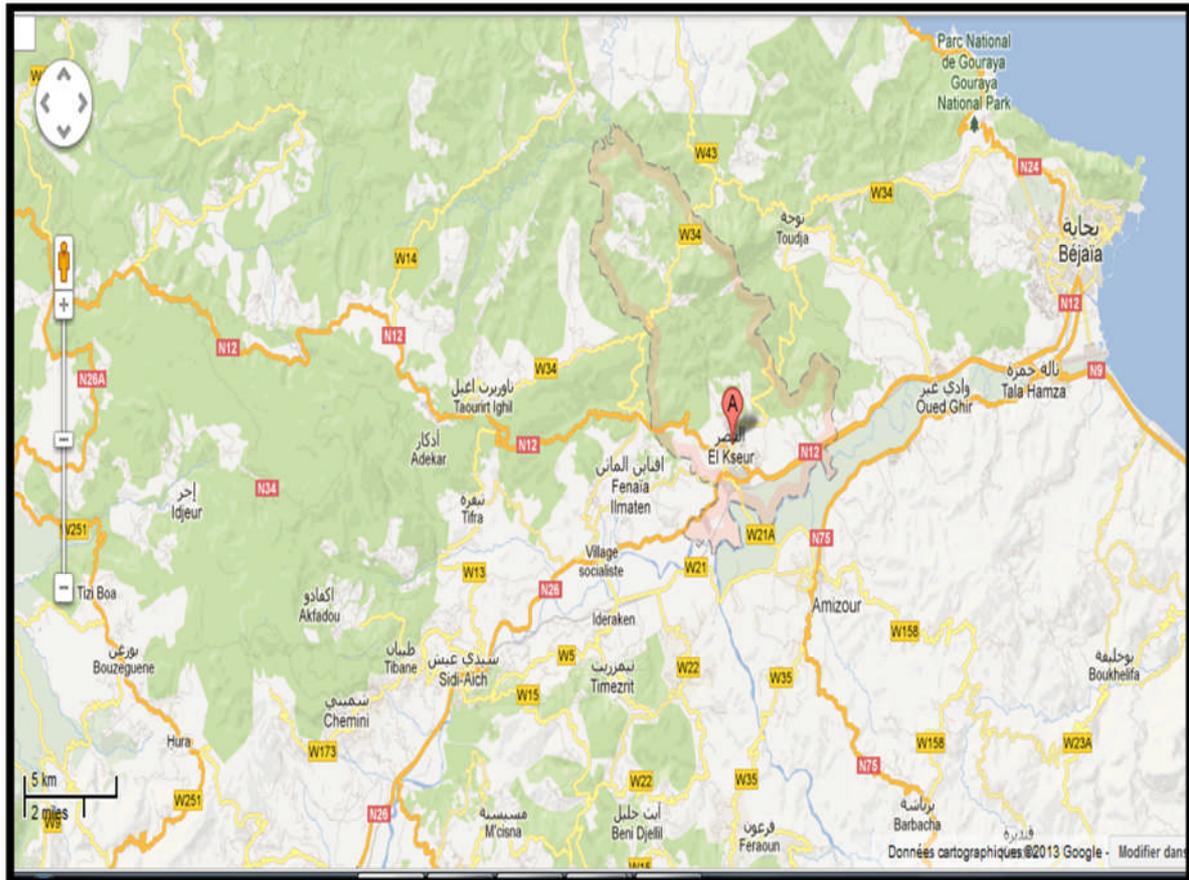


Figure 20 : Carte de la situation géographique d'EL-KSEUR

Données géographique, 2013. Google

II.1.1.2. Démographie

En 2008, la commune d'EL-KSEUR comptait 29 842 habitants. L'évolution du nombre d'habitants est connue à travers les recensements de la population effectués au niveau de la commune depuis 1980.

II.1.1.3. Situation climatique

Du fait de l'inexistence d'une station climatique à El Kseur, sa caractérisation climatique peut être approchée à partir des données compilées au niveau de la station de Bejaia aéroport. En effet, la proximité, l'absence de barrière géographique et l'équivalence altitudinale permettent d'utiliser directement les données de la station de Bejaia sans même procéder à des corrections. Nous avons de ce fait analysé la série de données de Bejaia allant de 1973 à 2012. Les températures et les précipitations données par les figures 21 et 22 font ressortir les traits suivants :

- Le mois le plus chaud est le mois d'Aout avec une température moyenne mensuelle de 25.4 °C
- Le mois le plus froid est Le mois de Janvier avec une température moyenne mensuelle de 7.2°C.
- Les précipitations se concentrent sur la saison hivernale.
- La saison estivale est quasi sèche avec mois de Juillet nettement déficitaire.

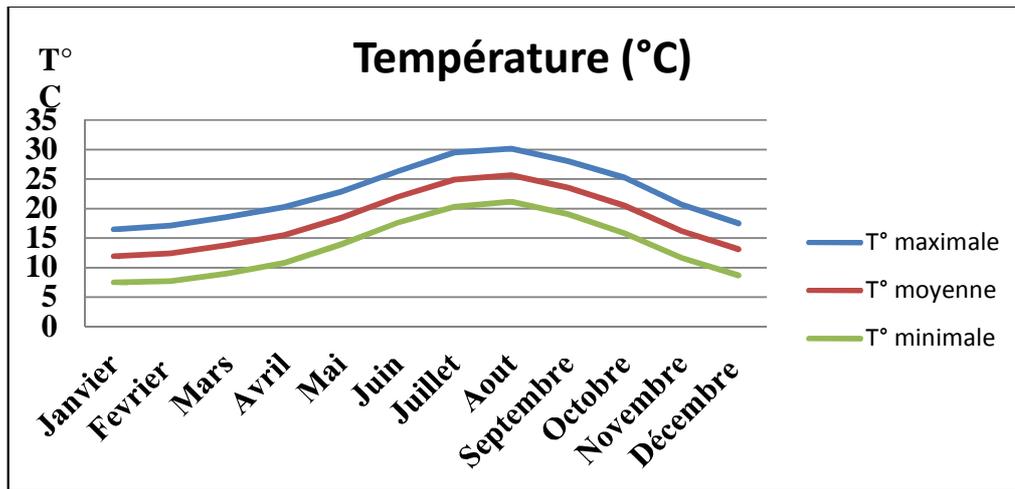


Figure 21 : Courbe des Valeurs moyennes mensuelles des températures de la région d'EL-KSEUR.

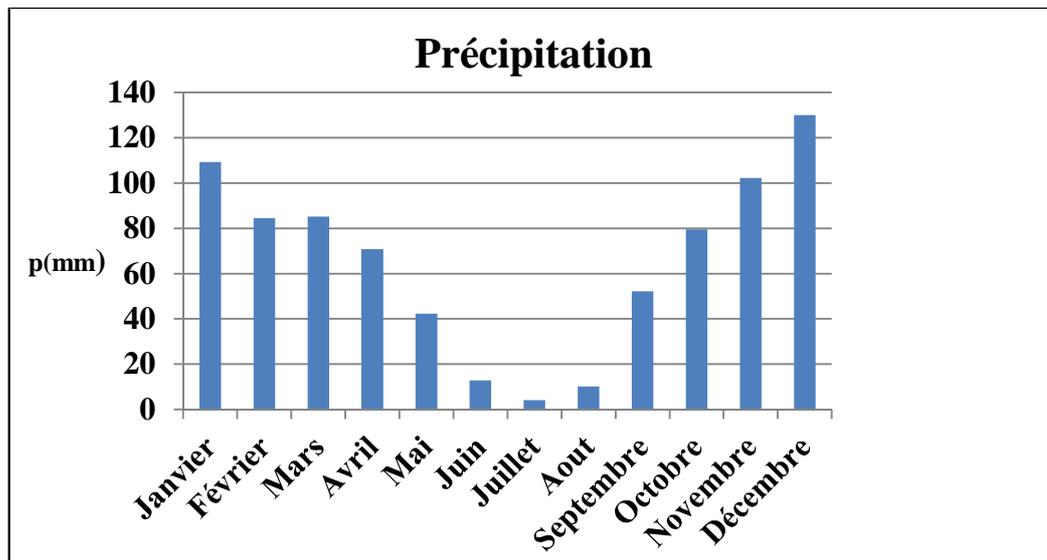


Figure 22 : Histogramme des valeurs moyennes mensuelles des précipitations (mm) pour la région d'EL-KSEUR.

II.1.2. Présentation de la station de compostage biocompost d'EL-KSEUR

La station de biocompost est une petite station de compostage sise sur la RN n°12 au niveau du sens unique d'El-Kseur, d'une capacité de traitement de 10 tonne par jour. Elle est Créée en 2012.



Figure 23 : Situation de la station biocompost.

Biocompost.Sitew.eu

II.1.2.1. Collecte des déchets verts

II.1.2.1.1. Travaux d'entretiens générant des déchets verts

Les principales opérations d'entretiens qui génèrent des déchets verts destinés au compostage sont les suivantes :

a-Tonte du gazon

La tonte du gazon s'effectue généralement pendant la période de croissance du gazon c'est-à-dire d'avril à octobre, de mars à novembre ou durant toute l'année (Figure 24).



Figure 24 : Tonte du gazon.
(www.dechets.ca-change-tout.f)

b-Ramassage des feuilles

Le ramassage des feuilles mortes se fait pendant toute l'année. Le matériel utilisé est essentiellement l'aspirateur.



Figure 25 : Ramassage des feuilles.
(www.fibjardin.e-monsite.com)

c-Elagage .

Il nécessite :

- Des outils de coupe (tronçonneuse, scies) ;
- Matériels d'élévation (échelles, nacelles).



Figure 26: Elagage avec la nacelle.

(www.elagage-paysage-terrassement-provost.com)

d-Taille des haies et des arbustes

La taille des haies et des arbustes à lieu toute l'année. La cisaille (Figure 27) représente généralement le matériel utilisé.



Figure 27: Taille des arbustes et des haies.

(www.jb-paysage.com)

II.1.2.1.2. Moyens de transport des déchets verts vers la station

Il existe une variété de véhicules utilisés au niveau de la station pour la collecte, tels que :

- Tracteur agricole avec remorque de benne :

Il est utilisé pour le transport des débris végétaux issus de la tailles des haies, des arbustes, les grands feuillages et déchets d'élagage,...etc. (Figure 28).

- Le camion de collecte avec benne :

Ce véhicule est utilisé pour transporter les déchets de grandes tailles et déchets d'élagage. (Figure 29)



Figure 28 : Tracteur avec remorque de benne



Figure 29 : Camion de collecte avec benne

II.1.2.2. Aire de compostage

La plate-forme de compostage mise en exploitation s'étend sur environ 250m² (Figure 30). Sa capacité de traitement est estimée à environ 10 tonnes par jour.

L'aire de compostage est le lieu de dépôt et de transformation. Il est très important de l'aménager convenablement et de lui réserver un emplacement adéquat.



Figure 30 : Aire de compostage de la station biocompost

II.1.2.2.1. Description de l'aire de compostage de la station

La plate forme de compostage est structurée en :

- ❖ Une aire de broyage ;
- ❖ Une aire de stockage des déchets ;
- ❖ Une aire de fermentation ;
- ❖ Un bassin de collecte des eaux d'arrosage des lots de compost ;

II.1.2.2.2. Organisation des taches

- ▶ Maintenance du matériel : assurée par un mécanicien qui travaille en permanence dans la station.
- ▶ Tri des déchets verts : en fonction de la quantité et le type des déchets, il y a entre 2 à 3 ouvriers qui assurent le tri des déchets et leur stockage.
- ▶ Broyage : 2 à 3 ouvriers assurent la charge des déchets dans le broyeur.
- ▶ Construction des lots de compostage : la présence de deux travailleurs est obligatoire pour la construction des lots de compostage.
- ▶ Retournement : il nécessite l'intervention du chauffeur du tracteur et des ouvriers de l'aire de compostage.

II.1.2.2.3. Equipements de protection

Les ouvriers qui interviennent dans l'aire de compostage utilisent les équipements de protection suivants :

- 1) L'uniforme de travail.
- 2) Le casque : pour la protection de la tête lors du broyage
- 3) Les gants : gants de protection contre les risques mécaniques ou risque de blessure.
- 4) Les bottes de sécurité : pour la protection des pieds.
- 5) Lunettes étanches aux poussières : pour la protection des yeux.
- 6) Les stops bruits : pour la protection des oreilles.

II.1.2.2.4. Matériel

✓ Broyeur

Le modèle de broyeur utilisé dans l'aire de compostage est de type green technik CIP1500 (Figure 31), particulièrement indiqué pour le déchiquetage de n'importe quel matériel sec et dur. Cette machine déchiquète aussi facilement du matériel vert, tendre et humide.

Le broyeur permet de réduire le volume des matières de base, et d'augmenter la surface d'attaque pour les micro-organismes. Le broyage est assez grossier, ce qui permet d'obtenir une structure plus aérée, pour une bonne dégradation de la matière (Heynitz, 1985).



Figure 31 : le broyeur CIP 1500

✓ **La pompe à moteur d'arrosage**

La pompe d'arrosage est utilisée pour pomper l'eau du bassin afin d'arroser les lots de compostage (Figure 32)



Figure 32 : La pompe à moteur d'arrosage

✓ **Le retourneur d'andain**

Le modèle utilisé est de type Green Technik (Figure 33), avec une hauteur de 1,40m et 2,15m de largeur.



Figure 33 : Le retourneur des andains

Le retourneur est un matériel spécifique qui enjambe l'andain. Le retournement du compost permet une aération et relance les fermentations aérobies par les bactéries thermophiles. Il permet le mélange et décompacte les matériaux (Anita, 2003).

✓ **Le cribleur**

Le compost brut doit passer à travers un crible rotatif à trommel à diverse maille (Figure 34). Le criblage a pour but de calibrer et d'affiner les composts en écartant les morceaux grossiers.



Figure 34: Le cribleur

II.2. Méthodologie

Cette étude s'est focalisée sur le compostage des déchets verts. Le compostage permet de valoriser ces bio-déchets pour former un produit stable : le compost. Le procédé de compostage étudié est un compostage en andains ou en tas élaboré par la station de compostage biocompost sur sa plate forme. A travers cette étude nous avons tenté d'évaluer la production des déchets verts et leur valorisation par le compostage

Nous avons opté pour le mode de compostage par andains afin de vérifier le rendement de ce mode, et rendre compte de la gestion de l'espace de l'aire de fermentation.

Nous avons suivi les étapes suivantes :

- Préparation de la matière à composter ;
- Observation sur site ;
- Evaluation de la matière du compost :
 - Analyse au laboratoire (analyse des différents paramètres du compost);
 - Test de germination.

II.2.1. Préparation de la matière à composter

Nous avons procédé à :

- La réception des déchets verts ;
- Le tri des déchets verts ;
- L'identification des espèces ;
- Le broyage de ces déchets verts ;
- La mise en place des andains ;
- L'arrosage ;
- Le retournement ;
- Le criblage,
- Le stockage du compost.

II.2.1.1. Réception des déchets verts

Les produits végétaux ramassés et collectés sont déversés sur l'aire de compostage représentée sur la figure 35.



Figure 35 : Arrivée des déchets verts quelques soit leur tailles

II.2.1.2. Tri des déchets verts

Les produits réceptionnés font l'objet d'un tri manuel et sont classés comme suite :

1. Déchets verts ne nécessitant pas de broyage. Ces déchets sont constitués de paille et des résidus de la tonte du gazon (Figure 36 A)
2. Grosses branches difficiles à broyer (Figure 36 B)
3. Déchets verts nécessitant un broyage (Figure 36 C)

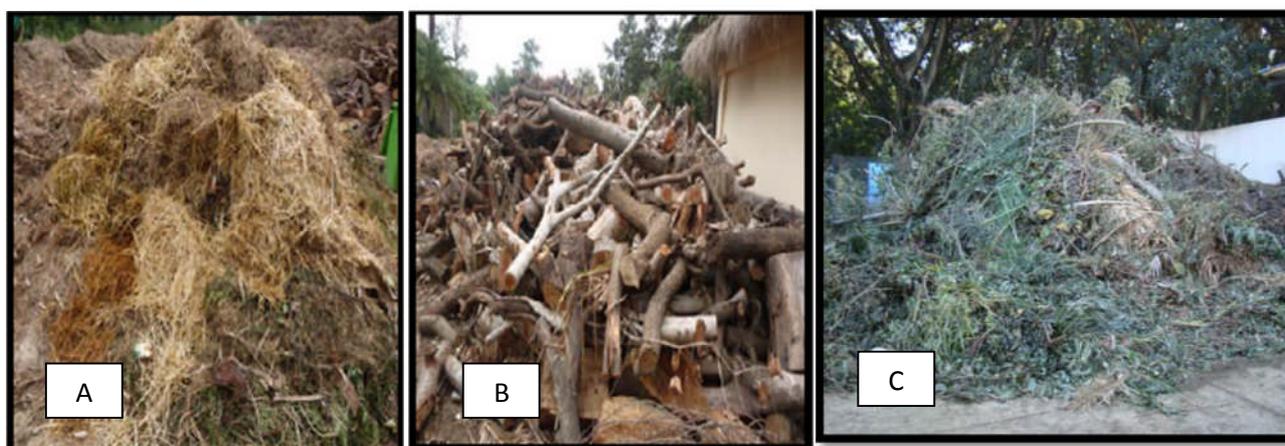


Figure 36 : A : Déchets verts ne nécessitant pas de broyage, B : grosses branches difficiles à broyer, C : Déchets verts nécessitant un broyage.

Après le tri des déchets verts, nous avons ensuite identifié les espèces constituant ces déchets afin de séparer les espèces compostables de celles non compostables, et de les classer en fonction de leur richesse en matière carbonée (MC) ou matière azoté (MN).

II.2.1.3. Broyage des déchets verts (Figure 37)

Les déchets sont broyés pour réduire leur volume et accélérer leur fermentation en augmentant la surface d'attaque par les micro-organismes. Nous avons choisis un broyage assez grossier, ce qui nous permet d'obtenir une structure plus aérée, pour faciliter la dégradation de la matière. Nous avons choisis une granulométrie inférieure ou égale à 12 mm, en réglant le calibre de broyage du broyeur. La granulométrie représente la proportion relative de répartition des particules dans le broyat de déchets Verts.



Figure 37 : Le broyage.

Après le broyage, nous avons effectué un deuxième tri en raison de la présence de certaines parties qui étaient mal broyées. Ces grosses particules sont remises dans le broyeur pour un deuxième broyage.

Pour un bon démarrage du compostage nous avons mélangé les matières vertes carbonées et azotées pour atteindre un rapport (C/N) permettant l'activation du compostage.

II.2.1.4. Construction des lots de compost

La solution la plus simple pour constituer les andains ou les tas comprend en un simple déchargement des bennes d'une capacité de 1.2m³, les unes derrière les autres. Les débris végétaux broyés sont transportés vers la plate forme de compostage (Figure 38).



Figure 38 : Déchargement des bennes

- La mise en place des andains (Figure 39)

Les déchets verts broyés sont mis en andains. Les dimensions en hauteur et en largeur des andains ont été choisies en fonction des caractéristiques du retourneur.

En effet, la hauteur de l'andain ne doit pas dépasser la hauteur de l'espace de travail du retourneur qui est de 1,40m et sa largeur qui est de 2,40m. Les andains sont espacés de 2,4m afin de permettre le passage du retourneur.



Figure 39 : Les andains

- Caractéristiques des lots

Les dimensions des andains sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau VIII : Caractéristiques des lots

Hauteur (m)	1.30
Largeur (m)	2.20
Longueur (m)	15
Granulométrie (mm)	≤ 12

II.2.1.5. Arrosage des lots de compost

L'arrosage des lots de compost constitue l'un des facteurs les plus importants qui augmente la teneur en eau pour l'activité des micro-organismes. Nous avons arrosé les lots pour atteindre une humidité comprise entre 50 et 60%. L'arrosage s'effectue à partir du sommet du lot jusqu'à ruissellement de l'eau à la base, c'est-à-dire jusqu'à observation de lixiviation (Figure 40). L'eau d'arrosage des andains est récupérée dans le bassin (Figure 41) et réutilisée pour d'autres arrosages.



Figure 40 : Arrosage des lots de compost



Figure 41 : Récupération de l'eau dans le bassin.

II.2.1.6. Retournement des andains (Figure 42)

Le retournement des andains sert à apporter l'oxygène nécessaire à la respiration des micro-organismes, à homogénéiser le mélange des végétaux, et aussi à évacuer le gaz carbonique et la chaleur accumulés.



Figure 42: Le retournement

II.2.1.7. Le criblage (Figure 43)

Le compost mûr est criblé, afin de l'affiner en écartant les morceaux grossiers et d'obtenir la granulométrie désirée (<2mm) .



Figure 43 : Opération de criblage

II.2.1.8. Le stockage du compost

Le compost mur est placé dans des sacs en plastiques noirs et emballé dans d'autres sacs blancs étiquetés. Enfin les sacs sont stockés dans des hangars jusqu'à commercialisation (Figures 44 ,45).



Figure 44: Sac de compost



Figure 45 : Stockage du produit

L'étiquette comprend les informations suivantes (Figure 46) :

- Opérateur ;
- L'adresse ;
- N° du téléphone ;

- L'email ;
- Dénomination du produit ;
- Le volume ;
- La nature du compost.



Figure 46 : L'étiquette du produit

II.2.2. Observation sur site

Afin de suivre l'évolution du processus de compostage, nous avons procédé régulièrement à des observations sur site au niveau des andains de compost par :

- ❖ L'observation visuelle ;
- ❖ Les tests de température ;
- ❖ Les tests d'humidité.

A- Observations visuelles

L'observation visuelle est très importante pour évaluer les lots de compost aux cours du processus de compostage. On observe régulièrement la granulométrie et la couleur des lots mais aussi l'apparition des macro-organismes (champignon et insectes).

Nous avons fait des tests d'odorat afin de contrôler s'il n'y a pas de fermentation.

Les observations visuelles et les tests d'odorat permettent de déterminer la maturité du compost. Le compost mûr est de couleur très foncé, d'odeur de terre, souple au toucher, et dont on ne peut reconnaître à l'œil nu les composés d'origine.

Pour nos observations visuelles nous avons tenu compte des critères suivants : l'aspect du substrat, sa couleur, sa granulométrie, son odeur, son humidité, pourcentage de dégradation, hauteur du lot (Annexe 4).

B- Tests de températures

Les températures ont été relevées quotidiennement à l'aide d'un thermomètre à sonde pénétrante de 30cm de long (Figure 47).

Pour les mesures de températures, la sonde du thermomètre est plongée dans le lot du compost à 50 cm à partir du sommet du lot. Nous avons creusé 20cm pour atteindre les 50cm de profondeur (Figure 48).



Figure 47 : Test de température

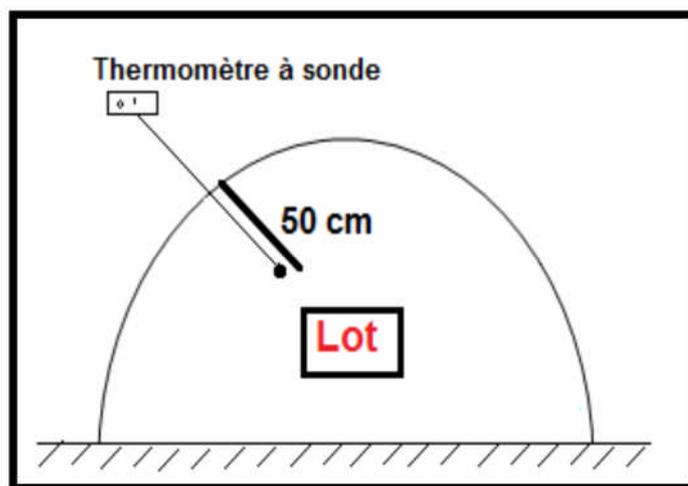


Figure 48 : Schéma illustrant le niveau de mesure de la température avec le thermomètre à sonde

C-Tests d'humidité

Ce test consiste à presser entre les mains un échantillon de compost prélevé au cœur de l'andain. En effet, si l'eau coule entre les doigts, l'humidité dépasse sensiblement 50%. Elle est jugée correcte si la main est légèrement mouillée. En revanche, si elle est quasi sèche, la teneur en eau est insuffisante (Anonyme, 2002 in Sangare, 1993).

II.2.3. Evaluation de la maturité du compost

II.2.3.1. Analyses au laboratoire

Nous avons réalisé nos analyses au laboratoire QUALILAB :

- Les analyses du broyat initiale et compost après un mois, trois mois et huit mois du compostage ont été effectuées au laboratoire QUALILAB.

A- Echantillonnage

La méthode utilisée est la méthode de l'échantillonnage par quartage. Nous avons réalisé des échantillons au niveau de l'andain successivement au début pour le broyat, après 1 mois, 3 mois, 8 mois.

Nous avons effectué un nombre de prélèvements d'une façon uniforme sur l'ensemble du lot, à la surface et à différentes profondeurs, de façon à constituer un échantillon global qu'on homogénéise parfaitement.

Nous avons définie 10 points dans l'andain pour faire nos prélèvements à des intervalles d' 1m afin d'augmenter la représentativité de l'échantillon, tenant compte de l'hétérogénéité, surtout avant les premiers retournements de la matière à composter.

🛠 Matériel utilisé pour l'échantillonnage

- 1 bassine en plastique ronde (26cm de diamètre) ;
- 1 paire de gants de jardinier ;
- 1 fourche (pour nettoyer la base du lot) ;
- Sacs plastiques solides (éviter la couleur noir),
- 1 feutre noir indélébile (pour écrire sur les sacs de l'échantillon) ;
- Etiquettes et marqueur fin à encre indélébile.

🛠 Préparation de l'échantillon

➤ Constitution d'un échantillon global

Nous avons suivi les étapes suivantes :

- Eviter la surface du lot (10 à 15 premiers centimètres), le fond du tas et les zones sèches ou trop humides ;
- Prendre à environ 50cm de profondeur ;
- Faire une tranchée à chaque mètre de longueur environ pour obtenir des prélèvements de même volume
- Combiner tous les prélèvements élémentaires dans un grand récipient propre (Figure 49).



Figure 49 : Construction d'un échantillon global qu'on homogénéise parfaitement

➤ **Constitution d'un échantillon final**

Afin d'obtenir l'échantillon final, nous avons procédé au quartage après l'homogénéisation (Figure 50).

Le mélange est divisé en quatre quartiers équivalents, en figurant deux axes perpendiculaires pour éliminer deux quartiers opposés. Puis, on mélange les deux restants et on procède à nouveau à la division en quatre quartiers équivalents, dont on éliminera cette fois les quartiers opposés selon la diagonale perpendiculaire à celle des quartiers précédemment éliminés.



Figure 50 : Constitution d'un échantillon final.

✚ **Envoie de l'échantillon final**

L'échantillon final est placé dans un sac en papier kraft à usage unique qui est étiqueté (Figure 51).



Figure 51 : Echantillon final du compost.

Etiquetage de l'échantillon

L'étiquette comprend les informations suivantes (Figure 52)

- Opérateur
- Date et lieu d'échantillonnage
- N° du lot
- Type de produit
- Masse volumique apparente
- observation

<ul style="list-style-type: none">• Opérateur :• Date et lieu d'échantillonnage : / /• N° du lot :• Type de produit :• Masse volumique apparente :• Observation :
--

Figure 52 : Modèle d'étiquette

B- Les paramètres analysés

- ✓ Le pH ;
- ✓ L'humidité ;
- ✓ La matière sèche ;
- ✓ La matière organique ;
- ✓ Le carbone organique ;
- ✓ L'azote total ;
- ✓ Calcium ;
- ✓ Phosphore (P₂O₅) ;
- ✓ Potassium (K₂O) ;
- ✓

✚ Les méthodes d'analyse**✓ Mesure du pH (Electrochimie)**

La détermination du potentiel hydrogène, pH, est effectuée sur des suspensions aqueuses selon la norme AFNOR NF ISO 10-390 de novembre 1994 (Belyaeva et *al.*, 2009 ; Yu et *al.*, 2009). Une masse de 75g du compost est mise en solution dans 100ml d'eau distillée. La suspension est homogénéisée par agitation magnétique pendant 30mn. La mesure du pH se fait directement sur un pH-mètre à électrode combinée.

✓ Mesure de l'humidité (matière sèche, teneur en eau) (Etuve)

La teneur en eau est alors déterminée à partir de la moyenne de trois essais et est exprimée en pourcentage en masse.

Un échantillon d'environ 10 g est pesé puis placé dans une étuve portée à une température de 105°C (Aloueimine et *al.*, 2005 ; Charnay, 2005 ; Garcia et *al.*, 2005 ; Yobouet et *al.*, 2010) pendant 24 heures. L'échantillon est pesé après refroidissement (Mohee, 2002). L'humidité est obtenue par différence de pesée entre la masse de l'échantillon avant l'étuvage et la masse de l'échantillon séché à l'étuve. Elle est exprimée en % par rapport à la masse de l'échantillon avant l'étuvage.

✓ Détermination de la matière organique

Après séchage à l'étuve, l'échantillon n'est plus constitué que de matière organique et de matière minérale qui ne se consomme pas à 500°C. Un échantillon préalablement étuvé à 105°C est mis au four à 550°C pendant 2H (Kelly, 2002 ; Kelly et *al.*, 2002 ; Unmar et *al.*, 2008). La teneur en

matière organique est obtenue par différence de pesée entre la masse de l'échantillon sec (105°C) et la masse de l'échantillon calciné. Elle est exprimée en % par rapport à la masse sèche de l'échantillon.

✓ **Le carbone organique**

Le pourcentage de carbone est égal à la moitié du pourcentage de la matière organique totale (AFNOR, 1999 in Chakroune et *al.*, 2005).

✓ **Dosage de l'azote total**

Le dosage de l'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl, (NTK) modifiée (AFNOR, 1999 in Chakroune et *al.*, 2005).

✓ **Dosage de phosphore (P₂O₅) (Spectrophotométrie)**

Le dosage de phosphore se fait sur l'extrait obtenu par minéralisation selon la procédure générale (Pauwels et *al.*, 1992).

✓ **Dosage de potassium (K₂O) (photométrie)**

Le dosage du phosphore se fait sur l'extrait obtenu par minéralisation selon la procédure générale (Pauwels et *al.*, 1992).

II.2.3.2. Test de germination

La méthode la plus simple, pouvant être adoptée, pour le test de maturation du compost, sans difficulté est celle du test de germination. Pour effectuer ces tests de germination, nous avons choisis l'haricot nain (*Phaseolus sp.*). Une espèce qui présente un pouvoir de germination très élevé (85/99% min). Nous avons pris des échantillons de compost et un échantillon de terreau, comme témoin, que nous avons disposés dans un plateau composé de 24 petites alvéoles.

Pour l'échantillon de compost nous avons utilisé 12 alvéoles. Dans chaque alvéole, nous avons disposé 3 graines. A la fin de la germination, nous avons calculé le nombre de graines ayant germé et mesuré la longueur des racines et des tiges.

Chapitre III

Résultats et Discussions

III. Résultats et discussions

III.1. Suivi du compostage

III.1. 1.Composition du substrat composté

A partir des déchets verts acheminés vers l'aire de compostage, nous avons pu identifier au total 24 espèces (Annexe2).

Après leur classification, nous les avons disposé en fonction de la nature des résidus (feuilles, bois, branches) et la nature de la matière organique apportée (Annexe 3).

La méthode utilisée pour effectuer ce classement est basée sur la couleur (Soltner, 2006).

- Les déchets de couleur brune et secs comme les bois de taille et les grosses branches représentent les matières riches en carbone (lignine, cellulose, sucres...etc.).
- Les déchets de couleur verte et humides comme les feuilles et les tontes de gazon sont riches en azote.

A partir de ces deux critères nous avons obtenu un score de 20 espèces pour la matière carbonée contre un score de 23 espèces pour la matière azotée (Annexe 3).

Pour un démarrage du processus de compostage, il faut mélanger 2 volumes des matières carbonées et un volume des matières azotées. (Théoriquement le rapport espèces carbonées/espèces azotées doit être inférieur à 3/2) (Mustin, 1987).

Dans notre cas nous avons un rapport de 20/23 qui est inférieur au rapport théorique de 3/2 ce qui répond aux conditions de démarrage du compostage.

III.1.2. Aspect du substrat composté

III.1.2.1. Aspect visuel

A partir des observations visuelles effectuées régulièrement sur les andains, nous avons attribué des notations pour chaque critère en fonction de l'âge de l'andain. Ces notations sont par la suite additionnées. Un indice visuel est calculé représentant le pourcentage de la notation.

Après 8 mois de compostage (Figure 53), l'indice visuel de maturité : **IV = 95%** (Annexe 4).



Figure 53 : Aspect visuel du compost après 8 mois

Le diagramme ci-après présente l'évolution de l'indice visuel de la maturité au cours du compostage. La figure montre que celui-ci passe de 76% à 3 mois pour atteindre 95% à 8 mois.

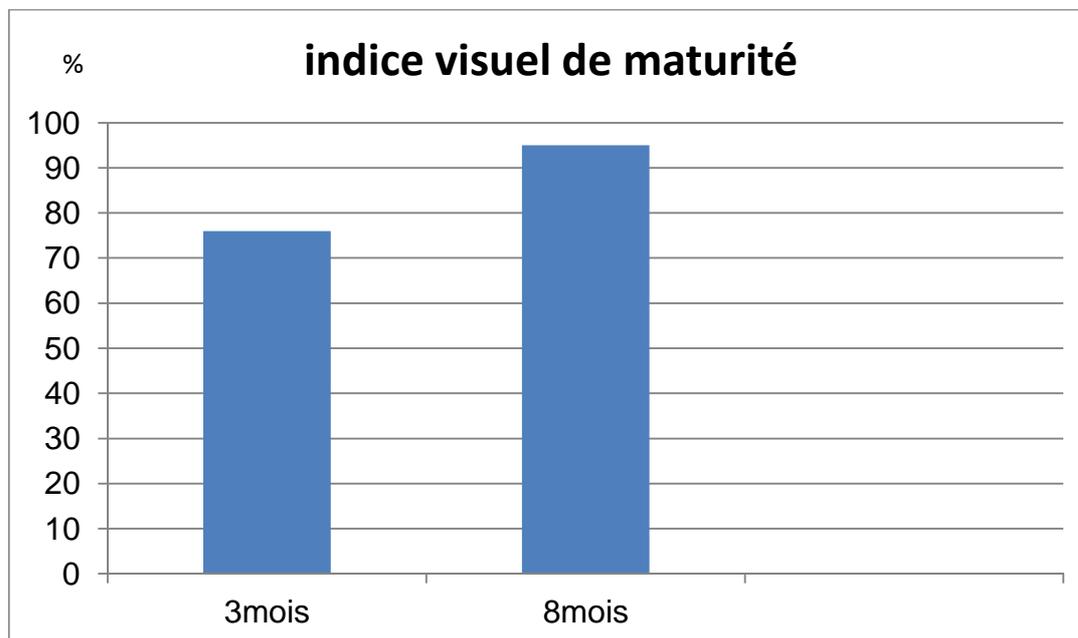


Figure 54 : Evaluation de l'indice de maturité du compost

III.1.2.2. Aspects biologiques

A partir des suivis quotidiens du compost jusqu'au huitième mois, nous avons observé l'apparition progressive des macro-organismes suivants :

A- Les champignons

Tout au long du processus de compostage, nous avons observé progressivement l'apparition de différents champignons, tels que :

Le coprin chevelu :

Après trois mois de compostage on a remarqué l'apparition d'un champignon à pied blanc et à chapeau noir au niveau du lot de compost. Il s'agit du coprin chevelu (Figure 55).



Figure 55 : Coprin chevelu

Il se reconnaît surtout à son chapeau presque cylindrique ou en « doigt de gant », blanc puis devenant noirâtre à partir du bas, couvert de mèches laineuses blanches (Guillane, 2007).

Classification :

Famille : Agaricacées.

Nom commun : Coprin chevelu.

Autre nom : Goutte d'encre

Ce champignon a été observé au sommet de l'andain exactement au niveau des points de dégagement de chaleur issue de la fermentation et où l'humidité est élevée.

B- Les vers de terre

Après 4 mois de compostage, nous avons observé l'apparition de populations de macro-organismes dans les andains (Figure 56). Les espèces observées sont réparties

en fonction de la profondeur du lot. Parmi ces espèces, nous avons identifié les suivantes :

- ▶ *Eisenia foetida* ;
- ▶ *Isotoma viridis* ;
- ▶ *Isotoma notabilis* ;
- ▶ *Onychiurus quadriocellat* ;
- ▶ Ver de terre (*lumbricus terrestris*).



Figure 56 : Population des vers de terre

III.1.2.3. Aspects physiques

III.1.2.3.1. Tests de température

Pour l'interprétation des tests de température, nous avons retenu les températures moyennes. Les résultats complets de ces tests sont représentés dans l'annexe 5.

La figure 57 représente les courbes d'évolution de la température moyenne du compost au cours du processus de compostage. On constate que la vitesse d'augmentation de la température est moins élevée car elle présente une température moyenne maximale de 28°C (Annexe 5). La diminution de la température avec le temps peut être causée par le ralentissement de l'activité microbienne. Ce ralentissement peut être lié à la stabilisation de la matière organique du compost qui peut être définie comme l'augmentation de sa résistance à la biodégradation.

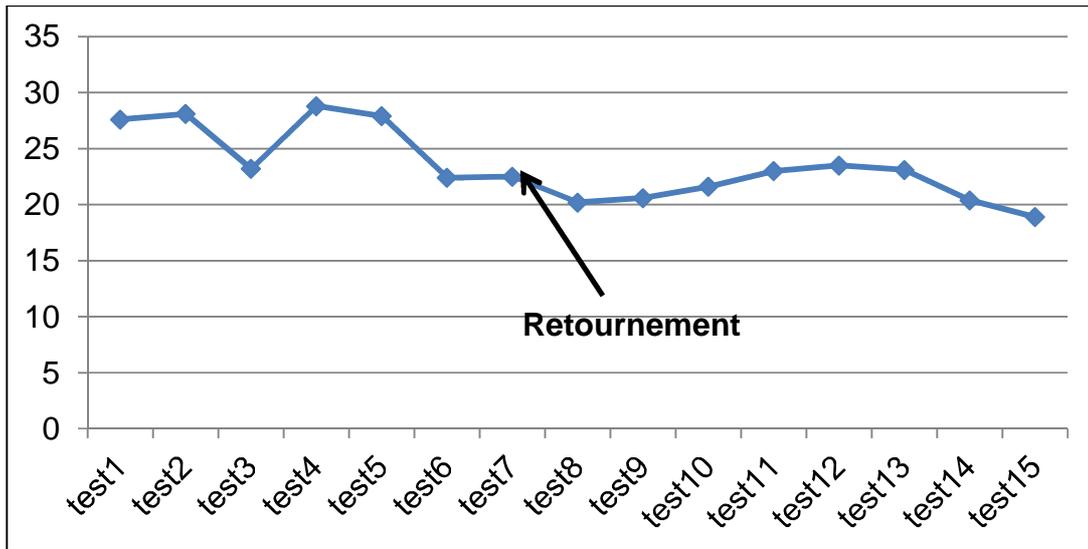


Figure 57 : Evolution de la température dans les lots de compost au cours du processus de compostage.

Nous observons que les températures n’atteignent pas de fortes valeurs ; maximum 35°C (Annexe 5). Ces températures ne permettent pas une hygiénisation du milieu qui doit se produire à des températures de 70°C (Heynitz, 1985). Voir à ce sujet le tableau IX.

Tableau IX: Hygiénisation du compost en fonction de la température (adapté de Knoll, 1969 in Heynitz, 1985)

	Température	Type de décomposition	Effets sur les germes pathogènes
1	<40°C	Fermentation froide	Virulence intacte pas d’effet désinfectant.
2	40 à 50°C	Fermentation à température moyenne	Désinfection biochimique
3	50 à 65°C		Désinfection biophysique
4	65 à 80°C	Fermentation à chaud	Désinfection thermique

Il existe des tests simples pour déterminer la maturité des composts. La stabilisation de la température du compost traduit la fin de phase de dégradation intensive (Pépin, 2008).

III.1.2.3.2. Humidité

Dans les premiers mois de compostage et avant le retournement, nous avons remarqué qu’il y a une différence d’humidité en fonction de la hauteur du lot. Selon le profil

que nous avons réalisé, on observe quatre zones (1, 2, 3 et 4) du sommet à la base (Figure 58).



Figure 58: Différence d'humidité en fonction de la hauteur

Zone 1 : au niveau de la surface de l'andain, qui représente environ 10% de la hauteur, où le substrat est sec par l'effet des conditions climatiques (vent et température) (Figure 59).



Figure 59 : Zone 1

Zone 2 : zone à moyenne humidité, qui représente environ 30% de la hauteur. Cette humidité est vraisemblablement le résultat de la granulométrie grossière de la zone 1 qui lui assure une bonne aération et la protège contre le dessèchement (Figure 60).



Figure 60 : Zone 2

Zone 3 : qui représente environ 40% de profondeur à très faible humidité. Nous avons observé au niveau du lot un tassement qui empêche l'eau de circuler vers les parties les plus basses. Au niveau de cette zone la décomposition est très faible (Figure 61)



Figure 61 : Zone3

Zone 4 : elle représente environ 20% de profondeur. Contrairement à la zone 3, cette zone est très humide à cause de la stagnation de lixiviat de l'arrosage à la base de l'andain. Au niveau de cette zone, nous avons observé des filaments blancs de champignons qui peuvent être un signe de fermentation anaérobie (Figure 62).



Figure 62 : Zone 4

Le maintien d'une humidité adéquate est nécessaire au bon déroulement du processus de compostage (Mustin, 1987). Cette humidité doit se maintenir à des taux de 50 à 60%, pour se faire, les arrosages des lots de compost sont nécessaires pour contrebalancer les pertes d'eau. Ces pertes sont dues essentiellement aux réactions exothermiques de fermentation, aux conditions climatiques et au retournement des andains (Heynitz, 1985).

Le taux d'humidité mesuré dans le compost après trois mois présente une valeur faible de 43%, même au huitième mois la valeur est très faible et avoisine 45%.

Au cours du compostage, l'élévation de la température entraîne l'évaporation d'une partie de l'eau contenue dans le mélange. L'intensité de ces pertes varie selon les caractéristiques des matériaux compostés et des conditions de compostage (pépin, 2008).

III.1.2.3.3. Le pH

Les mesures du pH ont été effectuées après trois mois et huit mois de compostage. Les résultats sont représentés dans la figure 63.

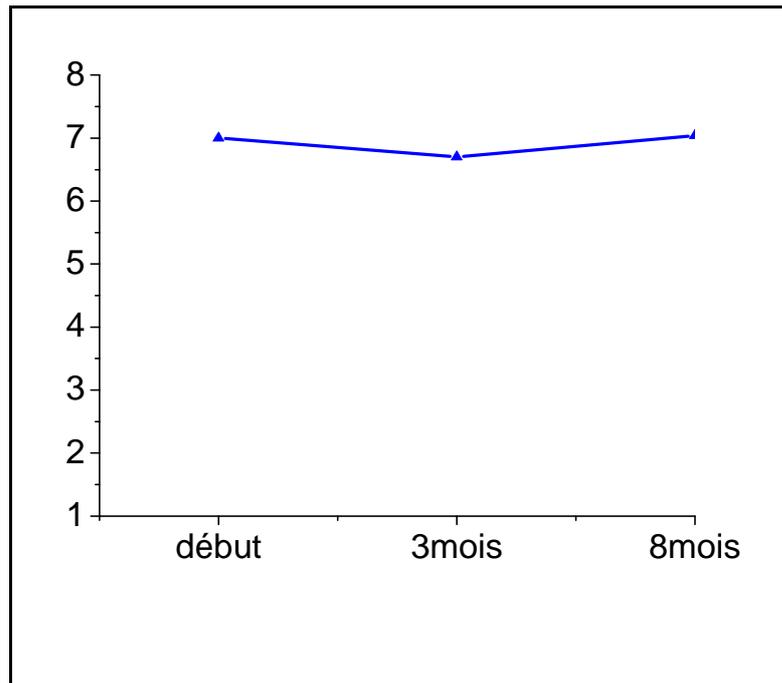


Figure 63 : Evolution du pH au cours du compostage

Pour définir le type de pH nous avons utilisé la gamme de l'évolution du pH, représentée dans la figure suivante :

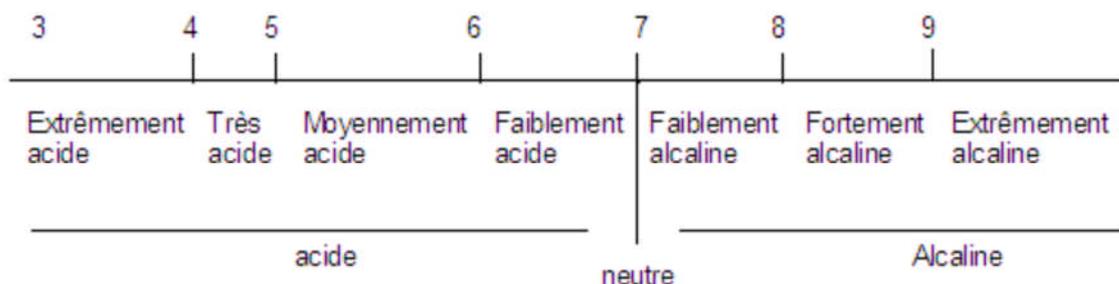


Figure 64 : Gamme de l'évolution du pH (Pousset 1999).

Au début du compostage, on remarque que le pH est neutre. Une légère diminution de la valeur du pH est observée lors des premiers mois pour devenir faiblement acide. Cette phase est appelée phase acidogène qui résulte de la production du gaz carbonique (CO₂) et de l'acide organique issue d'une activité microbienne (Mustin, 1987).

Au huitième mois les résultats d'analyse affichent une valeur de 7.04, on assiste à une légère alcalinisation suite à la libération d'ammonium par le processus

d'ammonification des protéines (Kochtizky et *al.* 1969 ; Gray et *al.*1973 ; Peters et *al.*2000). Cette différence pourrait être expliquée par la nature des substrats compostés.

Plusieurs travaux ont montré que le pH est un indicateur de la maturité du compost. En effet, les pH acides sont les caractéristiques des composts immatures, alors que les composts murs sont caractérisés par des pH compris entre 6 et 9 (Gray et Biddelstone, 1976).

III.1.2.4. Aspect chimique

Les résultats des analyses physicochimiques et leurs conformations sont représentés dans les Annexes 6, 7 et 8.

III.1.2.4.1. Matière organique et carbone organique

Le lot de compost présente une valeur de matière organique qui varie en fonction du degré de la biodégradation du substrat (Annexe 6). Environ 71% du substrat de broyat est composé exclusivement de matière organique (Annexe 6). Au cours des trois premiers mois, on constate une diminution de la matière organique, en effet, on note environ 53% au troisième mois pour atteindre 45% au huitième mois.

La matière organique du compost est un indicateur de la bonne qualité de compost (Mustin, 1987). Ceci est aberrant car le compostage, en tant que processus biochimique, consiste en une biodégradation du carbone organique et donc en une diminution de la teneur en matière organique. Toutefois la matière organique à laquelle on fait allusion dans les analyses de compost est la matière organique oxydable (Soudi, 2005).

De plus, la biodégradabilité résiduelle de la matière organique des composts diminue avec l'augmentation de la maturité des composts (Escher, 1996).

La teneur en carbone organique diminue au cours du compostage. Cette diminution de la concentration a lieu essentiellement pendant la phase de fermentation. La principale raison de cette diminution est l'utilisation par les micro-organismes des substances en dioxyde de carbone (CO₂) (Mustin, 1967). Les composts se caractérisent donc par des teneurs en carbone organique inférieures à celles des déchets bruts.

A partir de la gamme de stabilité des matières organiques des composts suivant le taux de carbone organique en condition contrôlé (température et humidité durant 3 mois), nous avons établi le tableau ci-après.

Tableau X : Définition des classes de maturité des composts à partir de la production du carbone organique total après trois mois de compostage (Francou, 2003 in Annabi, 2005).

Niveau de stabilité du compost	Taux de carbone organique après trois mois (% brut)	Degré de maturité de compost
Compost très stable	[0 ; 10]	Maturité très élevée
Compost stable	[10 ; 15]	Maturité élevée
Compost moyennement stable	[15 ; 20]	Maturité moyenne
Compost instable	[20 ; 30]	Maturité faible
Compost très instable	>30	Maturité très faible

Tableau XI : Définition des classes de maturité du compost

	Taux de carbone organique après trois mois de compostage (% brut)	Gamme de stabilisation en (% brut)	Niveaux de stabilité de compost	Degré de maturité du compost
Compost	26,5	[20 ; 30]	Compost instable	Maturité faible

Après trois mois de compostage, nous constatons que la classe de maturité du compost est [20 ; 30] car le taux de carbone organique est de 26 ,5. On a un compost instable, donc il n'est pas encore mûr.

III.1.2.4.2. Azote

L'analyse de la variance de la teneur en azote totale a montré des résultats très hautement significatifs. En effet, cette teneur présente une diminution pendant les trois premiers mois de compostage. Cette teneur a été évaluée de 0,51%.

Lors du compostage, une partie de l'azote organique des déchets est minéralisée. En fin de compostage (A partir du huitième mois), une augmentation de la teneur en NO_3^- est fréquemment observée (1,35%). L'azote total représente généralement des valeurs inférieures à 3% de la matière brute des composts. Lors du compostage, des pertes d'azote

sont possibles, soit par lessivage des nitrates dans le cas de composts non protégés des intempéries, soit par volatilisation d'ammoniac (NH_3) (Heynitz, 1985).

III.1.2.4.3. Phosphore

Les résultats d'analyse au cours de huit mois de compostage montrent des valeurs de 1,08% au troisième mois et 1,25% au huitième mois.

Lors du compostage, il n'y a pas de perte en phosphore. La concentration de phosphore dans le produit final à partir du huitième mois est plus élevée par rapport au substrat initial composté qui est de 1,25% (Soudi, 2005). Nous constatons que les valeurs de phosphore du compost au cours des huit mois de compostage attestent d'une bonne décomposition du substrat.

III.1.2.4.4. Potassium

Les résultats au cours des huit mois de compostage montrent des valeurs de 0,70% au troisième mois et 2,25% au huitième mois.

Lors du compostage, on observe une perte d'une importante quantité de potassium par le lessivage (pluviosité ou arrosage des lots). Par contre dans le produit final au huitième mois, on remarque une élévation de la quantité du potassium dans le compost.

III.1.2.4.5. Rapport C/N

Les résultats du rapport C/N montrent des valeurs significatives (Figure 65). Au cours du troisième mois de compostage le rapport C/N est de 22.08.

D'après le diagramme de l'évolution du rapport C/N du substrat au cours du compostage, on remarque qu'il y a une diminution du rapport C/N au stade final, il a atteint une valeur de 16.67 au huitième mois.

Le rapport C/N est un indicateur très utilisé dans l'étude des composts. Le C/N diminue au cours du compostage. On considère qu'une valeur inférieure à 25 caractérise un compost mûr, alors qu'un rapport inférieur à 20 et même 15 est préférable. Mais beaucoup d'auteurs (Gray et Biddlestone, 1976 ; Mustin 1987), coïncident que la valeur du C/N d'un compost n'est pas suffisante pour déterminer sa maturité.

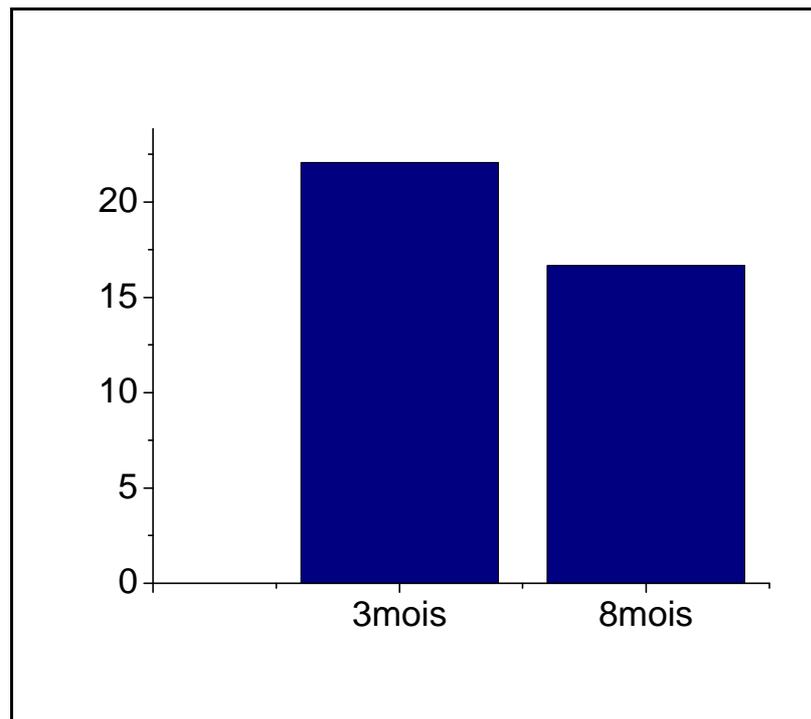


Figure 65 : Evolution du rapport C/N au cours du compostage

III.1.2.5. Test de germination

La maturité du compost peut se mesurer par le test de germination : un compost mur ne contient plus de substances empêchant ou ralentissant la germination, parmi ces substances l'ammoniac. Pour un compost non mur la germination reste faible ou nulle.

Après six jours, nous avons observé les premières germinations dans les deux substrats utilisés (compost et terreau) (Figure 66).



Figure 66 : Test de germination avec *Phaseolus sp.*

Après onze jours, nous avons comparé la croissance des plantules de *Phaseolus sp* dans les deux substrats, nous avons constaté que le terreau permet une bonne croissance des feuilles alors que le compost présente une bonne croissance des feuilles et des racines.



Figure 67 : Croissance aérienne et racinaire chez *Phaseolus sp.*

En calculant la longueur moyenne des racines et la longueur moyenne des tiges jusqu'au feuilles des deux substrats on a établi le tableau ci-dessous :

Tableau XII: Croissance aérienne et racinaire de *Phaseolus sp* dans le compost et le terreau :

	Compost	Terreau
Longueur moyenne des racines (cm)	10.32	6.27
Longueur moyenne des tiges (cm)	9.58	6.81
Nombre de graines germées /Nombre totale des graines	17/36=0.47	11/36=0.30

Nous constatons que la longueur moyenne des racines dans le compost est très élevée que celle notée dans le terreau, on a aussi la longueur moyenne des tiges qui est assez élevée dans le compost comparant à celle noté dans le terreau. On conclue que le pouvoir de germination dans le compost est plus élevé que celui noté dans le terreau.

Conclusion

Conclusion

Au terme de ce modeste travail, il convient de récapituler les principaux résultats obtenus. La station de compostage biocompost d'EL-KSEUR est une installation créée en 2012. Cette étude est conduite en vue de contribuer à une meilleure connaissance du compostage des déchets verts.

Le suivi du processus de compostage dans la station biocompost d'EL-KSEUR, nous a permis de collecter des données sur le compost produit.

La température moyenne maximale est de 28°C. Le taux d'humidité mesuré dans le compost après trois mois présente une valeur faible de 43%, même au huitième mois la valeur est très faible et avoisine 45%.

Le pH du compost après huit mois est de 7.04. Le compost mûr est caractérisé par un pH compris entre 6 et 9. NFU 44-051 (2006) type « compost végétale ».

Le rapport C/N est également un indicateur très utilisé dans l'étude du compost. Le C/N diminue au cours du compostage. On considère qu'une valeur inférieure à 25 caractérise un compost mûr, alors qu'un rapport inférieur à 20 et même à 15 est préférable. Le rapport obtenu est compris dans cet intervalle (16.67). NFU 44-051 (2006) type « compost végétale »

Le test de germination a montré que le compost produit dans la station permet une bonne croissance des plantes.

Notre travail de suivi du compostage a été réalisé pendant la période allant de Janvier à Mars. La mise en place des lots a été effectuée en hiver. Il serait très intéressant d'effectuer un suivi sur d'autres périodes de l'année au niveau de la station biocompost d'EL-KSEUR afin de compléter nos observations.

Bibliographie

Bibliographie

ADEME, 2001. "Déchets organiques - Essai agronomique de plein champ d'un compost des Déchets verts (résultats 8e année d'expérimentation)." Paris, France.

ADEME, 2008. Guide pratique sur le compostage. ADEME édition, Paris, 20 pages.

Allsopp M., Costner P. et Johnston P., 2001. Incineration and Human Health; State of Knowledge of the Impacts of Waste Incinerators on Human Health; Greenpeace Research Laboratories, 84 pages.

Aloueimine S.O., Matejka G., Zurbrugg C., SIDI M. et MEO, 2006. Caractérisation des Ordures ménagères à Nouakchott – Partie 2 :«Résultats en saison sèche et en saison humide » Déchets, Sciences et Techniques n° 44, décembre 2006.

Anonyme, 2002. Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management 7-10, Tunis (EPCOWM, 2002), p.349-356.

Anonyme, 2008. Les matières organiques du sol : rôle, risques et enjeux. Colloque de restitution du programme GESSOL2. Paris. 57p.

Anonyme. Feriana environnement. Exemple de remise en état: carrière de calcaire, (SOTACIB de Feriana),

<http://www.edunet.tn/ressources/sitetabl/sites/kasserine/Feriana/feriana/environnement.htm>.

Anonyme1, 2012. Les sols en Algérie.

Anonyme2, 2012. Les déchets verts.

Anonyme3, 2012. L'aide mémoire du guide composteur, ecoconseil@ville.namur.be.

Anonyme1, 2013. ITV France.les rôles de la matière organique.

Anonyme2, 2013. [Le compost : Comment ça marche ?, www.info@compostage.info](http://www.info@compostage.info).

Anonyme3, 2013.Le compostage, www.compostage.info.

Bachelier G., 1963. La vie animale dans le sol ; article ; 279p. Paris.

Bazie Y., 1984. Valorisation des résidus cultureux dans la zone du plateau mossi : amélioration de la qualité des composts (station agronomique de SARIA)-mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural, option IDR/UPB ? Bobo-dioulasso, 104p.

- Belyaeva O. N., Haynes R., 2009.** Chemical, microbial and physical properties of manufactured soils produced by co-composting municipal green waste with coal fly ash. *Bioresource Technology* 100 (2009) 5203–5209.
- Berger M., 1996.** L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne, collection, agriculture écosystème et développement, n° hors série, fiche 1-8
www.ecopatrouille.org.
- Biddlestone A. J. et Gray K. R., 1976.** Le compostage au jardin, Edition Edisud, p.23.
- Bolan N. S., Adrianob D. C., Natesana R. et 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.
- Bonin g., 2006.** Connaissance des sols- introduction à la pédologie. P10 ,11.
- Bresson L. M., Koch C., Le Bissonnais Y., Barriuso E. et Lecomte V., 2001.** Soil surface Structure stabilisation by municipal waste compost application. *Soil Science Society of America Journal* 65, 1804-1811.
- Bustamante M. A., Paredes C., Marhuenda-Egea F. C., Perez-Espinosa A., Bernal M. P. et Moral R., 2008.** Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. *Chemosphere*, 72: 551–557.
- Cadorin P., 1995.** Calendrier lunaire de l'agriculteur, Edition de Vecchi. s. a. Paris, p.140.
- Canet R. et Pomares F., 1995.** "Changes in physical, chemical and physicochemical parameters during the composting of municipal solid waste in two plants in Valencia" *Bioresource Technology* 51: 259-264.
- Chakroune K., Bouakka M. et Hakkou A., 2005.** Incidence de l'aération sur le traitement par compostage des sous-produits du palmier dattier contaminé par *fusarium oxysporum f.sp. albedinis*, Edition CNRC, Canada, pp.69-77.
- Charnay F., 2005.** Compostage des déchets urbains dans les PED : Elaboration d'une Démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat N° 56. Université de Limoges.
- Damien A., 2004.** "Guide du traitement des déchets, 3ème édition." Paris, France.431.
- Duchaufour P., 1977.** Pédologie. Pédogénèse et Classification, Masson/Ed., Paris, New York, Barcelone, Milan, Mexico, Sao Paulo.
- Duchaufour P., 1983.** Pédologie et classification. Ed. Masson. 491p
- Feller C. et Beare, 2004.** Influence of land use on the characteristics of humid substances. *European Journal of Soil Science* Volume 56, 343 - 352.

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'institut national agronomique paris-grignon, décembre 2003, 242p.

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, Institut national agronomique Paris-Grigon, 289p.

Frédéric Guérin. Le compost, www.composthumus.com.

Garcia A. J., Esteban M. B., Marquez M. C. et Ramos P., 2005. Biodegradable municipal solid waste: Characterization and potential use as animal feedstuffs; Waste Management 25 (2005) 780–787.

Gobat J., Aragno M. et Matthey W., 2003. Le sol vivant, base de pédologie. Biologie des sols. Ed. Presses polytechniques et universitaires romande. Lausanne. 549p.

Gray K. R., Sherman K. et Diddlestone A. J., 1973. A review of composting. Part1. Process biochem. 32-36.

Guittonny-Larchevêque M., 2004. Valorisation d'un compost de boues urbaines en garrigue pour le reboisement : Comportement des jeunes arbres d'une plantation et modifications de la dynamique de la végétation naturelle après amendement, Thèse de Doctorat, Université Paul Cézanne, 227p.

Guillane E., 2007. Mini Larousse des champignons : les 200 espèces les plus courantes Edition Larousse, p.447.

Hamer, G., 2003. "Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety." Biotechnology Advances 22: 71-79.

Haug R.T., 1993. The practical handbook of compost engineering, Boca Raton, Florida. 717.

Heynitz K.V., 1985. Le compost au jardin, Edition Terre vivante, paris, p.125.

Houot, S., Rose, J., 2002. « Déchets (agricoles, urbains, industriels) », Prospective SIC 2002 Synthèse de l'atelier n° 8 ; Division « Surfaces et Interfaces Continentales » ; INSU.

J. Grandeau, 1890. Le compostage des déchets verts, direction de la station agronomique de l'est, France.

Journal officiel de la République Algérienne n°77 du 15 décembre 2001, p8-15 loi n°01-19 du 27 ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

K. Edem KOLEDZI, 2011. Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de Lome (TOGO): approche méthodologique pour une production durable de compost, thèse doctorat, université LOME, p224, p 33-p34.

Kelly E.J., 2002. Solid Waste Biodegradation Enhancements and the Evolution of Analytical Methods Used to Predict Waste stability, Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Kelly E. J., Novak J. T., Prillaman N., Shearer B. D., Goldsmith C. D et Hater G.R., 2002. Relationships between analytical methods utilised as tools in the evolution of landfill bioreactor stability, 37 pages.

Kochtizky O. W., Seaman W. K. et Wiley J. S., 1969. Municipal composting research at Johnson City, Tennessee. Compost SCI. 5-16.

Larbi M., 2006. Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Thèse, Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, CH-Frick; l'Université de Neuchâtel. <http://orgprints.org/8935/>

Leclerc B., 2001. Guide des matières organiques.eds guide technique de l'ITAB.

Liang, C., Das, K.C., Mc Clendon, 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.

Li M ; Xiang J., Hu S., Sun L. S., Su S., Li P. S. et Sun X.X., 2004. Characterisation of solid residues from municipal solid waste incinerator, Fuel 83 (2004) 1397 – 1405.

Mohee R., 2002. Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius; Resources, Conservation and recycling 36 (2002) 33-43.

Mokrani Djaouida, 2010. Etude de la matière organique sur les serres hydriques, de deux types de sols de la baie de Bejaia, Mémoire d'ingénieria, Université A.MIRA, 60p, Bejaia.

Morel R., 1996. Les sols cultivés, 2^{ème} Ed, technique & documentation, 389p.

Mustin M., 1987. Le Compost, Gestion de la Matière Organique, F. Dubusc eds, pp. 957, Paris.

Pagliai M., Vignozzi N. et Pellegrini S., 2004. Soil structure and the effect of management practices. Soil and Tillage Research 79, 131-143.

Pauwels J. M., Van Ranst E., Verloo M. et Mvondo Z. E. A., 1992. Manuel de laboratoire de pédologie: Méthode d'analyse de sols et de plantes, Equipements, Gestion de stocks de verrerie et de produit chimiques, Publications Agricoles, p.256.

Pépin D., 2008. Le compostage et paillage au jardin : recycler, fertiliser, Edition Terre vivante, p.160.

Peters S., Koshinsky S., Schwieger F. et Tebbe C. C., 2000. Succession of microbial communities during hot composting as detected by PCR-single-strand-conformation polymorphism-based genetic profiles of small-subunit rRNA genes. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 930-936.

Puyuelo, B., Gea, T., Sanchez, A., 2010. A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate. Article in press *Chemical Engineering journal* (2010), doi:10.1016/j.cej.2010.09.011.

Sanchez-Monedero M. A., Roig A., Paredes C. et Bernal M. P., 2001. "Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, Ec and maturity of the composting mixtures" *Bioresource Technology* 78: 301-308.

Sangare A., 1993. Le compostage, fiche technique. IER / SOTUBA (Bamako) / 5 pages.

Sidi Ould Aloueimine, 2006. Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision, thèse doctorat, université de Limoge, Maroc.

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.

Soltner D., 2006. Aujourd'hui les composts pour un autre jardinage, Edition Scienco et technique Agricoles, p.10.

Soudi B., 2005. Le compostage des déchets de cultures sous serres et de fumier, *Bulletin Mensuel d'Information et de Liaison du PNTTA*, p.6.

Stentiford, E. I., 1996. "Diversity of composting system." In *Science and Engineering of Composting*, de Bertoldi et al. ed. (Blackie Academic and Professional, Bologne).95

Unmar G. et Mohee R., 2008. Assessing the effect of biodegradable and degradable plastics on the composting of green wastes and compost quality *Bioresource Technology* 99 (2008) 6738–6744.

Vignerot J., 1967. L'arrosage et les propriétés physiques du sol. Ingénieur au service des sols à la C.N.A.B.R.L bas Rhône Languedoc.29p.

Waas, E., Adjademé, N., Bideaux, A., Deriaz, G., Diop, O., Guené, O., Laurent, F., Meyer, W., Pfammatter, R., Schertenleib, R., Touré, C., 1996. "Valorisation des déchets ménagers organiques dans les quartiers populaires des villes africaines." Genève, Suisse, SKAT.142.

Wong J. W. C., Ma K. K., Fang K. M. et Cheung C., 1999. "Utilization of manure compost for organic farming in Hong Kong." *Bioresource Technology* 67(1): 43-46.

Yobouet Y. A., Adouby K., Trokourey A. et Yao B., 2010. Cadmium, Copper, Lead and Zinc speciation in contaminated soils *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 2(5), 2010, 802-812.

Yu H. et Huang G. H., 2009. Effects of sodium acetate as a pH control amendment on the Composting of food waste. *Bioresour. Technol.*, 100: 2005–2011.

Yobouet Y. A., Adouby K., Trokourey A. et Yao B., 2010. Cadmium, Copper, Lead and Zinc speciation in contaminated soils *International Journal of Engineering Science and Technology*. Vol. 2(5), 2010, 802-812.

Youcai Z., Stucki S., Ludwig Ch. et Wochele J., 2004. Impact of moisture on volatility of heavy metals in municipal solid waste incinerated in a laboratory scale simulated incinerator; *Waste Management xxx (2004) xxx-xxx*, Article in Press; 7 pages.

Zurbrugg C. et Ahmed R., 1999. "Enhancing Community Motivation and Participation in Solid Waste Management" *SANDEC News* 4.

Annexes

Annexe 1 : Paramètre du compost mûr.

Paramètre	Compost mûr
Matière sèche %	≥ 30
Humidité %	50-60
pH	6-9
Matière organique %	≥ 20
Carbone organique %	≥ 10
Azote total %	≤ 3
Calcium %	≤ 3
Carbone / Azote	> 8

Annexe 2: Liste des espèces végétales utilisées pour le compostage.

N°	Famille	Genre et espèce	Nom commun
1	Apocynacées	<i>Nerium oleander</i>	Laurier rose
2	Malvacées	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	Hibiscus à fleur rose
3	Moracées	<i>Ficus elastica</i>	Caoutchouc
4	Strelitziacées	<i>Strelitzia alba</i>	Faux bananier
5	Pittosporacées	<i>Pittosporum tobira</i>	Pittosporum
6	oleacées	<i>Jasminum sp.</i>	Jasmin
7	Poacées	<i>Arundo donax</i>	Canne de Provence, Roseau
8	Platanacées	<i>Platanus acerifolia</i>	
9	Arecacées	<i>Phoenix canariensis</i>	
10	Moracées	<i>Ficus retusa</i>	
11	Agavacées	<i>Yucca elephantipens</i>	Yucca géant
12	Moracées	<i>Morus alba</i>	Murier blanc
13	Nyctaginacées	<i>Bougainvillea glabra</i>	Bougainvillier
14	Anacardiées	<i>Schinus molle</i>	Faux poivrier
15	Urticacées	<i>Urtica dioica</i>	Ortie, Azegtouf
16	polygonacées	<i>Rumex sp.</i>	
17	Poacées	<i>Bromus madritensis</i>	
18	Moracées	<i>Ficus careca</i>	Figuier
19	Oléacées	<i>Olea europea</i>	Olivier
20	Poacées	<i>Hordeum murinum</i>	Orge des rats
21	Nyctaginacées	<i>Bougainvillea spectabilis</i>	Bougainvillier
22	Punicacées	<i>Punica granatum</i>	Grenadier
23	Composées	<i>Cichorium intybus</i>	Chicorée
24	Cesalpinées	<i>Ceratonia siliqua</i>	Caroubier

Annexe 3 : Classification de mélange de broyat.

Genre et espèce	Les résidus			Nature de matière	
	Bois	Feuille	Branche	MC	MN
<i>Nerium oleander</i>		+	+	+	+
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>		+	+	+	+
<i>Ficus elastica</i>		+	+	+	+
<i>Strelitzia alba</i>		+	+	+	+
<i>Pittosporum tobira</i>		+	+	+	+
<i>Jasminum sp.</i>		+	+	+	+
<i>Arundo donax</i>		+	+	+	+
<i>Platanus acerifolia</i>		+	+	+	+
<i>Phoenix canariensis</i>	+	+		+	
<i>Ficus retusa</i>		+	+	+	+
<i>Yucca elephantipens</i>		+	+	+	+
<i>Morus alba</i>		+	+	+	+
<i>Bougainvillea glabra</i>		+	+	+	+
<i>Schinus molle</i>		+	+	+	+
<i>Utrica dioica</i>		+	+	+	+
<i>Rumex sp.</i>		+			+
<i>Bromus madritensis</i>		+			+
<i>Ficus careca</i>	+	+	+	+	+
<i>Olea europea</i>	+	+	+	+	+
<i>Hordeum murinum</i>		+			+
<i>Bougainvillea spectabilis</i>		+	+	+	+
<i>Punica granatum</i>	+	+	+	+	+
<i>Cichorium intybus</i>		+			+
<i>Ceratonia siliqua</i>	+	+	+	+	+
Score				20	23

Annexe 4 : Test visuel de la maturité du compost

Critères	Notation			Age de l'échantillon	
	1	2	3	3mois	8mois
Aspect	Gras	Motteux	Granuleux	2	3
Couleur	Brun	-	Noir	2	2
Granulométrie	>10mm	inter	<2mm	3	3
Odeur	Plante fraiche	-	Terre	2	3
Humidité	Sec	Humide	Frais	3	3
Dégradables reconnaissables	>50%	Inter	<10%	2	3
Hauteur	>100 cm	Inter	<60cm	2	3
Indice visuel de maturité IV (sur 21 points)				16	20

Annexe 5 : Tests de températures aux cours du compostage

N° TEST	TEMPERATURE										TEMPERATURE MOYENNE
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P
T1	28	23	25	34	28	29	31	35	25	28	27.6
T2	35	32	30	28	24	29	26	27	25	25	28.1
T3	22	25	25	22	28	22	26	24	10	18	23.2
T4	25	32	27	30	25	27	26	29	32	35	28.8
T5	24	28	22	22	26	31	33	29	36	28	27.9
T6	21	18	15	15	23	25	26	29	25	27	22.4
T7	18	25	24	18	24	23	22	24	26	21	22.5
T8	19	22	23	20	20	19	20	20	22	17	20.2
T9	20	21	24	22	19	17	22	20	21	20	20.6
T10	20	22	23	25	20	20	21	22	23	20	21.6
T11	21	24	25	25	23	25	21	23	22	21	23
T12	20	23	24	25	25	26	22	27	23	20	23.5
T13	22	21	20	28	23	21	24	25	25	22	23.1
T14	20	22	20	24	20	18	19	22	21	18	20.4
T15	17	19	21	20	19	17	20	20	19	17	18.9

Annexe 6 : Caractéristiques physico-chimiques du substrat composté (le broyat).

Élément	Symbole	Unité	Composition du broyat	Moyenne de composition des matières végétales (Mustin, 1987)	Conformité du produit	
			Sur produit sec	Sur produit brut	Sur produit brut	Sur produit sec
Matière sèche	MS	%	100	87.3	-	
Humidité	H	%	-	12.7	-	
pH	pH	%	6.94	6 à 8	Oui	
Matière organique	MO	%	81.1	70.80	≥60%	Oui
Carbone organique	CO	%	40.55	35.40	30 à 50%	Oui
Azote totale	N	%	1.61	1.40	0.5 à 3%	Oui
Phosphore	P ₂ O ₅	%	0.74	0.64	0.05 à 1%	Oui
Potassium	K ₂ O	%	2.94	2.57	0.3 à 3%	Oui
Rapport Carbone/Azote	C/N	-	25.18	20 à 30	Oui	

Annexe 7: Résultats des analyses physico-chimiques du compost.

Elément	Symboles	Unités	Après 3 mois de compostage		Après 8 mois de compostage
			Sec	Brut	Brut
Matière sèche	MS	%	100	49.2	55
Humidité	H	%	-	50.8	45
pH	Ph		6.70		7.04
Matière organique	MO	%	66.45	53	45
Carbone organique	CO	%	33.23	26.5	22.5
Azote totale	N	%	1.73	1.20	1.35
Phosphore	P ₂ O ₅	%	2.2	1.08	1.25
Potassium	K ₂ O	%	1.43	0.70	2.25
Rapport carbone/Azote	C/N		22.08		16.67

Annexe 8: Conformation de la maturité du compost.

Elément	Symboles	Unités	Compost	NFU 44-051 (2006) type « compost végétale »
			Sur produit brut	Sur produit brut
Matière sèche	MS	%	55	≥ 30
Humidité	H	%	45	50 à 65
pH	Ph	-	7.04	6 à 9
Matière organique	MO	%	45	≥ 20
Carbone organique	CO	%	22.5	≥ 10
Azote totale	N	%	1.35	≤ 3
Phosphore	P ₂ O ₅	%	1.25	≤ 3
Potassium	K ₂ O	%	2.25	≤ 3
Calcium	Ca ²⁺	%	5.50	≤ 3
Rapport carbone/Azote	C/N	-	16.67	>8

Résumé

La station de compostage bio-compost d'EL-KSEUR installée depuis 2012 a été choisie pour être le site de notre étude. Nous nous sommes intéressées au compostage des déchets verts, afin d'évaluer la qualité du compost.

Nous avons effectué un suivi du processus de compostage pendant une durée de trois mois allant de Janvier à Mars afin d'évaluer la qualité du compost produit, par l'analyse des paramètres suivants : L'humidité, le pH, la teneur en matière sèche, la teneur en matière organique, la teneur en carbone organique, l'azote total, calcium, phosphore (P_2O_5), potassium (K_2O) et le test de germination.

Le pH a atteint 7.04 après 8 mois de compostage, Le compost obtenu a une fraction fine ≤ 2 mm. Il contient des teneurs de carbone, de matière organique, d'azote, de phosphore, de Potassium et un rapport C/N acceptables, et une humidité faible par rapport aux normes internationales. Le test de germination a montré que le compost produit présente une bonne croissance des plantes.

Summary

The composting facility bio-compost of EL-KSEUR since 2012 has been chosen as the site of our study. We are interested to the green wastes composting to evaluate wastes compost quality.

We also followed up the composting process during a period of three months from February to Mai in order to evaluate the quality of compost product, by analysis of parameter: Humidity, pH, organic matter, organic carbon, potassium, phosphorus, nitrogen and a test of germination.

The pH increased up to 7.04 after 8 months of composting, Particle size distribution of compost showed that the fraction ≤ 2 mm. The organic matter, C, N, P and K contents and the C/N ratio of the compost are acceptable, but the humidity was relatively low in comparison with international Standard. The test of germination was showed that a compost product present a maid growth of plants