REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGENEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Agronomie :
Domaine : *Science de la nature et de la vie*
Spécialité : *réhabilitation et restauration des sols*

Thème

CO-COMPOSTAGE DES GRIGNONS D'OLIVES ET DE BOUES D'ÉPURATION :

APPROCHE EXPÉRIMENTALE POUR UNE PRODUCTION DURABLE DE COMPOST

Réalisé par :
Melle Issaoun Djamila
Mme Yahiaoui -Tibiche Ghenima

Soutenues le 19 juillet 2016 devant le jury composé de :

Président	M^{elle} OMOURI O.	M.A.B	UMMTO
Promotrice	M^{me} MOUAS BOURBIA S.	M.C.B	UMMTO
Co-promoteur	M^{r} RAHMOUNE Md A.	M.A.A	UMMTO
Examinatrice	M^{me} LOUNI D.	M.A.A	UMMTO
Examinateur	M^{r} BOUDJEMAA S.	M.A.A	UMMTO
Invité	M^{r} TAMENE S.	Directeur de l'ITMAS de Bouhkalfa TO	

Promotion 2015 / 2016.

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions avant tout, Dieu le tout puissant de nous avoir guidé à suivre le chemin de la science.

Nous tiendrons vivement à exprimer notre profonde reconnaissance et gratitude à notre promotrice M^{me} MOUAS-BOURBIA S. p*our l'aide compétente qu'elle nous a apportée, pour sa patience, sa confiance, son encouragement, et son œil critique qui nous a été très précieux pour structurer le travail et pour améliorer sa qualité., nous la remercions vivement.*

Nos profonds remerciements vont également à notre co-promoteur M^{r} RAHMOUNE MED A. pour ses précieux conseils, et orientations.

Nous remercions vivement M^{elle} OMOURI O. qui a bien voulu nous faire l'honneur de présider le jury. D'autre part pour son aide, son conseil, ses orientations, sa disponibilité.

Nous adressons également notre profonde reconnaissance à M^{me} LOUNI D. et M^{r} BOUDJEMAA S. pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos vifs remerciements vont aussi à M^{r} TAMENE S. le Directeur de l'ITMAS de Boukhalfa Mr. ainsi qu'à tout le personnel de l'institut, en particulier Melle HADJAZ S.et Melle BOURAHLA, pour leur accueil et la mise à notre disposition de tous les moyens qui existent au niveau de leur institut afin de réaliser ce travail.

Nous remercions également Mme OUAR , chef de service de la STEP Est de Tizi-Ouzou ainsi que tout le personnel de la station de nous avoir facilité l'accès et l'obtention des boues d'épuration.

Nos profonds remerciements vont également au professeur TIBICHE vice doyen de la faculté de médecine et Dr MAMOU, chef de département de pharmacie de la faculté de médecine de l'UMMTO, qui nous ont orienté et aidé à la réalisation de quelques analyses. Qu'ils trouvent ici, l'expression de toute notre reconnaissance.

Nos remerciements les plus sincères vont également à Mr OUNANE chef de département de phytotechnie et Faiza l'ingénieur de laboratoire de L'ENSA d'El Harrach.

Nous remercions également Mr TALBI M. directeur de l'entreprise GEOMICA de BOUMERDES, pour le temps qu'il nous a consacré malgré ses nombreuses occupations.

Nous remercions l'ensemble des membres du jury, d'avoir accepté de juger ce travail et d'avoir assisté à notre soutenance de thèse.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, tous les étudiants de la promotion 2016 de master II Réhabilitation et Restauration des Sols du département d'agronomie de l'UMMTO, en particulier Hakim Azzi et Samir Tebani . Ainsi que tous ceux et celles qui nous ont aidé à réaliser ce travail.

DEDICACES

A tous ceux qui me sont chers

DJAMILA

JE DEDIE CE TRAVAIL

A mon cher mari qui m'a beaucoup soutenu

A mes deux adorables enfants lyes et sofiane

A mes parents

A mes frères et sœurs

A ma belle famille

A tous les étudiants de la promotion RRS 2016 de l'UMMTO.

GHENIMA

Liste des figures

Figure 1. Schéma simplifié du processus de compostage (aboulam2005).

Figure 2. Courbe d'évolution théorique de la température et des caractéristiques de la microflore et de son activité au cours du compostage. (Francou, 2003) in Lashermes, 2010.

Figure 3. Représentations schématiques de l'influence des différents paramètres physico-chimiques du compostage

Figure 4. Cinétique de consommation (non limité) d'O_2 et profil de température de la matière en compostage (Vincent blazy 2014).

Figure 5. Quantité des résidus produits pour une production de 40000 T d'huile (Moussouni, non daté).

Figure 6. Couleur des substances humiques (koriko et al., 2013).

Figure7. Fractionnement des substances humiques (Eyheraguebel , 2004).

Figure 8 . Modèle de structure des composés humiques (Andreux and Munier-Lamy, 1994)

Figure 9. Localisation de site expérimental

Figure10. Les constituants compostés :a) boues ; b) fumier ; c)grignon d'olive et d) margine.

Figure 11. La serre du site expérimental

Figure 12. Arrosage avec a)eau ; b) margine et Test d'humidité (c).

Figure 13. Dispositif expérimental

Figure 14. Principe du quartage

Figure 15. Analyse granulométrique

Figure 16. Schéma d'extraction des acides humiques et fulvique

Figure. 17. a ; b ; c. Extraction des acides humiques et fulviques

Figure 18. Microscope électronique à balayage.

Figure 19. Evolution de la température des andains 1(a) ; 2(b) ; 3 (c) et 4 (b) au cours de compostage.

Figure 20. Pourcentage des particules des différents andains à 100jours.

Figure 21. Evolution du pH au cours de compostage

Figure 22. Evolution de la matière organique au cours du compostage

Figure 23. Rapport de Welt (E4/E6).

Figure 24. Couleurs des solutions des différentes substances humiques à des concentrations de 200 mg/L ; Acides fulviques de couleur jaune (a); acides humiques de couleur noir à l'état humide (a) et sec (b).

Figure 25. Photographie au MEB de l'acide humique

Figure 26 photographie au MEB à différentes résolutions a) grignon d'olive ; b) margine ; c) boues et d) fumier de volaille.

Figure 27. Photographie au MEB des andains A1 et A2 : à 0jours (a) ; à 100 jours (b).

Figure 28. photographie au MEB des andains A2 et A3 : à 0jours (a) ; à 100 jours (b).

Liste des tableaux

Tableau 1. Composition chimique indicative de grignons d'olive (Nefzaoui, 1984).

Tableau 2. La composition de grignons d'olives en hémicellulose, cellulose et lignine.

Tableau 3. Composition physico-chimique indicative des margines (Mekki et al., 2008).

Tableau 4. Composition des composts de fumiers, en g/kg de produit brut

Tableau 5. Caractéristiques des substances humiques (Stevenson et Cole,1999 in Eyheraguebel , 2004

Tableau 6. Dispositif du compostage.

Tableau 7. La fraction granulométrique des andains à T100 jours

Tableau 8. Valeurs du potassium et du phosphore.

Tableau 9. Les résultats d'absorption de la bande 465nm et 650nm.

Tableau10. Evolution des substances humiques

Tableau11. Les principales bandes d'absorbance en infrarouge moyen

Liste des acronymes

AFNOR : Association Française de Normalisation.

A : Andain.

ANGED :Agence national de la gestion des déchets

C : carbone.

C.F.P.A : Centre de Formation Professional et d'Apprentissages.

C/N : rapport teneur en carbone sur teneur en Azote.

C-à-d. : c'est-à-dire**.**

CE : conductivité électrique.

cm : centimètre.

CO_2 : Dioxyde de carbone.

D.S.A : Direction des Services Agricole.

Da : densité apparente.

Fig : figure.

g: gramme.

H% : pourcentage d'humidité.

h: heure.

I.T.M.A.S : Institut de technologie de montagne agricole spécialisé.

K : potassium.

Kg : Kilogramme.

l : litre.

m : mètre.

M.O : Matière Organique.

m^3 : mètre cube.

ml : millilitre.

MS : matière sèche.

mS/m :milli siemens par mètre**.**

N :azote.

O_2 : Oxygène.

P : phosphore.

pH : potentiel Hydrogène.

S : siemens.

T : température.

TS : température de la serre

Sommaire

Introduction……..……1

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

I. Importance de la matière organique……3

II. Présentation générale du compostage……3

II.1.But du compostage…….4

II.2.Définition et principe ……4

II.3. Les avantages du compostage 4

II.4. Inconvénients et limites du compostage……..7

II.5. Phases de compostage ……...……7

II.6. Phases de compostage……..…7

1.La phase mésophile……7

2.La phase thermophile ……..7

3.La phase de refroidissement…….7

4.La phase de maturation ……..…….8

II.7. Les paramètres physico-chimiques du compostage……..8

1. Le taux d'oxygène……..…9

2. Granulométrie……..10

3. La température ……10

4. Sources des nutriments……...10

II.8.Les techniques du compostage…….11

II.9. Effets du compost sur le sol ……12

1. Physiques……12

2- Chimiques …….12

3. Biologiques…….12

III. Les matières compostables…….13

IV. Utilité de filière de compostage en Algérie……...14

V .LA Compostions des différents constituant utilisés lors du compostage ……..15

V .1composition chimique de grignon d'olive ……15

V.2. Composition chimique des margines……..16

V.3. Composition des boues résiduaires …….16

V.4. Composition du Fumier……..17

VI. Compostage et processus d'humification…….17

VII. Evolution de la matière organique et formation des substances humiques..17

VII.1. Structure des substances humiques……18

VII.2. Composition des substances humiques……..18

VII.3. Mécanismes et voies de formation des substances humiques……..21

VII.4.Structure des substances humiques…… ..21

VIII. Evaluation de la maturité du compost…… ..22

- **Méthodes empiriques ……..23**
- **Méthodes physiques…….23**
- **Méthodes chimiques ……**23
- **Méthodes biologiques …….24**

X. Caractéristiques spectroscopique du compost…….25

X.1. La spectroscopie UV- visible ……..25

X.2. La spectroscopie infrarouge (IR)……25

X.3. Microscope électronique a balayage …….25

Chapitre 2 : matériels et méthodes

I. Caractérisation et localisation du site expérimental…….26

II. Substrats utilisés pour le compostage……...27

III. Essais de compostage……27

IV.Méthodes d'échantillonnage…….30

V. Caractérisation physique……..31

V.1.Suivi de la température…….……..31

V.2.Analyse granulométrique……....32

VI. Caractérisations chimiques …….33

VI. Mesure du pH……33

VI.3.Extraction et mesure des acides humiques et fulviques …….33

VI.4.Phosphore assimilable ……...34

VI.5.Potassium assimilable…….34

VII. Caractérisations spectroscopiques ……..35

VII.1.Analyse à l'UV-Visible……...35

VII.2.Analyse par spectroscopie d'absorption infrarouge (FTIR)……..35

VII.3.Caractérisation au microscope électronique à balayage (MEB)……36

Chapitre 3 ; Résultats et Discussions

I. Evolution de la température……37

II. La granulométrie…….38

III. Evolution du pH…….39

IV. Évolution de la matière organique ……...40

V. Eléments nutritifs …….....41

1. Phosphore……..42

1. Le potassium……...42

VI.L'analyse UV- visible : rapport de Welt (E4 / E6)…….....44

VII. Analyse des substances humiques et fulviques ……..47

VIII. Caractérisation des composts par MEB……47

VIII.1. Interprétation des photos MEB des constituants bruts……47

1. Grignon ……..47

2. La margine …….47

3. Les boues d'épuration……...47

4. Fumier de volaille…… 48

VIII.2.Caractérisation de la morphologie des composts ……49

VIIII. Analyse à l'Infrarouge à transformé de fourrier (IRTF)…….51

VIIII. 1.Composition et évolution des andains A1, A2, A3 et A4……..51

Introduction

Le problème de l'appauvrissement des sols, suite à une agriculture trop intensive ou inappropriée (labours, engrais, irrigation …) s'observe actuellement sur les sols agricoles (Bongiovanni et Lobartini, 2006). Il en résulte une perte de matière organique stable dans les sols et par conséquent une diminution des réserves nutritives, une diminution de la stabilité structurale des sols, une diminution de la rétention des polluants (organiques ou minéraux) cela et contribue également à l'augmentation du risque d'érosion éolienne (Le Bissonnais, 1996) et à de la sensibilité des sols à la battance. La restauration de la fertilité des sols passe donc par la préservation de la matière organique restante et par des apports d'amendements organiques. D'un autre côté, divers pays sont confrontés à une augmentation importante des déchets. Or, une grande partie de ces déchets est de nature organique, donc compostable.

L'Algérie possède peu d'amendements organiques (Anonyme 1). Il s'agirait donc de trouver des gisements de matière organique. Deux sources majeures apparaissent : le grignon d'olives et les margines qui sont rejetés en grandes quantités dans la nature provoquant des effets nuisibles et nocifs pour l'environnement.

La recherche de nouvelles techniques d'élimination et de recyclage des déchets est donc indispensable. Le compostage est devenu l'une des pratiques biologiques les plus répandues de nos jours. C'est un procédé de traitement intensif des déchets organiques qui met en œuvre, en les optimisant, des processus biologiques aérobies de dégradation et de stabilisation des matières organiques complexes (Gobat et al., 1998 ; Castaldi et al., 2007). C'est aussi une technique très avantageuse par son faible coût et son impact mesuré sur l'environnement.

L'action bénéfique du compost sur la productivité des plantes a été largement démontrée (Lee et al., 2004). Cet effet est dû, d'une part, à l'amélioration des qualités physiques (structure, porosité) et chimiques teneur en azote, en carbone et en oligoéléments des sols (Esse et al., 2001 ; Castaldi et al., 2004) d'autre part à la présence dans ces composts d'une microflore abondante et diversifiée (Gomez et al., 2006). Le compost permet donc de combler le déficit des sols surexploités et d'en améliorer la fertilité à long terme.

L'objet de ce travail consiste en un suivi temporel des transformations biochimiques d'andains constitué de grignons d'olive, margine, des boues de station d'épuration, fumier de volaille et déchets de marché par les différentes méthodes d'analyses physico-chimiques et spectroscopiques. Les hypothèses suivantes ont été testées : i) l'irrigation avec margine améliore

le processus de compostage, ii) les méthodes de caractérisation par spectroscopie pourrait constituer un bon outil de suivi de l'évolution d'un compost.

Le présent travail s'articule autour de trois chapitres :

- Chapitre I est consacré à la synthèse bibliographique ;

- Chapitre II Matériels et méthodes ;

- Chapitre III Résultats et discussion ensuite une Conclusion qui vient clore ce travail.

I. Importance de la matière organique

La matière organique des sols n'est pas quantitativement le constituant principal des sols, puisqu'elle représente 5 % de la matière présente dans les horizons de surface sous des climats tempérés. Elle joue cependant des rôles importants et variés sur le fonctionnement physique, chimique et biologique des sols, et peut à ce titre être qualifiée de multifonctionnelle (Viaud et al., 2010). Ainsi, parmi les rôles les plus importants on peut

citer :

Sa capacité à structurer et induire de la porosité ;

Son rôle dans la rétention de l'eau ;

Ses capacités de stimulation de l'activité biologique ;

Sa capacité à être dégradée et minéralisée fournissant ainsi des éléments minéraux bio disponibles ;

Son rôle déterminant sur la capacité d'échange cationique ;

Son potentiel de complexassions des éléments traces métalliques (Gérald et Schaub 2011).

La matière organique évolue dans le sol : elle y subit un cycle de transformation qui correspond à un phénomène fondamental assurant un recyclage des éléments constitutifs de la matière vivante dans les sols. La dégradation de la matière organique, qui aboutit à la formation d'humus, se compose de deux phases :

une phase de minéralisation : dégradation par les micro-organismes du sol en éléments minéraux simples, en solution ou fixés sur le complexe argilo-humique,

une phase d'humification : réorganisation des éléments en composés humiques plus stables.

L'humus peut donc être défini comme étant un composé final de la dégradation de la matière organique : c'est un composé organique stable, à noyaux aromatiques, riche en radicaux libres, très important du point de vue agronomique car il possède de nombreuses actions sur les sols cultivés et également sur la physiologie des végétaux :

- réduction de la consommation d'eau par unité de matière sèche produite.

- accélération des processus respiratoires et indirectement de la photosynthèse,

- influences favorables sur les métabolismes internes de l'azote, du phosphore et des glucides,

- actions stimulante sur la formation et la croissance des racines et des tiges,

- augmentation globale de la santé des plantes par augmentation de leur résistance aux différentes agressions.

Or chaque année, le sol perd de l'humus à cause de la minéralisation. Il va donc être nécessaire de compenser ce phénomène en apportant de la matière organique. Il faut noter que ces pertes sont fonction du type de sol (teneur en argile et calcaire notamment) et du climat (humide, sec ou froid). Les apports compensatoires de matière organique peuvent être de différentes natures : on peut utiliser des amendements organiques, les résidus de récolte, l'enherbement temporaire, les feuilles et sarments d'arbres ou de vigne, les déjections animales et **le compost.**

Compte tenu de l'importance de la fraction organique contenue dans les déchets et de leur humidité, et le grand besoin des sols pauvres et dégradés en matière organique, le compostage constitue à priori une solution adéquate et d'un intérêt majeur pour les pays en émergeants.

II. Présentation générale du compostage

II.2.But du compostage

Le compostage présente un double objectif :

- ✓ Agricole : produire un amendement organique stable appliqué au sol sans impact négatif sur les cultures, et permet donc de combler le déficit des sols surexploités et d'améliorer la fertilité à long terme.

Environnemental : réduire les nuisances des déchets en contribuant au maintien de la qualité de l'environnement (Tahraoui Douma, 2013).

II.3.Définition et principe :

Le compostage est une pratique ancestrale. Le mot compost est un dérivé du mot latin « compositus » qui signifie composé. Scientifiquement, le compostage est un processus de décomposition et de synthèse. Il est souvent défini comme une bio-oxydation des matières organiques présentes provoquées par des micro-organismes indigènes en conditions contrôlées. En effet, dès que les conditions physico-chimiques (aération, humidité, température) le

permettent, les micro-organismes constituent une flore complexe (bactéries, levures, champignons, etc.), qui se met en activité rapidement. Cette activité se traduit par une dégradation microbienne aérobie de la matière organique solide générant une chaleur intense responsable de la phase thermophile (élévation de la température des déchets à 70°C en moyenne) (Mustin, 1987).La montée de la température et la compétition microbienne permettent une hygiénisation du produit composté par une destruction des micro-organismes pathogènes et exercent une sélection sur la diversité microbiologique du compostage (Mustin, 1987).

Selon (Caron, 2004), le compostage permet donc de :

- diminuer le volume et la masse bruts initiaux de déchets,
- augmenter la teneur en matière sèche par une évaporation d'eau,
- supprimer les mauvaises odeurs,
- hygiéniser le produit final par une destruction de micro-organismes pathogènes,
- obtenir un résidu stable, riche en composés humiques, sels minéraux et microorganismes non pathogènes.

En conclusion on peut dire que le compost est le résultat d'un processus de transformation des déchets en produit stable et basé sur le principe schématisé par la figure1.

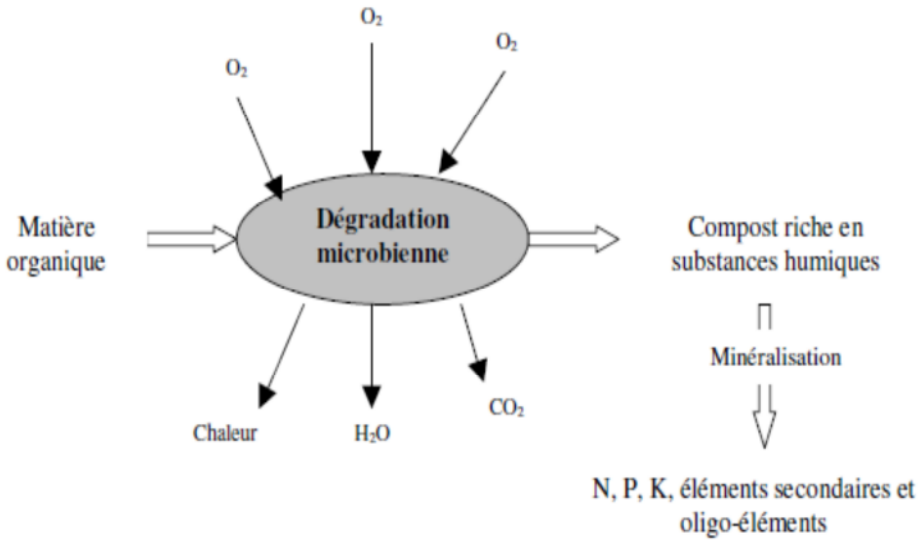


Figure 1. Schéma simplifié du processus de compostage (aboulam2005).

II.4. Les avantages du compostage

Selon Blazy, 2014 ; Amir et al., 2010 et Jouraiphy et al., 2007, le compostage présente beaucoup d'avantage, Les principaux sont:

- ✓ Procédé biotechnologique, utilisant les potentialités microbiennes, pour transformer les substrats organiques, en un produit (appelé compost) stable et mature et exempt de toute phytotoxicité;
- ✓ Il possède un effet à long terme dans le sol comparable aux fertilisants chimiques. Le compost possède d'autres propriétés comme la diminution de l'érosion des sols, l'augmentation de la capacité de rétention en eau ou l'amélioration des échanges gazeux;
- ✓ Il enrichie et maintient la biodiversité des populations microbiennes des sols ;
- ✓ Le compostage permet d'obtenir un amendement relativement assaini, applicable à l'ensemble des cultures, qui accroît le taux d'humus du sol et stimule la vie microbienne du sol ;
- ✓ La gestion des matières organiques par cette voie offre plusieurs avantages ;
- ✓ il permet de contrôler les pertes en éléments fertilisants. Il n'est pas possible de supprimer totalement ces pertes qui restent inévitables, en azote gazeux notamment lors de la constitution du tas et des retournements, mais elles sont bien moindres que celles qui se font lors d'un épandage de fumier frais.
- ✓ il assure une désodorisation des effluents d'élevage. En effet, les micro-organismes du compostage recyclent l'azote ammoniacal responsable des odeurs indésirables ;
- ✓ il permet la destruction de certains germes pathogènes et de certaines graines d'adventices. C'est la combinaison de la montée en température et de facteurs biochimiques de la dégradation qui assure cette destruction.
- ✓ C'est un avantage très important pour l'agriculture biologique ;Elle diminue les quantités de matière organique à stocker et à épandre. La diminution de masse est de 30 à 60 % en moins de 3 mois ;
- ✓ il permet une délocalisation des épandages dans le temps et dans l'espace, c'est-à-dire une meilleure adéquation du calendrier d'épandage à celui des végétaux et de leurs besoins, et aux contraintes pédoclimatiques ;
- ✓ Enfin contrairement aux fumiers et lisiers, le compost, épandu sur prairies, ne risque pas de nuire à l'appétence de l'herbe puisqu'il n'est plus porteur d'odeurs indésirables.

II.5. Inconvénients et limites du compostage

- ✓ Certains parasites et pathogènes ne sont pas détruits ;
- ✓ Les éléments traces métalliques (métaux lourds) présents dans les matériaux de départ ne sont pas éliminés par le compostage, au contraire : ils se concentrent à cause de la réduction du volume.
- ✓ Composter convenablement réclame un minimum d'organisation et de disponibilité. Mettre en œuvre un chantier de compostage nécessite de la place, du temps pour le suivi (surveiller que le compostage se déroule bien) et les interventions (retourner l'andain, le couvrir, l'arroser), d'avoir le bon matériel au bon moment (tracteur, chargeur, épandeur, retourneur, …). Ces contraintes peuvent parfois être importantes ;
- ✓ L'azote est stabilisé dans le compost. Cet élément est alors moins disponible pour les cultures et sa libération dépend beaucoup du climat et du type de sol. L'azote est stabilisé mais il est toujours présent dans le compost. (Gérald et Schaub 2011).

II.6. Phases de compostage

L'évolution de la température au cours du compostage permet de distinguer 4 phases (Figure 2) liées à l'activité des différentes populations microbiennes (Francou, 2003) :

1. **La phase mésophile** initialise le procédé : la matière organique facilement biodégradable est rapidement décomposée par les microorganismes qui colonisent le milieu. Cette forte activité microbienne engendre une hausse de la température, un dégagement de dioxyde de carbone (CO2) et une consommation de dioxygène (O_2) importants (Albrecht, 2007).
2. **La phase thermophile** suit lorsque les températures se stabilisent au dessus de 50°C. La matière organique est fortement dégradée et une part importante de l'eau est évaporée.
3. **La phase de refroidissement** se produit lorsque la diminution de la matière organique facilement biodégradable entraîne un ralentissement de l'activité microbienne. Elle prend fin au retour à la température ambiante. Les micro-organismes dégradent les constituants non dégradés en phase thermophile (Lashermes, 2010).

4. La phase de maturation est la dernière phase qui dure jusqu'à l'utilisation du compost. Les processus d'humification dominent et les composés résistants également lentement dégradés.

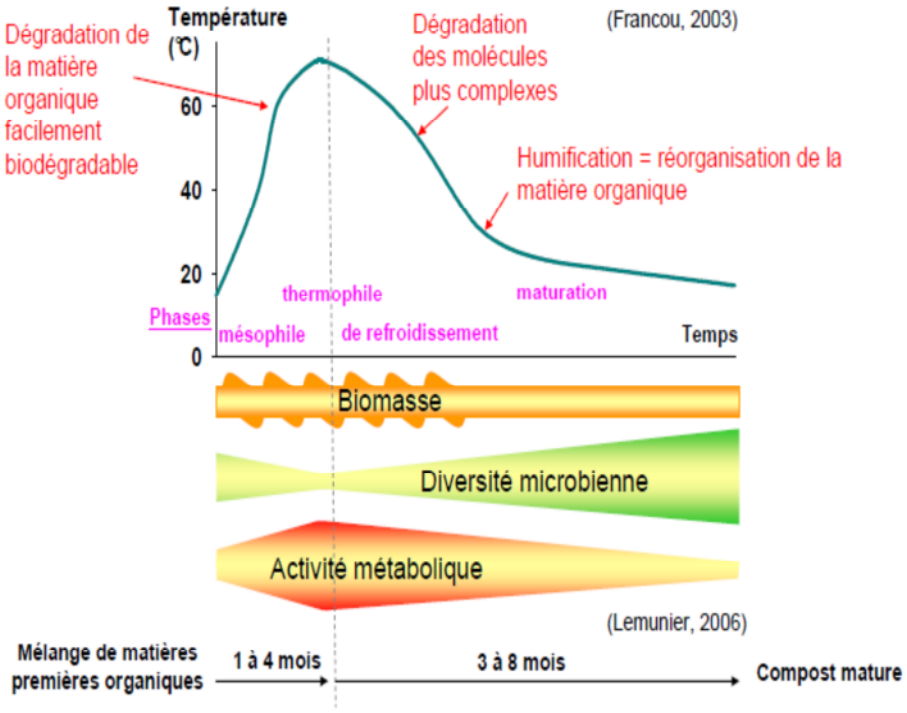


Figure 2. Courbe d'évolution théorique de la température et des caractéristiques de la microflore et de son activité au cours du compostage. (Francou, 2003) in Lashermes, 2010.

II.7. Les paramètres physico-chimiques du compostage

Les conditions pour un bon développement des activités micro- biologiques doivent être optimisées et leur suivi est indispensable pour évaluer la bonne conduite du compostage et l'obtention d'un produit final de bonne qualité. Ces paramètres majeurs interviennent en même temps au cours du compostage et non pas séparément l'oxygénation, l'humidité, la température, la quantité et l'accessibilité des nutriments (Mustin, 1987 ; Haug, 1993) (Figure3).

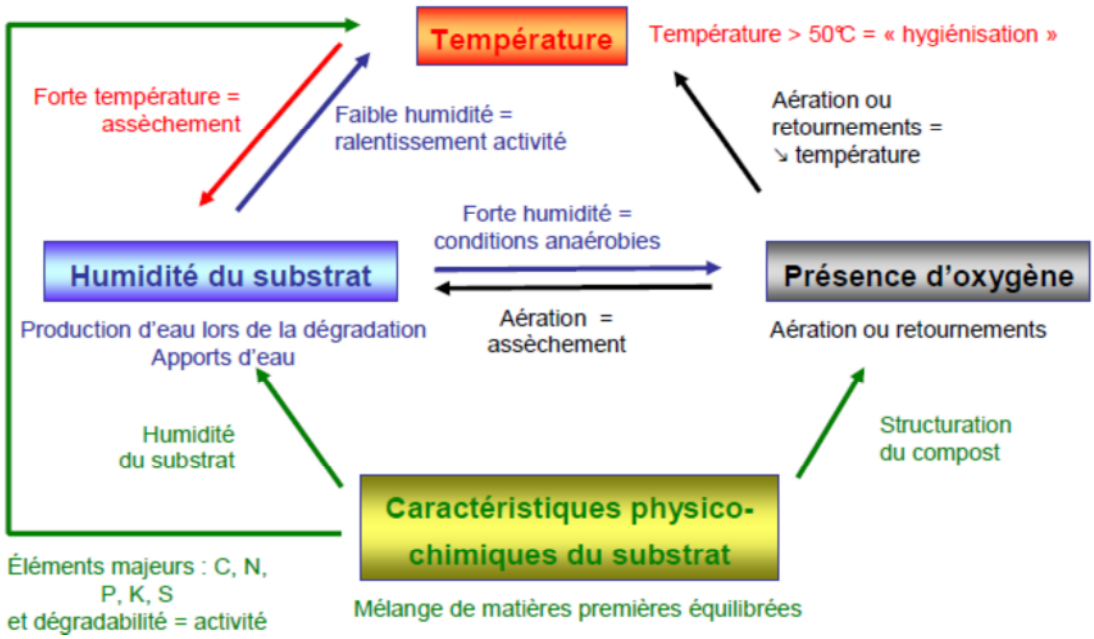


Figure 3. Représentations schématiques de l'influence des différents paramètres physico-chimiques du compostage.

1. Le taux d'oxygène

L'oxygène est utilisé par les micro-organismes comme un récepteur terminal d'électrons lors de la respiration aérobie et de l'oxydation des substances organiques, pour un bon déroulement de compostage et afin de maintenir les conditions aérobies nécessaires à une décomposition rapide et inodore. Un taux d'oxygène lacunaire doit être ajusté pour le fonctionnement des micro-organismes. Selon Tomati et al. (1995) in El Fels 2014, la présence d'oxygène à un seuil minimal de l'ordre de 5% d'O_2 est indispensable au bon déroulement du compostage. Pour se faire, la porosité des substrats et la taille des andains doivent être contrôlées (figure 4).

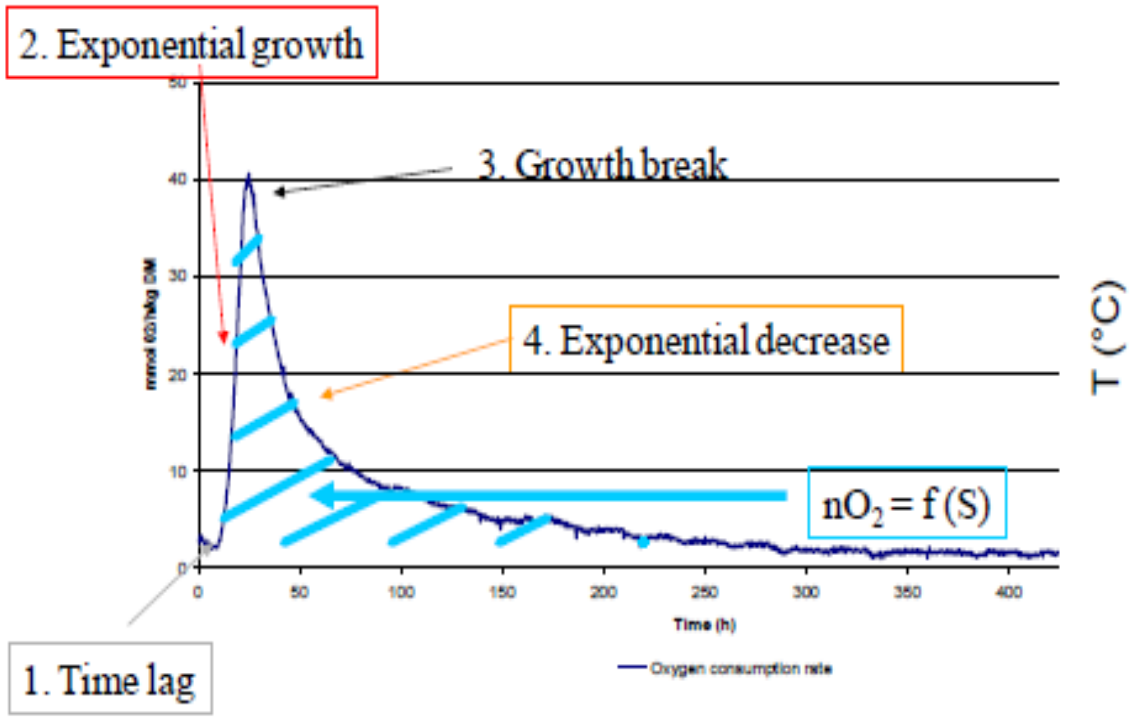


Figure 4. Cinétique de consommation (non limité) d'O_2 et profil de température de la matière en compostage (Vincent blazy 2014).

2. 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. Au contraire, 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 (KOLEDZI, 2011).

3. La température

Son évolution dans le compost résulte de la production de chaleur par l'activité des microorganismes qui dépend de la biodégradabilité du substrat et de sa composition en nutriments (Mustin, 1987). Elle est également fonction des pertes de chaleur par échange avec le milieu extérieur (Petiot et de Guardia, 2004). Celles-ci sont d'autant plus faibles que le rapport volume/surface est grand (Leclerc, 2001). Cependant, des températures trop élevées peuvent entraîner un dessèchement excessif du compost et provoquer un ralentissement de l'activité des microorganismes. La montée en température, notamment lors de la phase thermophile, permet un assainissement partiel par destruction des germes pathogènes ou « hygiènisation » (Pourcher et al., 2005).

4. Sources des nutriments

Les substrats en compostage sont les uniques sources de nutriments pour les microorganismes.

Suivant leur composition, les activités microbiennes s'ajustent sur les facteurs limitant. Une composition équilibrée du mélange à composter est particulièrement importante pour les éléments majeurs : C, N, P, K et S (Mustin, 1987). D'une façon générale, les rapports en éléments majeurs, et plus particulièrement le rapport C/N, est utilisé pour définir la qualité d'un substrat. Un C/N trop élevé indique une carence en N par rapport à un excès de C entraînant un ralentissement du processus de compostage, alors qu'un C/N trop faible indique un excès de N susceptible d'entraîner des pertes importantes en N par volatilisation ou par lixiviation des nitrates (Barrington et al., 2002). Il semble que des C/N compris entre 25 et 35 permettent un compostage optimal (Haug, 1993). Néanmoins, plus que les teneurs totales en C et en N, la structure biochimique des molécules influence la vitesse de dégradation de la matière organique (Francou et al., 2008). Un composé riche en sucres et en hémicellulose sera facilement biodégradable, alors qu'un composé riche en cellulose et lignine sera plus difficilement biodégradable car il est composé de macromolécules fortement polymérisées et difficiles à décomposer (Morel et al., 1986).

II.8.Les techniques du compostage

Les techniques de compostage ont évolué avec l'évolution quantitative et qualitative des gisements à composter et la volonté de réduction des inconvénients engendrés (maîtrise des odeurs, contrainte de place, rapidité de l'opération). Ces techniques peuvent être classées en quatre catégories (tableau 1) :

- le compostage en andains à l'air libre ou sous hall, avec une aération naturelle ou forcée,
- le compostage en box (ouverts ou couverts) ou en silo ;
- le compostage en conteneurs ou en tunnel ;
- le compostage en tube rotatif, qui peut servir aussi à un prétraitement avant mise en andains (aboulam2005).

II.9. Effets du compost sur le sol

Le compostage est une technique très ancienne visant à valoriser les déchets organiques pour les réutiliser sous forme d'humus. Cette valorisation permet de boucler les cycles naturels et d'améliorer la productivité du sol. L'épandage d'un amendement organique laisse espérer des effets positifs sur le sol d'après (Lopez, 2002).

1.Physiques

- la couleur foncée de l'humus modifie le comportement thermique du sol et le rend plus absorbant à la lumière, ce qui conditionne la croissance végétale ;
- la stabilité structurale et une meilleure porosité facilitent la croissance des racines ainsi que le développement de la vie biologique (augmentation de l'activité bactérienne des sols) ;
- la meilleure rétention en eau du sol permet de limiter l'érosion due au ruissellement ; l'allégement des terres argileuses et l'amélioration du drainage (Paglial et al., 2004)

2-Chimiques

- une meilleure régulation des stocks en éléments nutritifs pour la plante ;
-un pouvoir tampon élevé ;
- une augmentation du pouvoir de rétention du sol vis-à-vis des ions minéraux ou organiques ;
- une action énergétique : (oxydation de C et de H) ;
- un arrêt de l'acidification des sols.(Bolan et al., 2003).

3.Biologiques

- une source de nourriture pour la faune et la flore du sol, (apport d'humus) ;
- une action nutritive progressive : minéralisation de l'azote, libération de phosphore et de soufre.

L'ensemble de ces points implique de façon indirecte une hausse du rendement d'un sol. En effet, on constate que, mélangé à des engrais chimiques, le compost fournit aux plantes des nutriments pendant une période plus longue que si l'engrais avait été utilisé seul. Son utilisation présente également d'autres intérêts s'il s'agit d'un produit sans risque sanitaire ; il permet une économie d'engrais sans diminution de rendement et une absence d'odeur lors de l'épandage.

L'apport de compost permet donc essentiellement de corriger le déficit des sols en matière organique. Ce problème se rencontre sur beaucoup de terres agricoles ne réapprovisionnant pas leurs stocks et où seuls des engrais chimiques nécessaires au développement de la plante sont apportés. C'est l'action obtenue et mesurée, sur telle ou telle culture, qui conditionne l'intérêt et l'emploi du produit (Lopez, 2002).

III. Les matières compostables

Le compostage s'adresse à toutes les matières organiques plus au moins fermentescibles. Le souci d'obtenir un compost sain de bonne qualité va évidemment conditionner le choix des matériaux de départ. Le tri à la source prend donc toute son importance en tant qu'étape préliminaire au compostage de déchets hétérogènes.

En théorie, tout déchet organique issu des activités industrielles, agricoles et urbaines peut être traité biologiquement par compostage, on retrouve le plus souvent :

- Les ordures ménagères brutes non triées collectées après tri des emballages (récipients en plastique ou carton, ou boîtes de conserve métalliques). C'est avec ce type de déchets que fonctionnent les anciennes usines de tri-compostage ;

- La fraction fermentescible des ordures ménagères (ou bio déchets des ménages) collectées sélectivement et triées à la source par les ménages (déchets alimentaires, papiers et cartons, déchets verts des ménages ou déchets de jardin). La nouvelle génération d'usines de compostage utilise ce gisement beaucoup plus humide que le précédent et qui est généralement co-composté avec des déchets verts.

- Les déchets verts (DV) de jardins municipaux ou privés ou d'entreprises liées à l'entretien d'espaces verts. Ils sont constitués de tontes de gazon, tailles de haies, de branches d'élagage, de feuilles mortes et de fleurs mises au rebut ;

- Les boues de stations d'épuration (STEP) d'eaux usées urbaines ou industrielles. En général, on mélange à ces boues un agent structurant tel que des copeaux de bois ou des déchets végétaux dans le but d'obtenir une structure adéquate et une porosité suffisante du matériel mis à composter ;

- Les déchets agricoles (fumiers, excréments d'animaux, …).

IV. Utilité de filière de compostage en Algérie

De part l'évolution démographique, et industrielle, les produits et les déchets qui en résultent deviennent de plus en plus nombreux, diversifiés et complexes. Il faut alors identifier puis intégrer une filière de traitement la mieux adaptée et la plus pérenne possible. En Algérie, la production des déchets est diversifiée ; majoritairement déchets ménagers, déchets verts, les déchets des stations d'épurations et les sous produits oléicoles (grignons et margines), ces derniers se trouve surtout en Kabylie (Tizi-Ouzou, Bouira, Bejaia) (Figure5).

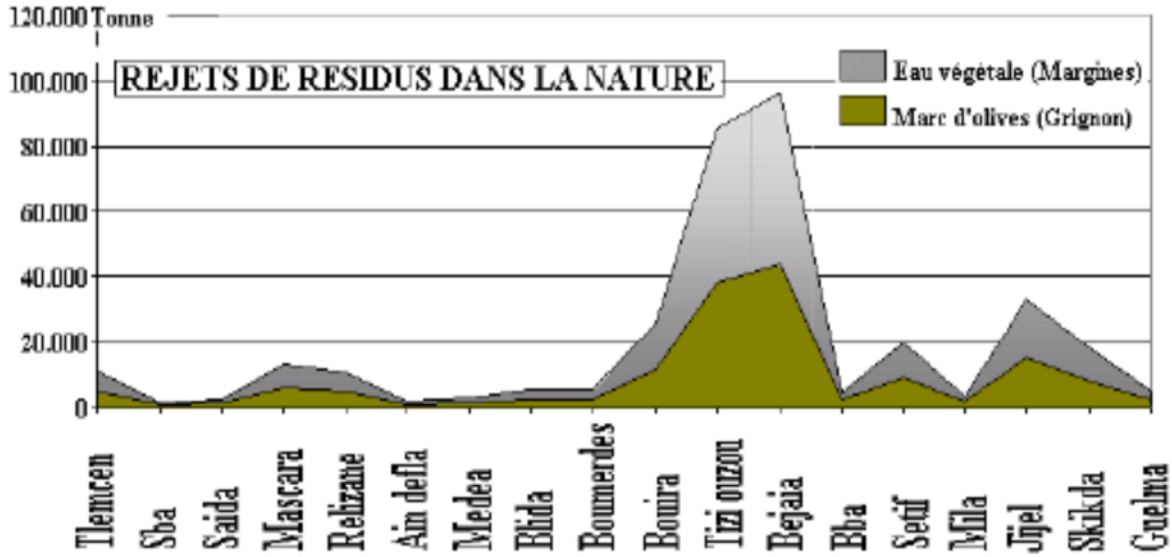


Figure 5. Quantité des résidus produits pour une production de 40000 T d'huile (Moussouni, non daté).

L'Algérie a l'avantage de posséder une multitude de ressources de matières organiques facilement exploitables en agriculture notamment par le procédé de compostage ; ce sont les sous-produits agro-industriels en grandes quantités et disponibles durant presque toute l'année.

On estime que pour 15 litres d'huile produite correspondent à 40 kilos de grignons et 70 kilos de margines, soit 110 kilos de déchets", relève-t-on. Actuellement, plus d'une centaine de milliers de tonnes de ces résidus sont déversés dans la nature, entraînant une pollution considérable, en particulier dans la région Centre d'Algérie, qui concentre environ 78% des huileries du pays (données, 2005 de ANGED ,2014), 58% de ces huileries étant de type traditionnel. « Les conséquences environnementales de ces rejets sont très importantes». évoquant, entre autres, la destruction des poissons et de la vie aquatique au sens large dans les rivières et les oueds de la région, la détérioration considérable de la qualité de l'eau des nappes phréatiques avec des eaux impropres à la consommation et des terres rendues incultes aux abords des oueds du fait d'une salinité trop importante**.**

V. La composition des différents constituants utilisés lors du compostage

V.1. Composition chimique de grignons d'olives

La composition chimique de grignons varie en fonction des variétés d'olives triturées (Nefzaoui, 1984*)*, le tableau 1 et 2 donne une indication sur cette composition.

Tableau 1. Composition chimique indicative de grignons d'olive (Nefzaoui, 1984).

Matière Sèche (MS)	Matières Minérales (MM)	Matières Azotées Totales (MAT)	Cellulose brute (CB)	Matières Grasses (MG)
75-80%	3-5%	5-10%	35-50%	8-15%

Plus simplement, on peut considérer que le grignon est composé par une fraction riche en lignine (voir annexe 1) provenant des fragments de noyaux, et l'autre renfermant principalement des glucides, comme la cellulose et l'hémicellulose , dans une moindre mesure, des protéines et de l'huile résiduelle qui dépend de la technique d'extraction (Nefzaoui, 1984).

Tableau 2. La composition de grignons d'olives en hémicellulose, cellulose et lignine.

Auteurs	Hemicellulose (%)	Cellulose (%)	Lignine (%)
Demirbas, 2004	23,6	24	48,4
Jauhiainen *et al.*,2005	44		45
Garcia-Ibanez et *al.*, 2006	21,5	24,3	38

V.2. Composition chimique des margines

La composition chimique des margines est assez variable. Elle dépend de nombreux facteurs tels que la variété et la maturité des olives, les conditions édaphiques (les caractéristiques du sol) et climatiques, la méthode de culture et en particulier le mode d'extraction de l'huile (Paraskeva et Diamadopoulons, 2006).

Les margines ont une couleur brune à brune-rougeâtre, d'aspect trouble. Ces effluents ont une forte charge saline (des sels de potassium (17,10 g/l) et des phosphates) et sont acides (pH de 4,5 à 5), riches en matières organiques et en polyphénols peu biodégradables. Ces eaux sont caractérisées par une conductivité de l'ordre de 10 mS.cm-1 due surtout aux ions potassium, chlorure, calcium et magnésium. La demande chimique en oxygène (DCO) peut varier de 50 à 220 g. L-1. Le tableau 1.3 présente un exemple de composition physicochimique des margines utilisés par Mekki *et al.* (2008) (tableau 3).

Tableau 3. Composition physico-chimique indicative des margines (Mekki et al., 2008).

Paramètres	pH	Densité	Conductivité électrique ($mS.cm^{-1}$)	Humidité (%)	DCO ($g.L^{-1}$)	Matière Organique (%)	Carbone organique Total ($g.L^{-1}$)	Phénol ($g.L^{-1}$)	Matière Minérale ($g.L^{-1}$)
Margines	5,0	1,04	10,50	94,00	120,00	92,42	36,60	3,07	15,80

V.3. Composition des boues résiduaires

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période, du mode de traitement et du conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (Jarde et al., 2003 ; Singh *et* al., 2004). Les boues résiduaires représentent une matière première

composée de différents éléments : matière organique : éléments fertilisants N et P, d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes.

La matière organique des boues est constituée de matières éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation) (Ademe, 2001 ; Jarde et al., 2003).

V.4. Composition du Fumier

Les composts de fumiers disposent d'une grande variabilité de composition. En effet, les facteurs de variations sont les suivants :

- Les espèces animales (bovins, chevaux, moutons, porcs, volailles)
- Le type de stabulation (litière accumulée, raclée,…)
- L'âge des animaux
- L'alimentation des animaux

Tableau 4. Composition des composts de fumiers, en g/kg de produit brut

	M.S.	M.O.	N total	P2O5	K2O
Bovins[1]	330	210	8	5	14
Ovins	360	260	11,5	7	23
Porcins[2]	317	-	7,6	10,2	14,7
Porcins[3]	327	-	11	18,3	20,8
Volailles[4]	780	577	24,9	28	25
Déchets verts	590	270	8	4	8

(1) Moyenne de 18 composts à 2 mois, aérations à J8 et J15 (2) De litière accumulées ; (3) De litière raclées ; (4) Fumier de poulets composté 6 mois.

VI. Compostage et processus d'humification

Le compostage est un procédé biologique transformant les matières organiques des déchets en matière organique humifiée. L'humification de la matière organique contribue à la diminution de la biodégradabilité de la matière organique des composts, souvent appelée stabilisation.

La teneur en matières humiques et la structure de celles-ci contribuent à l'appréciation de la qualité agronomique d'un compost (Spaccini et al., 2002).

VII. Evolution de la matière organique et formation des substances humiques

D'une façon générale, la matière organique (MO), subit d'abord une décomposition microbienne qui libère les composés simples le plus souvent solubles (Tiquia, 2002). Une partie facilement assimilable (sucres, acides aminés, etc.) subit une minéralisation complète et libère différents composés minéraux solubles ou gazeux. Une autre partie plus résistante ou moins biodégradable telle que la lignine échappe à la minéralisation et après certaines biotransformation sert de matériau de base à l'édification de molécules nouvelles qui deviendront les substances humiques (Kögel-Knabner, 2002).

Dans les études de chimie structurale, la subdivision de la matière organique est simplifiée habituellement en substances non-humiques et structures humiques. Les structures non humiques incluent des structures facilement biodégradables telles les carbohydrates, protéines, lipides, cires, etc. alors que les structures humiques qui constituent la majeure partie de la matière organique constituent une famille chimique complexe.

VII.1. Structure des substances humiques

Le processus d'humification repose sur des mécanismes complexes de dégradation de la matière organique par les microorganismes. Il conduit à la formation de substances brunes par des réactions de polycondensation oxydative, avant la minéralisation totale.

Elles constituent un mélange complexe de molécules organiques hétérogènes, caractérisées par un haut poids moléculaire et une couleur allant du jaune au noir.

L'hétérogénéité des structures humiques présente un grand obstacle à la détermination de leur structure chimique exacte ainsi qu'à celle du processus de leur formation.

Les matières humiques se composent d'une très large variété de noyaux aromatiques (phénoliques ou quinoniques) inter liés ou reliés par des groupements fonctionnels à caractère acide ou par des chaînes périphériques aliphatiques (saccharides, peptides…) et regroupés dans des arrangements moléculaires différents pour former les édifices des substances humiques .

Les substances humiques dont le poids moléculaire varie entre 1 000 et 300 000daltons (Wolf et al., 2001) sont subdivisées généralement en trois fractions suivant leur solubilité dans l'eau ajustée à différentes conditions acido-basiques.

VII.2. Composition des substances humiques

La caractérisation de la matière organique nécessite une étape de fractionnement de ces constituants. Cette séparation repose sur la solubilité des molécules dans l'eau en fonction du pH (Schnitzer and Khan, 1978). Outre les substances humiques hydrosolubles obtenues par simple extraction aqueuse, trois fractions sont classiquement mises en évidence (Mac Carthy et al. 1990): l'humine, fraction de couleur noire, insoluble dans l'eau quelle que soit la valeur de pH, les acides humiques (AH), bruns ou noirs, solubles en milieu basique et insolubles dans le domaine des pH acides (pH<2), les acides fulviques (AF), de couleur jaune, solubles dans l'eau quelle que soit la valeur de pH (Figure 6).

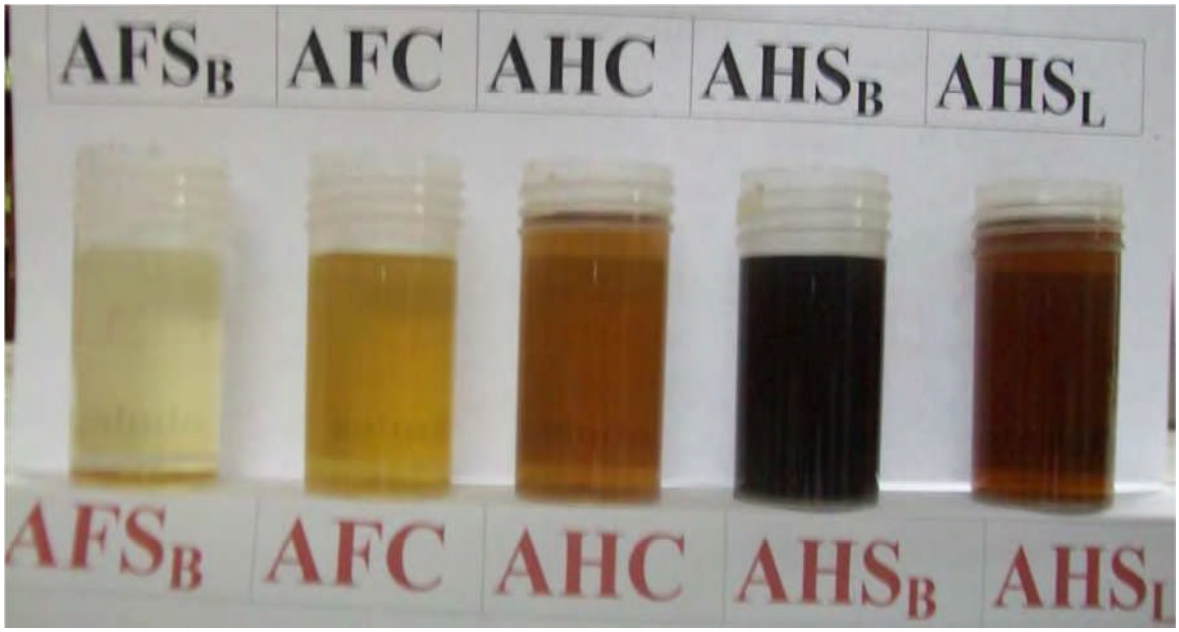


Figure 6. Couleur des substances humiques (koriko et al., 2013).

L'extraction des substances humiques est réalisée à partir de solutions alcalines (soude, pyrophosphate de sodium de 0.1 à 1N). Elle aboutit à la formation d'une phase insoluble, l'humine, et d'une phase soluble. Cette phase soluble présente une couleur brune et son acidification forme deux fractions, un précipité brun floconneux (acides humiques) et un surnageant soluble (acides fulviques). Les acides humiques peuvent être également subdivisés en

fractions plus ou moins condensées : acides hymatomélanique, acides humiques bruns (peu condensés) et acides humiques gris (condensés) (figure 7).

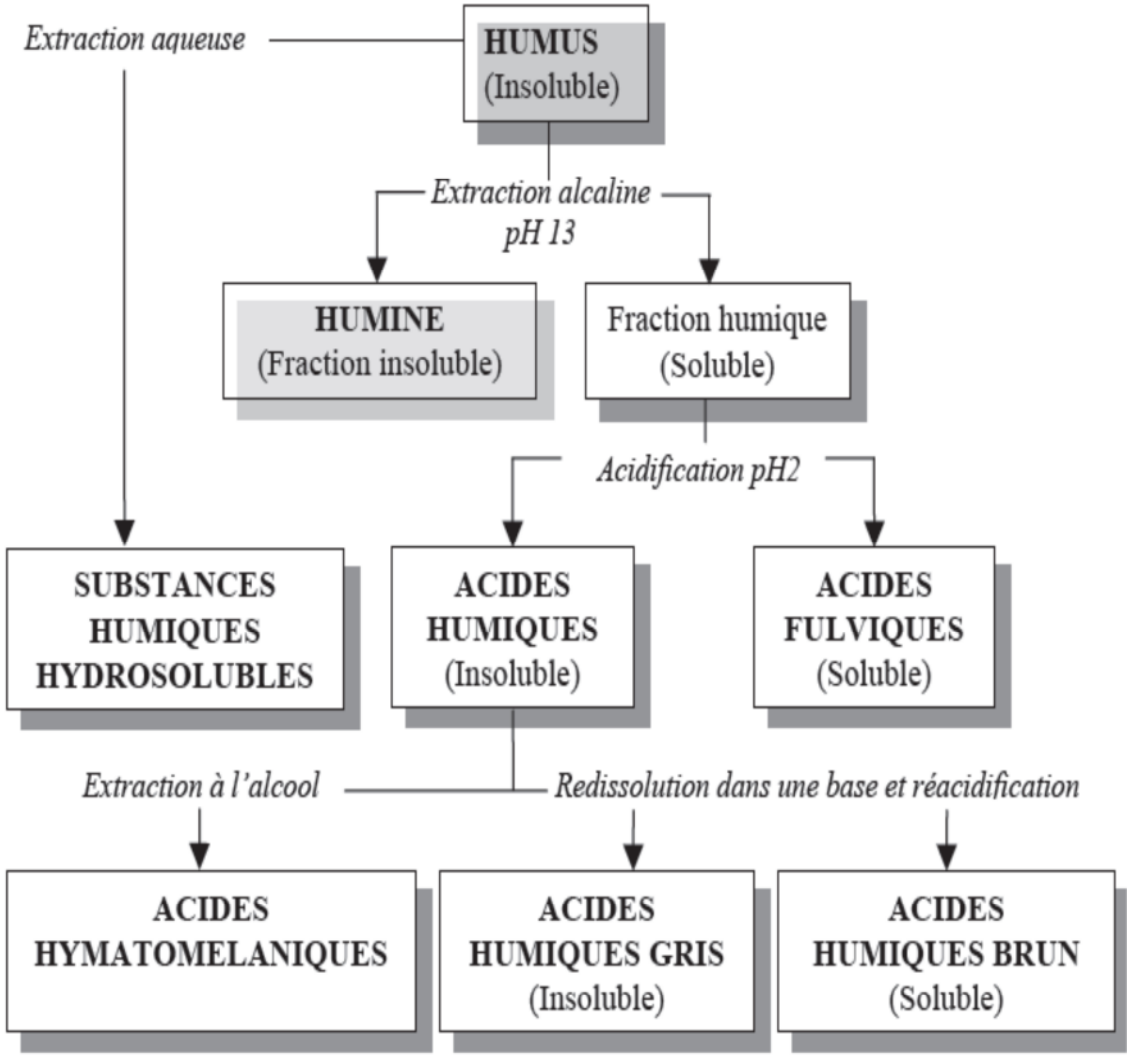


Figure7. Fractionnement des substances humiques (Eyheraguebel , 2004).

Malgré leur hétérogénéité, des similarités peuvent être observées entre les différentes fractions humiques comme la nature des atomes et des fonctions qui les constituent. Les principales différences résident dans la taille des molécules, leur composition en groupements fonctionnels et leur degré de ramifications. Les proportions relatives de ces groupements influent directement sur les caractéristiques des fractions humiques et fulviques (tableau 5).

Tableau 5. Caractéristiques des substances humiques(Stevenson et Cole,1999 in Eyheraguebel , 2004).

	Acides fulviques	Acides humiques
Couleur	Jaune	brun
Degré de polymérisation	faible	élevé
Poids moléculaire (Da)	< 1000	300 000
Carbone	45 %	62 %
Oxygène	48 %	30 %
Acidité échangeable	1400	< 500
Degré de solubilité	élevé	faible

VII.3. Mécanismes et voies de formation des substances humiques

Les substances humiques présentes dans le compost peuvent être considérées comme le produit de la re-synthèse réalisée à partir des composés organiques simples issus de la décomposition microbienne du substrat initial (Wu et Ma, 2002). Durant la phase de stabilisation du processus de compostage, les substances organiques facilement assimilables sont dégradées. La phase de maturation laisse le temps nécessaire à une biotransformation des structures organiques restantes.

VII.4.Structure des substances humiques

La structure des substances humiques reste mal définie et il est difficile de la représenter par une formule moléculaire. La synthèse des substances humiques aboutit à la formation de molécules de tailles, de composition et de configuration différente. Au regard de la complexité et de l'hétérogénéité du mélange humique, il est difficile d'extraire une fraction pure et la détermination de sa structure s'avère peu réalisable. Seule, l'analyse des structures humiques a permis de mettre en évidence une série de groupements présents dans les différentes molécules humiques. Plusieurs modèles ont été proposés ne présentant en générale que des séquences de structure humique. Ils tiennent compte de la nature aromatique et phénolique des molécules et de la présence de groupements carboxyliques, quinones et de dérivés aminés peptidiques.

Parmi ces modèles, le modèle de Stevenson (1982) représente les acides humiques comme des macromolécules aromatiques complexes (figure 8). Les groupes aromatiques sont substitués

par des composés aliphatiques et la liaison de peptides et de sucres aminés explique la présence de l'azote dans ces structures.

La représentation d'Andreux (1994) permet de comparer la structure des acides humiques et fulviques. Elle propose une structure globale des substances humiques avec un noyau central aromatique et sur lequel sont fixées des chaînes latérales aliphatiques ramifiées (figure 8).

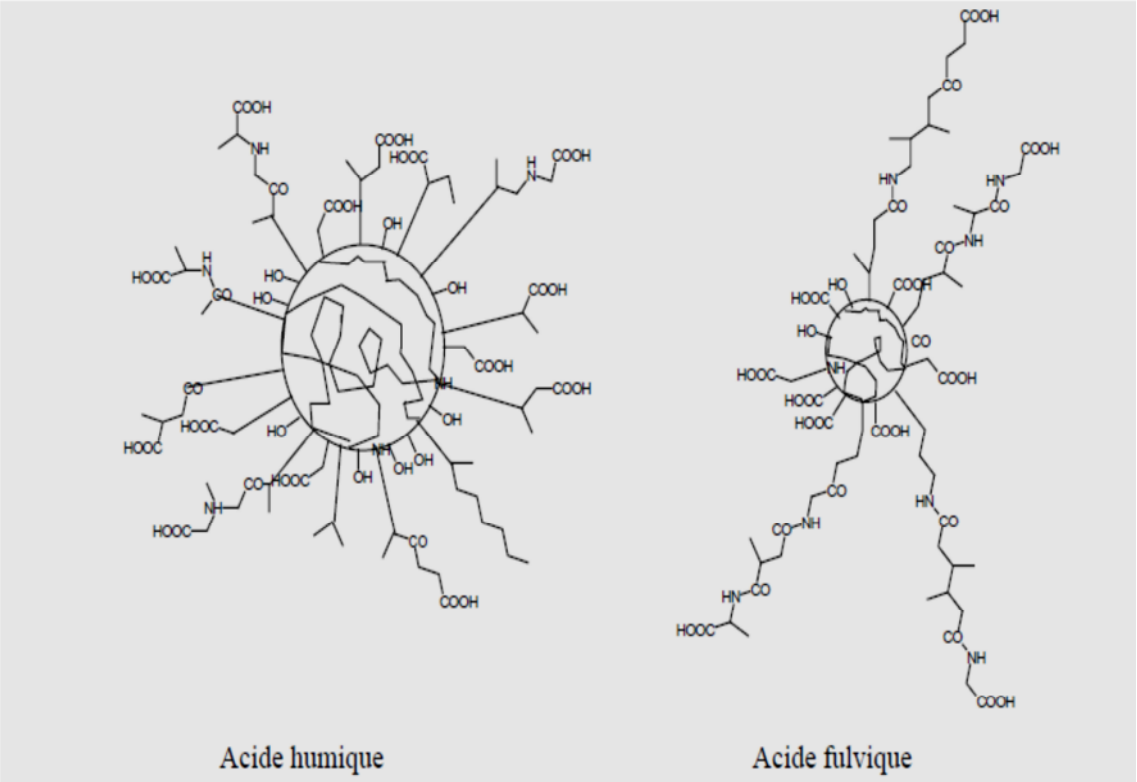


Figure 8 . Modèle de structure des composés humiques (Andreux and Munier-Lamy, 1994)

VIII. Evaluation de la maturité du compost

Il est donc indispensable de s'assurer de l'état de maturité du compost avant toute utilisation.

Il existe plusieurs méthodes pour l'évaluation de la maturité d'un compost. Ces méthodes sont de quatre types : empiriques, chimiques, physiques, biologiques.

❖ Méthodes empiriques

Les méthodes empiriques se basent sur une évaluation visuelle et sur des impressions tactiles.

- Un compost mûr ne dégage pas d'odeur d'ammoniaque;
- sa température est basse même si le compost est humidifié;
- granuleux, foncé et odeur boisé agréable;
- plus de distinction à l'œil nu du compost et des composés d'origine.

Cependant, ces méthodes simples et rapides doivent être complétées par des analyses plus précises en laboratoire (Charnay, 2005).

❖ **Méthodes physiques**

- Test de réhumidification : on humecte un échantillon de compost à 50% avec un suivi de la température. Si celle-ci ne remonte pas, on peut conclure que le compost est stabilisé et donc mur. En principe la température doit être maintenue entre 20 à 30°C.
- Test de tamisage : on fait passer environ 5kg de compost à travers un tamis de maille 25mm et l'on évalue par pesée la quantité tamisée. Si cette quantité varie entre 4 à 5 kg, on peut conclure que le compost est mûr.

❖ **Méthodes chimiques**

- Un pH neutre à légèrement basique.
- ammonium /nitrate : un compost mur doit contenir plus de nitrates que d'ammonium. Ce test n'est pas valable si le compost est enrichi avec un engrais minéral azoté à base d'ammonium et / ou de nitrate.
- Test de chrome : le test consiste à mélanger un échantillon du compost séché et broyé à 0,1 mm avec 10 ml de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$, 1N) et 20 ml d'acide sulfurique. L'apparition d'une couleur fraîchement verdâtre attribuée à la présence de l'ion chrome Cr3+ témoigne de la non maturité du compost. Par contre, une coloration plus brune que verte indique que le compost est mur.
- Rapport C /N : le rapport C /N diminue au cours du compostage à cause de la biodégradation des matières organiques et du dégagement du gaz carbonique qui en résulte. D'autres rapports peuvent être utilisées, pour avoir des autres informations sur le cours du processus ou sur sa conclusion, il s'agit de rapport carbone/ phosphore (qui évolue d'une

manière analogue au précédent) ou azote organique / azote minéral et azote nitrique / azote ammoniacal (qui restent constant quand la matière organique est suffisamment mure).

- **Méthodes biologiques**

On peut vérifier le degré de maturité grâce à des preuves de phytotoxicité, c'est-à-dire des tests de germination fais sur des graines de " Lepidium sativum" mises sur des papiers à filtre imbibés avec un extrait aqueux du compost.

L'extrait à différentes concentrations (50 et 75%) est obtenu en séparant la phase liquide par pression. Pour les deux concentrations considérées, on calcule l'indice de germination par la formule suivante :

Ig (50 ou 75%) = (Gc*Lc/ Gt*Lt)*100

Où

Gc = Nombre moyen graines germés de l'échantillon

Gt = Nombre moyen graines germés du témoin

Lc = Longueur radicale moyenne de l'échantillon

Lt = Longueur radicale moyenne du témoin

On obtient l'indice de la capacité de germination, en calculant la moyenne arithmétique entre les valeurs obtenues aux concentrations de 50% et 75% :

L'interprétation des résultats se fera sur la base des considérations suivantes :

- Absence de phytotoxicité pour des valeurs d'Ig > 70% ; donc le compost est mur
- Risque de phytotoxicité pour des valeurs d'Ig comprises entre 40% et 70% ; donc le compost est moyennement mur.
- Présence de phytotoxicité pour valeurs de Ig < 40% donc le compost n'est pas encore mûr.

X. Caractéristiques spectroscopique du compost

X.1. La spectroscopie UV- visible

Le principe de la spectroscopie UV - visible repose sur des transitions électroniques, le passage d'un électron d'une orbitale stable vers une orbitale instable, engendrées par

l'absorption de radiations électromagnétiques dans les régions UV (200 - 400 nm) et visible (400 - 800 nm). Dans le cas des composés organiques, ces transitions électroniques correspondent à des changements d'orbitales moléculaires de groupes fonctionnels spécifiques (chromophores). Ainsi, les spectres d'absorption d'un composé peuvent être utilisés pour sa caractérisation. La spectroscopie UV - visible a ainsi été utilisée par de nombreux auteurs pour caractériser les substances humiques ;le rapport de Welt (E4 /E6) utiliser dans la littérature pour décrire les matière organique (Swift, 1996; Thomsen et al., 2002; Domeizelet al., 2004; Zbytniewski & Buszewski, 2005).

X.2. La spectroscopie infrarouge (IR)

L'IR mesure des intensités d'absorption de radiations électromagnétiques dans les régions infrarouge (2500 - 25000 nm). Le principe repose sur les variations d'énergie de vibration et de rotation. L'IR a suscité beaucoup d'intérêt dans le cadre de l'étude des substances humiques (Sanchez-Monedero et al., 2002; Reveille et al., 2003) grâce à l'utilisation de spectromètres à transformés de Fourier. Une revue a notamment été conduite par Chen (2003) sur l'application de l'IR, complétée par des analyses RMN, dans la détermination de la maturité des composts.

X.3. Microscope électronique a balayage

La microscopie électronique à balayage MEB est une technique de microscopie électronique capable de produire des images en haute résolution de la surface d'un échantillon, elle consiste en un faisceau d'électrons balayant la surface de l'échantillon à analyser qui, en réponse, réémet certaines particules. Ces particules sont analysées par différents détecteurs qui permettent de reconstruire une image en trois dimensions de la surface.

L'objectif de ce chapitre est de présenter tout d'abord les matériaux et les dispositifs expérimentaux utilisés dans ce travail. Par la suite, les différentes méthodes d'analyses physico-chimiques et spectroscopiques employées pour suivre l'évolution du compost sont présentées.

I. Caractérisation et localisation du site expérimental

Le travail expérimental a été réalisé au niveau de l'institut de technologie Moyen Agricole Spécialisé (ITMAS) de Boukhalfa, situé à 8 km Nord- Est de la wilaya de Tizi Ouzou , au Nord de l'Algérie. L'ITMAS s'étend sur une surface de 30ha, de coordonnées géographiques relevées par Google Earth (figure 9) qui sont :

- Altitudes variant de 62 à 94m du point le plus bas au point le plus haut
- L'altitude de 36°42(N)
- Longitude de 3°42 (E)

Son climat est typiquement méditerranéen, jouissant d'une température moyenne annuelle de 18.5°C et une température moyenne mensuelle variant de 28.0°C (mois d'août) à 11.4°C (mois de janvier). La pluviométrie annuelle est de 600 mm/an.

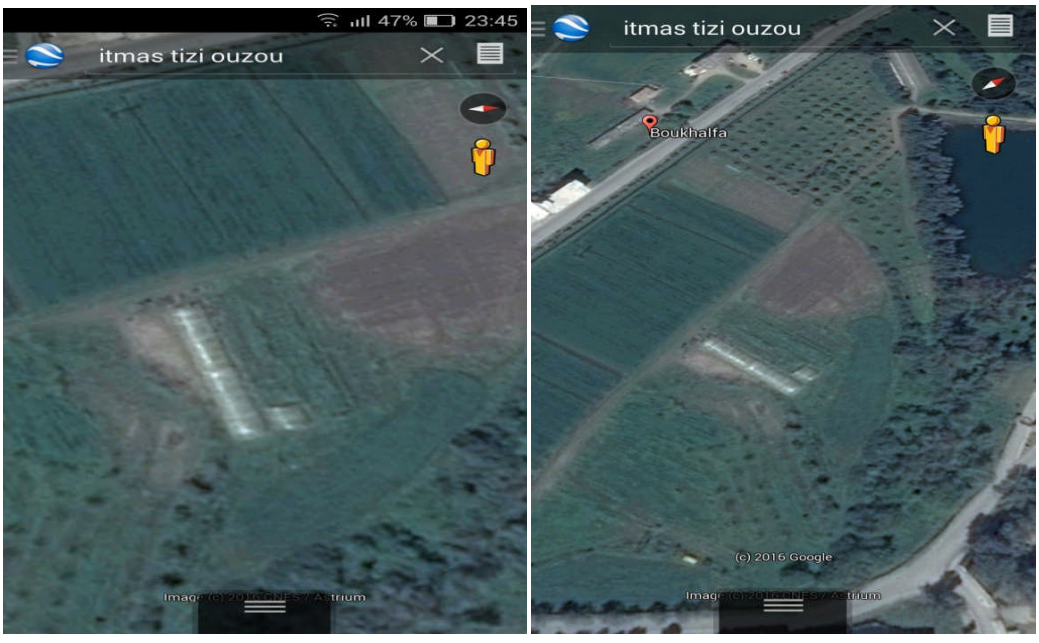


Figure 9. Localisation de site expérimental

Le compostage est lancé dans une serre au niveau de l'ITMAS.

II. Substrats utilisés pour le compostage

Les boues d'épuration, le grignon d'olive, les margines, le fumier de volailles et les déchets verts du marché de gros sont les substrats utilisés lors du compostage qui a débuté le 27/12/2015.

Les boues d'épuration que nous avons utilisé proviennent de la STEP de Tizi Ouzou, les déchets verts proviennent de marché de gros de Tadmait (Tizi -Ouzou), le grignon d'olive provient d'une huilerie de Mekla l'huilerie Sahnoune, les margines proviennent d'une huilerie de Sidi Naamane et enfin le fumier provient de l'étable de l'ITMAS de Boukhalfa (figure10).

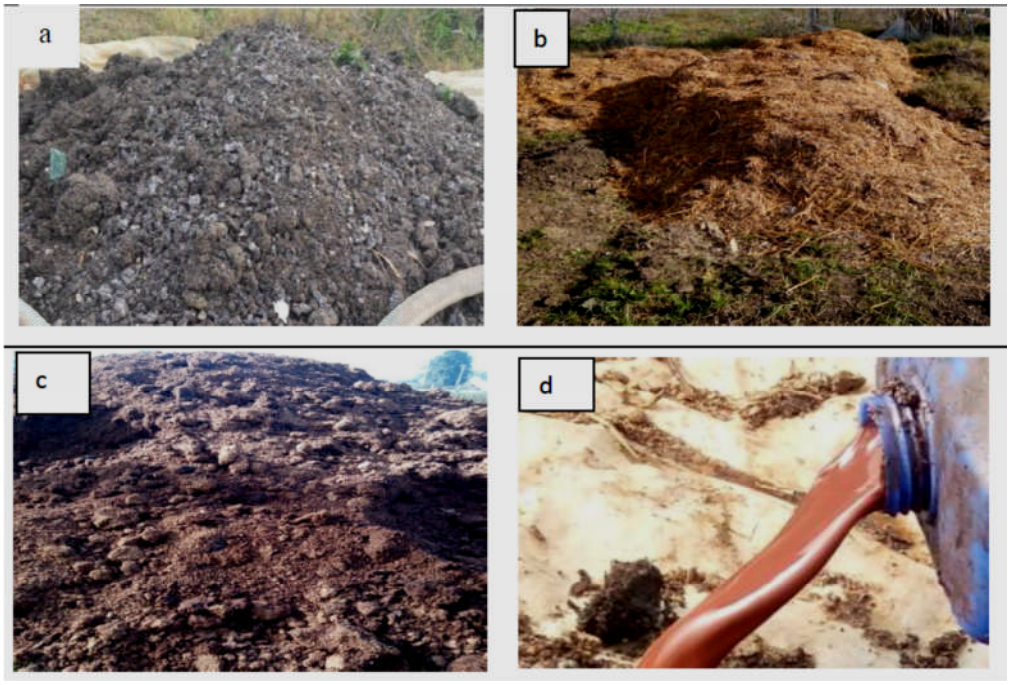


Figure10. Les constituants compostés :a) boues ; b) fumier ; c)grignon d'olive et d) margine.

III. Essais de compostage

Les essais de compostage ont été réalisés sous forme d'andain sur une plateforme sous serre à l'ITMAS de Boukhalfa les proportions des produits utilisés des produits organiques résiduels, les différents traitements sont synthétisés au niveau du tableau 6 et figure 11.

Tableau 6. Dispositif du compostage.

Constituants	Andain1	Andain2	Andain 3	Andain 4
Grignon d'olive %	25	25	33	33
Boues %	50	50	0	0
Fumier de volaille %	25	25	33	33
Déchets de marché %	0	0	33	33
Liquide d'arrosage	eau	eau+margine	eau	eau+margine
Quantité d'eau	1400	650	1050	420
Quantité de margine	0	350	0	350
Nombre de retournement	10	10	10	10

Figure 11. La serre du site expérimental

Après homogénéisation des substrats et une humidification voisine de 60 % (valeur optimale du compostage) (figure 12), le mélange est mis en andain préparé sur une bâche noire, pour éviter toute perte et pour permettre de récupérer les lixiviats lors des arrosages des andains. Au cours du compostage, des retournements manuels sont effectués pour favoriser

l'aération du mélange. Après chaque retournement, l'humidité est contrôlée et en cas de desséchement des mélanges, un arrosage est effectué par ajout d'eau dans les andains 1 et3 et de la margine dans 2 et 4 afin d'éviter un assèchement préjudiciable au bon déroulement des biodégradations lors du compostage (figure 13).

Figure 12. Arrosage avec a)eau ; b) margine et Test d'humidité (c).

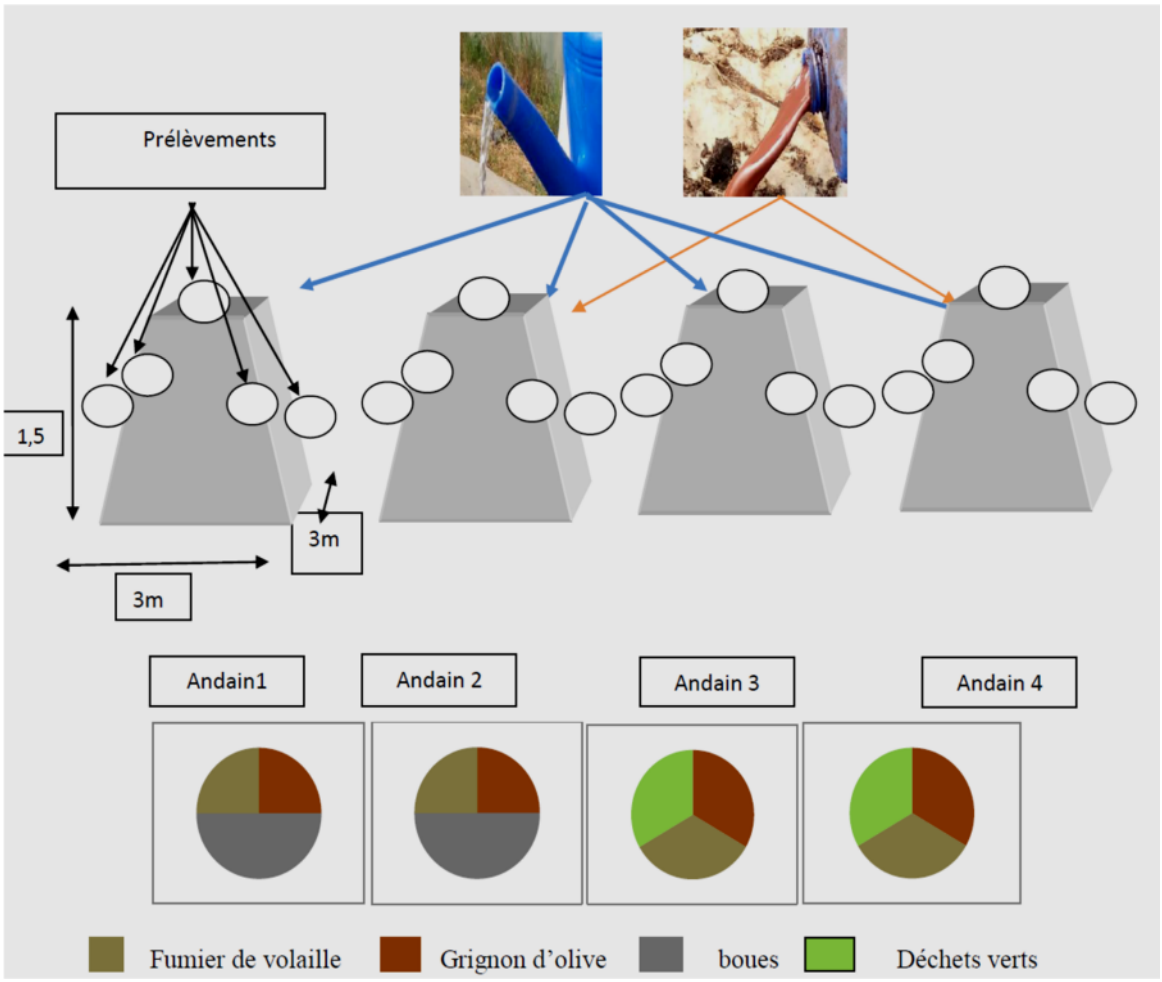


Figure 13. Dispositif expérimental

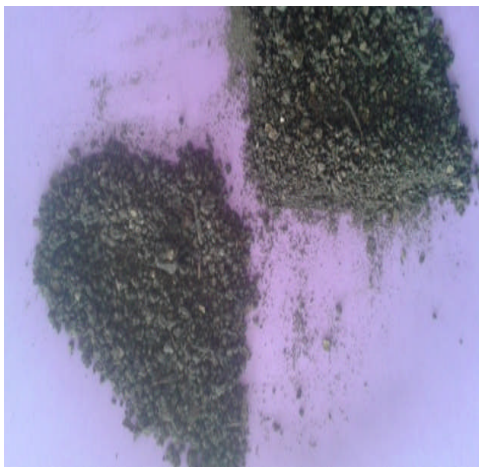
IV. Méthode d'échantillonnage

Des échantillons homogènes de chaque mélange sont prélevés à 0 jours, à un mois, à deux mois, à trois mois et enfin à quatre mois de compostage.

Afin de s'assurer de l'homogénéisation de l'échantillon, l'échantillonnage est réalisé par quartage d'après la norme U44-101 la (Figure14, et 14). Chaque échantillon composite est réalisé à partir de différents prélèvements effectués suivant les quatre points cardinaux et le centre des andains qui sont ensuite mélangés. Un échantillon composite représentatif de 1 kg est prélevé. Une partie est conservée au congélateur à -20°C jusqu'à leur analyse, une autre partie est séchée et mise dans des sachets en plastique numérotés.

- **Principe de quartage**

échantillon global



élimination de deux parts opposées

homogénéisation des parts restantes

Figure 14. Principe du quartage

V. Caractérisation physique

Les échantillons de compost utilisés pour les analyses chimiques ont été tamisés à 20 mm, puis broyés à 1 mm pour les analyses spectroscopiques ainsi que celle du MEB.

V.1.Suivi de la température

La température qui est un paramètre facilement mesurable a été également choisie comme témoin de l'activité microbienne et de la dégradation aérobie du substrat. La température de chaque andain a été mesurée chaque jour durant tout le processus du compostage par un thermomètre à tige de 50 cm. Le thermomètre est introduit complètement dans les différents

cotés de l'andain (coté Est, Ouest Nord sud et milieu, 5 fois au total) pour avoir la moyenne de la température de l'andain. Il est à noter qu'un thermomètre est installé au niveau de la serre pour enregistrer la température ambiante journalière.

V.2.Analyse granulométrique

L'étude de la granulométrie à pour but la détermination de la distribution des différentes particules d'une substance solide**.** La diminution de la granulométrie est un facteur très important de dégradation de la matière au cours de la fermentation. Sa mesure consiste à peser 1 à 2 kg de matière prélevé en différents points de l'andain pour constituer un échantillon représentatif. L'échantillon est versé dans une série de tamis superposés à mailles carrés dont les diamètres des mailles sont de 6 mm, 5 mm, 2,5 mm, 1,25 mm, 0,5 mm, 0,315 mm 0,16 mm et 0,08 mm. Le tamisage est réalisé suivant l'ordre décroissant. Pour chaque tamis, il faut peser chacune de ces fractions retenues, afin d'estimer la répartition granulométrique dans l'andain sur une balance de précision (±0,01g) (figure 15).

Figure 15. Analyse granulométrique

VI. Caractérisations chimiques

VI.1 Mesure du pH

La détermination du potentiel hydrogène, pH, est effectuée sur des suspensions aqueuses selon la norme AFNOR NF ISO 10-390 de novembre 1994 (Tahraoui Douma 2013).

Dans un bécher, 10 g de compost ont été mélangé à 50 ml d'eau distillée. La mesure du pH est effectuée après dix minutes d'homogénéisation par agitation magnétique à température ambiante à l'aide d'un pH mètre.

VI.2.Mesure de la teneur en MO par la perte au feu

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

La teneur en matière organique par rapport à la matière sèche a été déterminée par perte au feu. Ce taux est obtenu par calcination d'un échantillon de 3 g à 550°C pendant six heures (norme NF U 44-160).

La teneur en MO a été déterminée au cours du processus de compostage et pour chaque andain.

VI.3.Extraction et mesure des acides humiques et fulviques

Les acides humiques (AH) et fulviques (AF) sont extraits par agitation à l'aide d'un agitateur rotatif, durant 2 heures à partir de 10 g de composte additionnés à 100 ml de NaOH 0.1 M dans des flacons Erlen meyer de 250 ml. Cette fraction soluble en milieu alcalin (AH+AF) est récupérée par centrifugation à 2500 rpm durant 25 min. La solution est alors acidifiée à pH 1 par ajout d'acide chlorhydrique HCl 6M. Après une nuit à + 4 °C, la fraction soluble en milieu acide (AF) d'acides fulviques est séparée de la fraction insoluble d'acides humiques (AH) par centrifugation à 10000 rpm durant 10 min. Les deux fractions sont séchées dans une étuve à 105 °C pendant 48 heures (figure 16 ; 17).

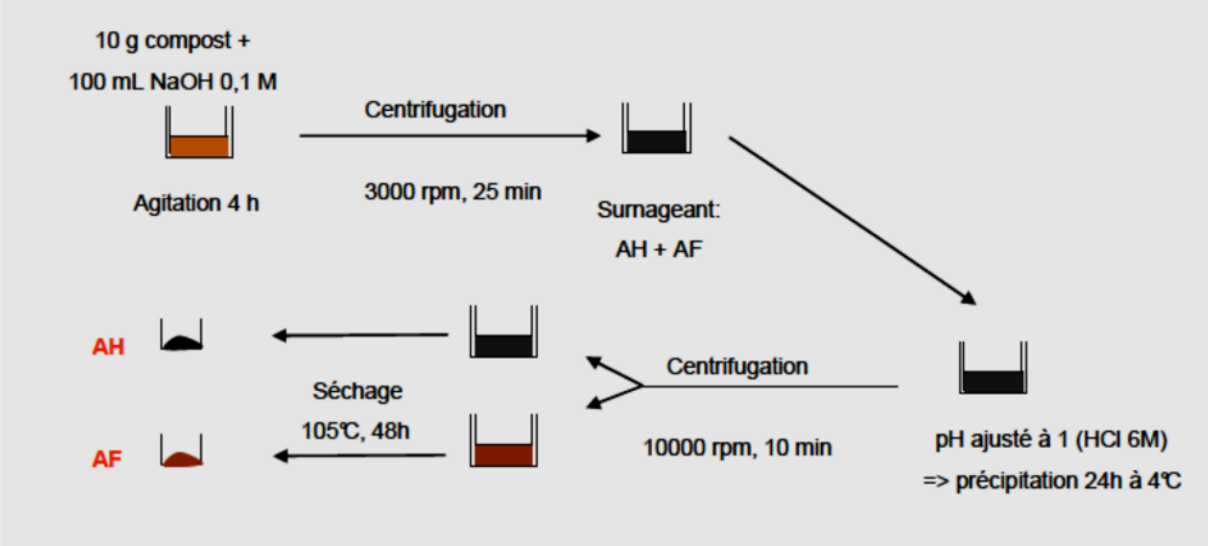


Figure 16. Schéma d'extraction des acides humiques et fulvique

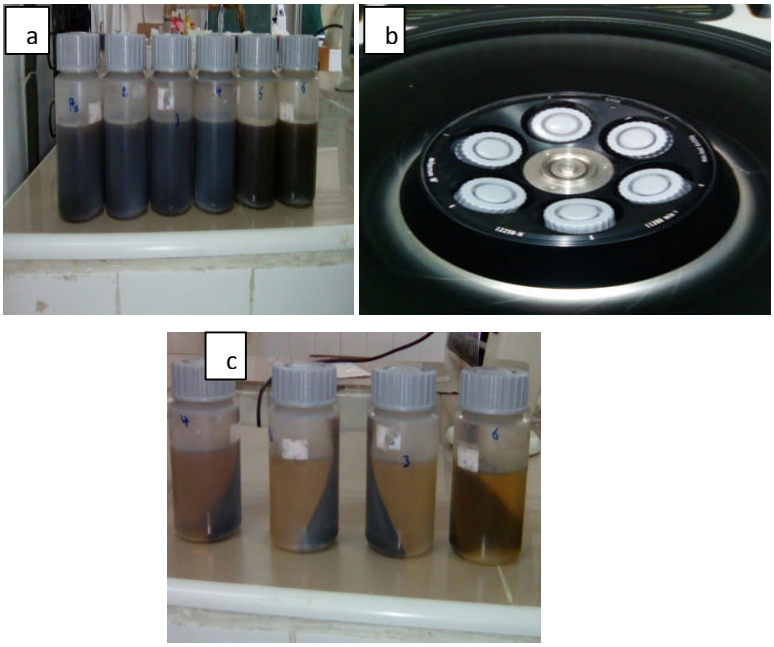


Figure. 17. a ; b ; c. Extraction des acides humiques et fulviques

VI.4.Phosphore assimilable

Le phosphore assimilable est déterminé par la méthode Olsen (Mathieu C., 2003). Cette méthode détermine le phosphore alcalino-soluble extrait par NaHCO3 à pH = 8,5. Le phosphore est dosé par la méthode du bleu de phospho-molybdate à 660 nm, par spectrophotométrie.

VI.5.Potassium assimilable

10 g de compost ont été mélangé à 50 ml de l'acétate d'ammonium à pH 7. La mesure du potassium est effectuée après 2heures d'homogénéisation par agitation magnétique à température ambiante à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme.

VII. Caractérisations spectroscopiques

Les techniques spectrophotomètriques ont pour objectif d'obtenir des informations qualitatives ou /et quantitatives sur l'échantillon à analyser en se basant sur les interactions entre la matière et un rayonnement lumineux. L'interaction matière-rayonnement peut donner lieu aux phénomènes d'absorption.

VII.1.Analyse à l'UV-Visible

La spectroscopie UV - visible est une technique utilisée par de nombreux auteurs pour caractériser les substances humiques.

1 g de compost et 50 ml de NaOH 0,5 M sont agités pendant 2 heures. Une centrifugation (25 min, 3000 rpm) et suivie d'une mesure d'absorption à plusieurs absorbances spécifiques (450 et 665 nm) permettent de calculer le rapport de Welt : E4 (465nm)/E6 (650nm) utilisés dans la littérature pour décrire les matières organiques (Zbytniewski & Buszewski, 2005 in Albrecht 2007).

VII.2.Analyse par spectroscopie d'absorption infrarouge (FTIR)

Cette méthode basée sur des radiations de nature électromagnétique, qui permettent d'assigner les bandes d'absorption infrarouge à des groupements. Malgré la structure complexe des substrats compostés, la technique de spectroscopie infrarouge est utilisée sur des échantillons des différents andains à 0 jours et à 100 jours de compostage. Préalablement séchés à 105°C en mélange avec le bromure de potassium (KBr) avec un ratio de (2: 200, échantillon/KBr). Le mélange est ensuite pressé sous forme de pastilles. Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre FTIR Bruker Vertex 70, équipé d'un détecteur DTGS et logiciel OPUS 6,5. Les données spectrales sont obtenues en tant que valeurs de transmitance sur une gamme de fréquence de 4000-400 cm^{-1}. Cette technique permet de caractériser les groupements fonctionnels des molécules par détermination des énergies transmises par les différentes vibrations inter-atomiques. Des informations importantes peuvent être obtenues sur la nature, la

réactivité et les changements structuraux des groupements fonctionnels des substances organiques (El Fels, 2014).

VII.3.Caractérisation au microscope électronique à balayage (MEB)

Les morphologies des échantillons des différent andains que celle des constituants brutes ont été observées avec un microscope électronique à balayage de type ESEM XL 30 marque Philips (Germany), équipé d'un analyseur EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) au niveau du laboratoire de l'université de Tizi-Ouzou (figure18).

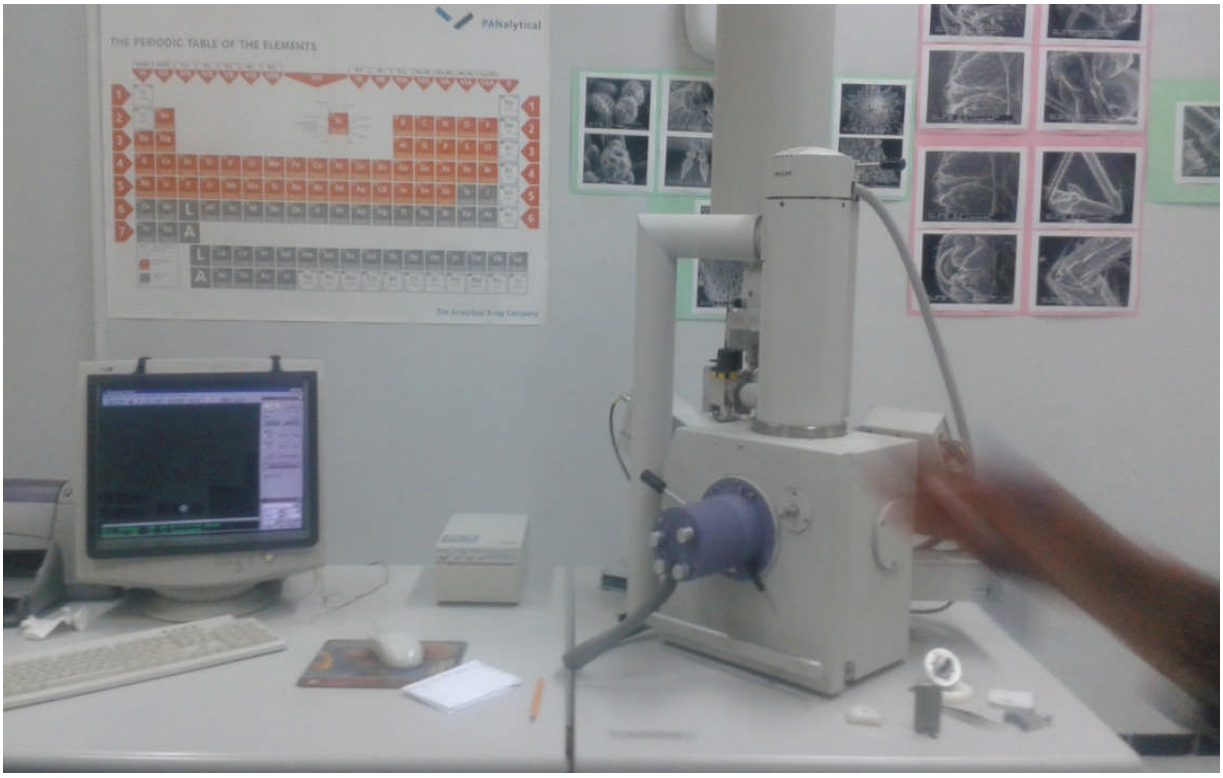


Figure 18. Microscope électronique à balayage.

Ce chapitre présente l'évolution des paramètres physico-chimiques et spectroscopiques au cours du compostage.

I. Evolution de la température

L'étude de l'évolution de la température au cours du processus de compostage montre que la température de départ est légèrement différente selon la composition de l'andain (figure 29). Ainsi, la température des andains démarre aux alentours de 20°C.

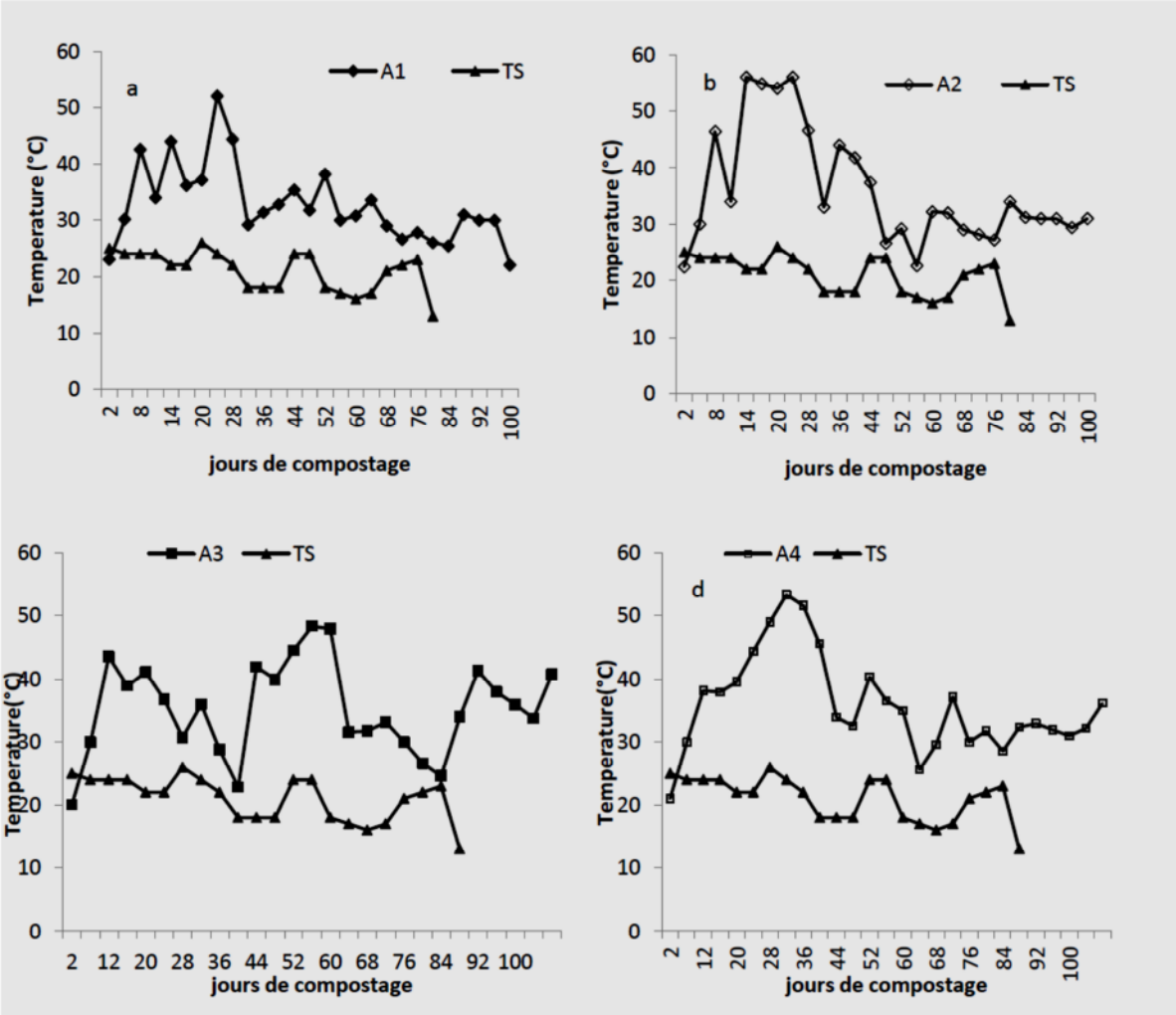


Figure 19. Evolution de la température des andains 1(a) ; 2(b) ; 3 (c) et 4 (b) au cours de compostage.

Pendant les six (06) premiers jours du suivi, on remarque une similarité de la température entre les andains arrosés avec la margine et ceux arrosés avec de l'eau. Cela correspond à la phase mésophile qui est très courte. La température quotidiennement enregistrée pendant le procédé de compostage a délimité les deux phases du processus: mésophile et thermophiles.

La température des andains croit rapidement au cours du temps pour atteindre son maximum au 15ème jour (56°C). A partir du 15ème jour, on enregistre des différences de température entre les andains arrosés avec de l'eau (A1, A3) et ceux arrosés avec de la margine (A2, A4), ces dernières présentent des températures élevées. Cette élévation de température serait due à l'activité des microorganismes thermophiles qui dégradent les composés organiques (Mustin,1987). En effet, par leur respiration, les microorganismes vont épuiser l'oxygène de la masse en compostage et rendre le milieu anaérobie d'où une élévation de température.

Ces valeurs restent inférieures à 70°C, température au dessus de laquelle il y a destruction des organismes vivants et donc dégradation de la qualité du composte (Godden 1986 in Znaidi 2002).

On remarque que les andains présentent une même durée de la phase thermophile qui est de plus de 94jours. Des arrosages et /ou des retournements, lorsque la température des andains augmentait ou diminuait sont effectués, afin de maintenir cette température optimale pour l'activité microbienne. Par la suite, la production de chaleur diminue et la température baisse progressivement pour se stabiliser à des températures inférieures à 40°C. On note toujours que les températures des andains sont supérieures à la température ambiante de la serre, donc nous sommes toujours dans la phase thermophile, ce qui indiquerait que notre compost n'est pas encore mûr.

II. La granulométrie

Les valeurs moyennes des différentes fractions des andains > 6,3 mm ; 6,3 – 2,5 mm et ≤ 2.5 sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7. la fraction granulométrique des andains à T100 jours

Diamètre (nm)	A1(%)	A2(%)	A5(%)	A6(%)
>6,3	29,6	30,8	12,8	20,3
6,3-2,5	42,3	44,2	53,5	60,2
≤2,5	50,9	51,4	62,4	66,4

Ainsi les particules dont la taille est inférieure ou égale à 2,5 mm constituent la proportion la plus importante quelque soit l'andain.

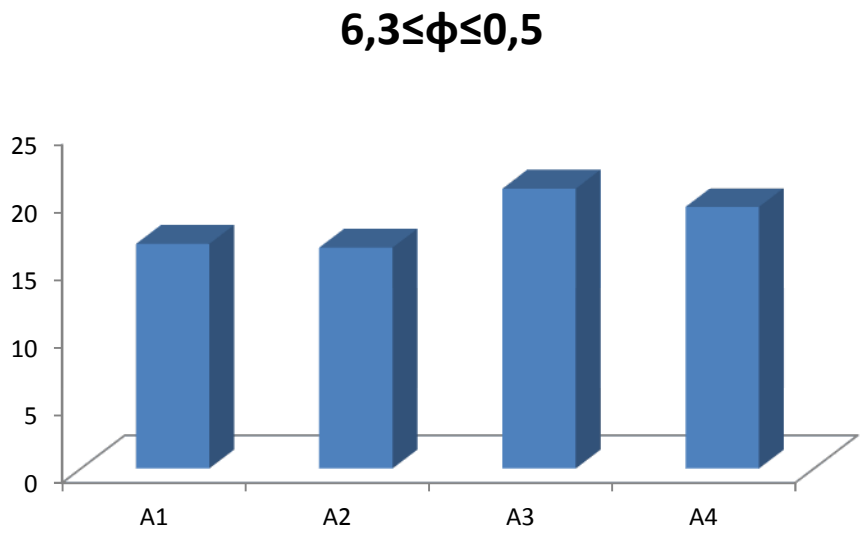


Figure 20. Pourcentage des particules des différents andains à 100jours.

Les différents andains présentent aussi une fraction au dessus de 6,3mm dont 5% sont des éléments indésirables ce qui indique que le compost est en cours de décomposition.

Les composts présentent des particules petites et assez homogènes, et dont la texture se rapproche de celle d'un sol.

Les fortes proportions des éléments fins (< 10 mm) témoignent d'une bonne qualité des composts selon les normes internationales (AFNOR 2000) d'appréciation des substances organiques, les différents andains étudiés répondent à cette norme.

III. Evolution du pH

L'acidité agit spécifiquement sur la microflore responsable de la décomposition de déchets organiques initiaux. Le pH, imposé par la matière première qui est résistante ou moins biodégradable telle que la lignine, échappe à la minéralisation et après certaines biotransformation sert de matériau de base à l'édification de molécules nouvelles qui deviendront les substances humiques (Kögel-Knabner, 2002).

L'étude de l'évolution du pH au cours du processus du compostage montre que le pH de départ est un pH basique situé entre 6,6 et 7,3. (figure 21).

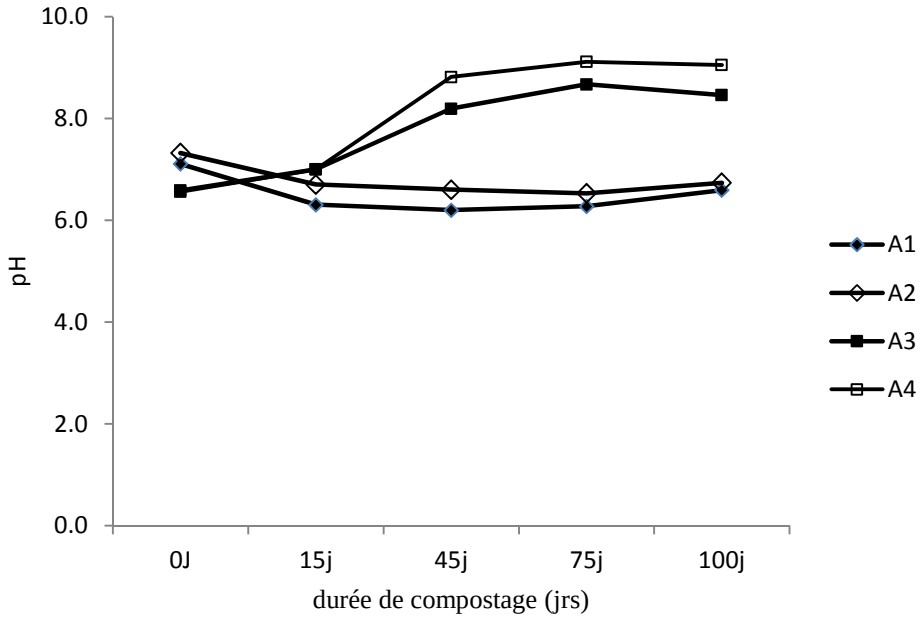


Figure 21. Evolution du pH au cours de compostage.

Au cours du compostage, les andains A5etA6 se comportent de la même façon : avec une augmentation de pH. Par contre, on assiste à une légère diminution du pH des andains A1 et A2 allant de 7,1 à 6,6 et de 7,3 à 6,7 respectivement.

Il y a donc probablement la production d'acides organiques. Le pH est resté basique par production du gaz ammoniacal (Bernal et al. 1998) associé à la dégradation de protéines libérant des amines et à la décomposition d'acides organiques.

IV. Évolution de la matière organique

La matière organique diminue au cours du processus de compostage(figure 22). Il faut noter que la biodégradation de la matière organique est réalisée lors des phases thermophiles et de maturation.

Lors de ces différentes phases, plusieurs enzymes permettent la biodégradation de macromolécules facilement décomposables par des réactions de rupture de liaisons atomiques et d'oxydation, suivies d'une phase de stabilisation, dominée par une intense activité microbiologique, qui s'accompagne d'une élévation de température (phase thermophile).

La dégradation de la matière organique entraîne une minéralisation importante du substrat au cours du compostage.

Les composts se caractérisent donc par des teneurs en matières organiques inférieures à celles des déchets bruts. La diminution relative de matières organiques (rapport entre la masse de matière organique perdue et la masse de matière organique initiale) est très variable et dépend des conditions de compostage, de sa durée et des caractéristiques de la matière première.

En effet, pour l'ensemble de nos andains, une diminution de la matière organique est observée au bout de 100 jours de compostage. Cette diminution est variable, lente dans les andains 1 et 3 qui sont arrosés avec de l'eau mais, plus rapide, dans les andains 2 et 4 arrosés avec de la margine. Le taux de diminution est de 14,41% ; 18,75% ; 30,48% 23.36% pour l'andain A1, A2, A3, et A4 respectivement. Cette accélération de dégradation de la matière organique, associée à la prolongation de la phase thermophile, serait principalement due à l'effet margine.

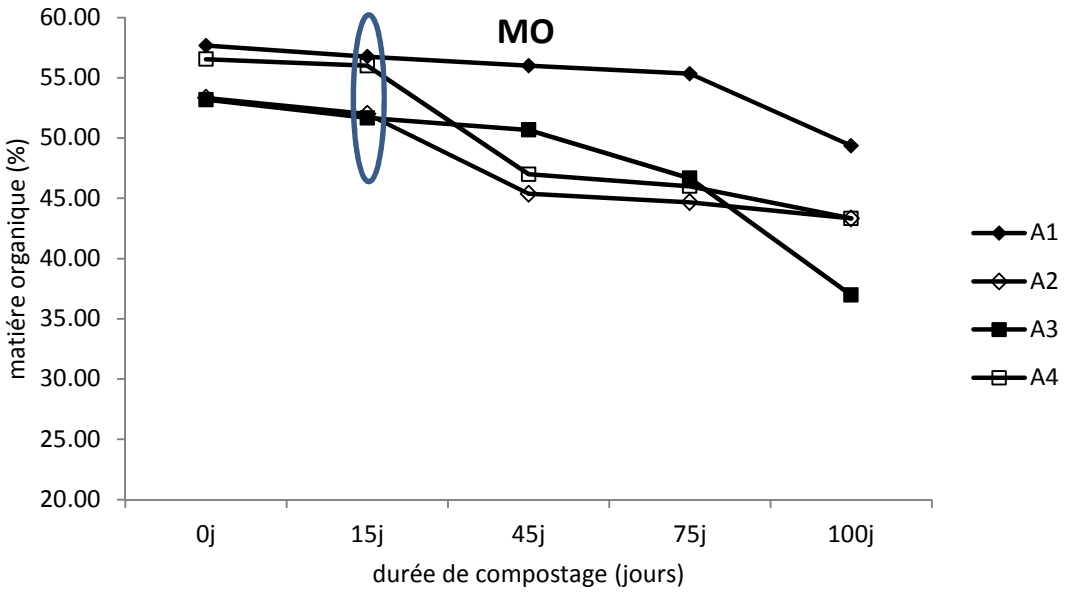


Figure 22. Evolution de la matière organique au cours du compostage.

V. Eléments nutritifs

Les teneurs en phosphore et en potassium phosphore et de potassium des andains apres100 jours de compostage obtenus, sont présentés dans le tableau8.

Tableau 8. Valeurs du potassium et du phosphore.

andain	K_2O (%)	P2O5 (%)
A1	0,51	/
A2	0,615	0,36
A3	0,795	0,32
A4	0,99	0,29

1. Phosphore

D'après ces résultats, on remarque que la teneur en phosphore diffère selon la composition des andains. Ce taux est de 0,36 % dans l'andain 2. Ces teneurs en phosphore obtenus sont faibles à comparés aux normes proposés par Brinton (2000) ou Scotland (2004).

2. Le potassium

Les andains 1et 4 arrosé avec la margine présentent des taux plus élevés par rapport à l'andain 1 et 2 arrosé avec de l'eau, ceci est due à la richesse des margines en potassium. Suivant leurs origines, les composts peuvent avoir des différences dans leur qualité fertilisante, mais les caractéristiques standards d'un compost selon Brinton (2000) ou Scotland (2004).

On constate que les teneurs en phosphore et en potassium des différents andains diffèrent en fonction de la composition et de traitement. Les matières minérales, en particulier le phosphore et le potassium, sont conservées dans les andains, ces matières n'étant pas volatiles.

VI.L'analyse UV- visible : rapport de Welt (E4 / E6)

Le rapport de Welt (ratio E4/E6) a été utilisé dans ce travail pour caractériser les andains. Il est déterminé à partir de la mesure des absorbances à 465 nm (E4) et 650 nm (E6) des solutions diluées.

Les résultats de l'indice d'humification des andains obtenu par la méthode spectroscopique UV- visible sont montrés dans le tableau 9 et figure 23. Le ratio **E4/E6** sert de paramètre d'interprétation de ces résultats. C'est ainsi que nous avons obtenu le ratio de certain de nos échantillons inférieur à 5. Il s'agit des acides humiques qui possèdent une longue chaîne carbonée et un poids moléculaire élevé.

Tableau 9. Les résultats d'absorption à la bande 465 et 650.

		0jours	15jours	45jours	75jours	100jours
A1	E465	0,16	0,19	0,10	0,30	0,36
	E650	0,02	0,02	0,02	0,05	**0,06**
A2	E465	0,24	0,20	0,33	0,31	0,68
	E650	0,03	0,03	0,05	0,05	**0,11**
A3	E465	0,29	0,34	0,46	0,45	0,42
	E650	0,03	0,04	0,06	0,07	**0,07**
A4	E465	0,41	0,41	0,41	0,17	0,76
	E650	0,05	0,05	0,05	0,05	**0,17**

On rappelle que l'absorbance à 465nm (E4) caractérise les matières organiques initiales, peu transformées, alors que l'absorbance à 650nm (E6) correspond à des matières fortement humifiées et condensée (Albrecht, 2007). Les valeurs enregistrés dans E6 sont faible par rapport à E4 pour tous les andains, ce résultat concorde avec les résultats des autres analyses : températures, pH, Matière organique MO, les andains sont immature.

Les valeurs enregistrés E6 sont faibles par rapport à E4. A l'approche de 100 jours du compostage, une augmentation de la valeur de E6 pour tous les andains est observée, ce qui implique un début de formation des acides humiques. les valeurs de E6 à 100jours sont passées de 0.06 à 0,11et 0,07 à 0,17 dans les andains 1,2,3,et 4 respectivement. Les andains arrosés avec de la margine présentent les valeurs les plus élevées comparativement à ceux arrosés avec de l'eau. L'irrigation avec la margine explique cette augmentation de la température.

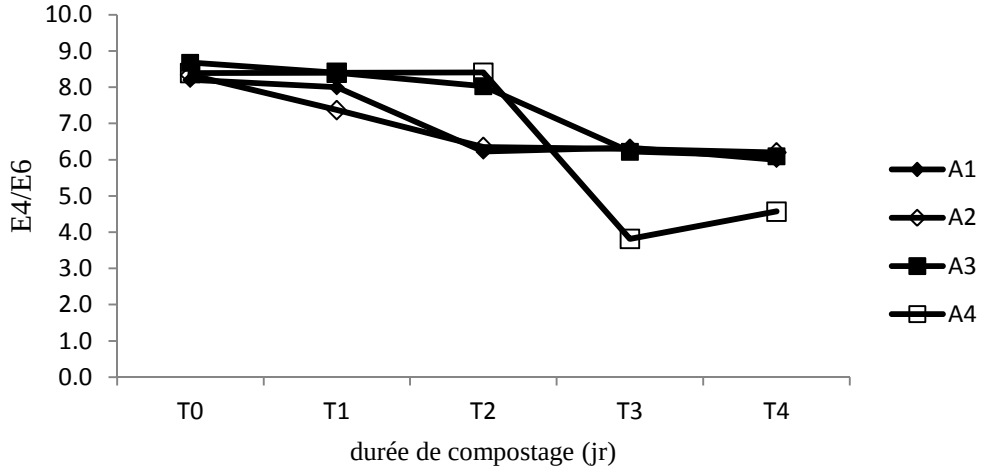


Figure 23. Rapport de Welt (E4/E6).

Tous les andains présentent une diminution du ratio E4/E6 au cours du compostage. Le rapport E4/E6 de tous les andains sont supérieurs à 5. Ce qui indique une formation d'acides fulviques comparativement à celle des acides humiques. La formation limitée des substances humiques à 100 jours de compostage serait due probablement au taux élevé de l'hémicellulose, cellulose et de la lignine de grignon qui est de 48,4%. Chouchene, (2012) indique que ces tissus lignifiés, résistant à la dégradation microbienne ne sont altérés que superficiellement.

Ceci serait en accord avec les résultats précédent : température élevées, matière organique peut dégradées et E4/E6 élevé qui iraient dans le sens d'une faible stabilité des composts à 100 jours.

Les rapports de Welt et les valeurs de pH suivraient une même tendance, soit une augmentation de E4/E6 avec celle des pH (Koriko, 2012), est ceci est vérifié pour nos andains.

VII. Analyse des substances humiques et fulviques

Evolution des acides humiques et des acides fulviques au cours de compostage indique que la présence des substances humiques dans un milieu est classiquement mise en évidence à travers leur couleur en solution.

- les acides humiques (AH) sont de couleur noir.
- les acides fulviques (AF), de couleur jaune.

On peut ainsi constater sur la figure 24 que les acides fulviques ont une teinte très claire tendant vers le jaune similaire aux couleurs indiquées dans la littérature, signe d'une faible teneur en carbone. Par contre, les acides humiques ont une coloration noirâtre qui indique une forte concentration en carbone.

L'absorption de la lumière étant directement liée à la concentration en noyau aromatique, la couleur des substances humiques peut fournir des indications sur la taille des molécules.

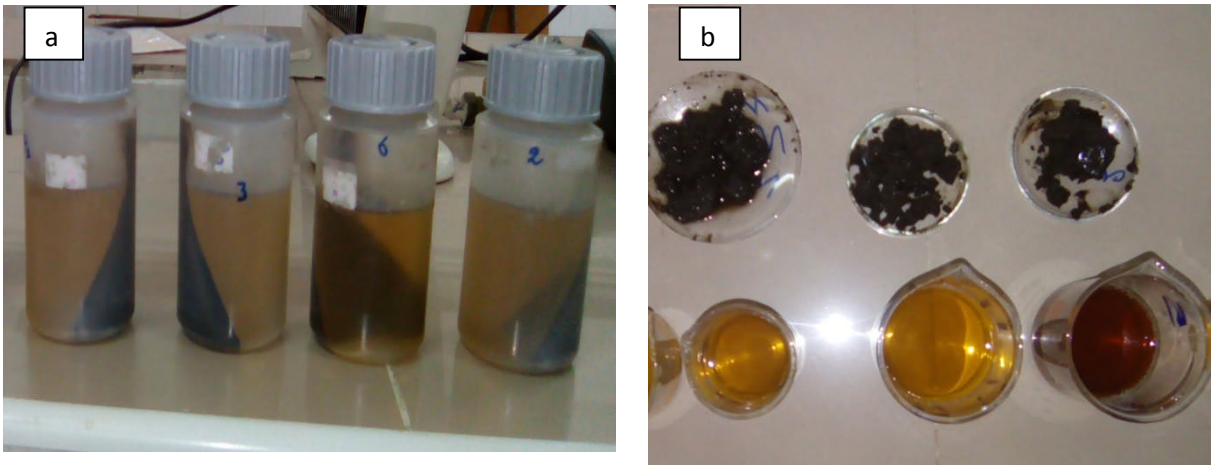


Figure 24. Couleurs des solutions des différentes substances humiques à des concentrations de 200 mg/L ; Acides fulviques de couleur jaune (a); acides humiques de couleur noir à l'état humide (a) et sec (b).

Tableau10. Evolution des substances humiques

	O jours de compostage			100jours de compostage		
Andain	**AH**	**AF**	**AH/AF**	**AH**	**AF**	**AH/AF**
1	7,9	2,1	3,8	6,3	2,0	3,2
2	7,8	2	3,9	6,9	2,3	3,0
3	7,8	1,8	4,3	6,4	1,1	5,7
4	7,5	1,6	4,6	6,5	1,7	3,9

Le taux des acides humique pour l'ensemble des andains à 100 jrs est supérieur au taux des acides fulviques.

D'après la littérature les substances de couleur noire sont des substances humiques, et dans notre étude, dés 0 jours de compostage des teneurs de 7,5 à 7,9 d'un composé noir sont mesurés, il est fort probable, qu'une quantité très faible d'acide humique vient se greffer sur la lignine de l'hémicellulose et cellulose non dégradés. Les acides fulviques ont diminués à 100jours de compostage ce qui peut être due à leur transformation en acides humique et donc début de formation des substances humiques.

Au cours du compostage, une diminution de la teneur en acide fulvique et une augmentation de la teneur en acide humique sont généralement observées (Francou et al., 2005). Cette méthode de fractionnement est cependant controversée : les fractions séparées n'ont pas de propriétés biochimiques définies, et les acides humiques et humines peuvent contenir à la fois des composés jeunes, peu polymérisés, faciles à dégrader ou au contraire, des composés vieillis très condensés, résistant à la biodégradation (Zbytniewski et Buszewski, 2005). De plus,

l'absence de consensus sur les modalités d'extraction entraîne des différences importantes dans les protocoles d'extraction (Inbar et al., 1990). Ce qui explique la légère diminution de la teneur en acides humiques de 0 jours à 100 jours dans nos résultats.

Les acides humiques extraits ont été passé au MEB (Figure 25).

Figure 25. Photographie au MEB de l'acide humique

A photographie présente un aspect polygonal striés et poreux des acides humiques.

VIII. Caractérisation des composts par MEB

Le microscope électronique à balayage (MEB) est un instrument qui donne des images de la morphologie d'un échantillon analysé. Dans notre cas, on a suivie l'évolution de la morphologie de surface de différents andains lors du processus (figure26).

VIII.1. Interprétation des photos MEB des constituants bruts

1. Grignon

La figure 26a, représente la photographie au MEB du grignon broyé.

Le grignon présente une distribution de taille variable et une surface non lisse (rugueuse). Une porosité très développée sur toute la surface des échantillons et certaines hétérogénéités ont été observées sur la photographie (figure 26a).

Les photographie que nous avons obtenues sont semblables à celles obtenue par Djefel et al., (2015).

2. La margine

La figure 26b, donne des photos MEB de la margine séchée, broyée et utilisée lors de l'irrigation des andains.

Les photographies obtenues montrent une hétérogénéité des formes sur toute la surface. elles indiquent un mélange entre une partie organique et une autre minérale. Elles montrent aussi que la phase organique présente un aspect fondu alors que la partie minérale est plus granuleuse. La phase la plus légère (organique) apparaît sombre tandis que la phase minérale est plus brillante car elle est plus riche en atomes relativement lourds (Cl,K, Ca, P etc...) (Djefel et al., (2015).

3. Les boues d'épuration

D'après les photographies au MEB des boues d'épuration (26c). montrent une forme irrégulière présentant une rugosité linéaire.

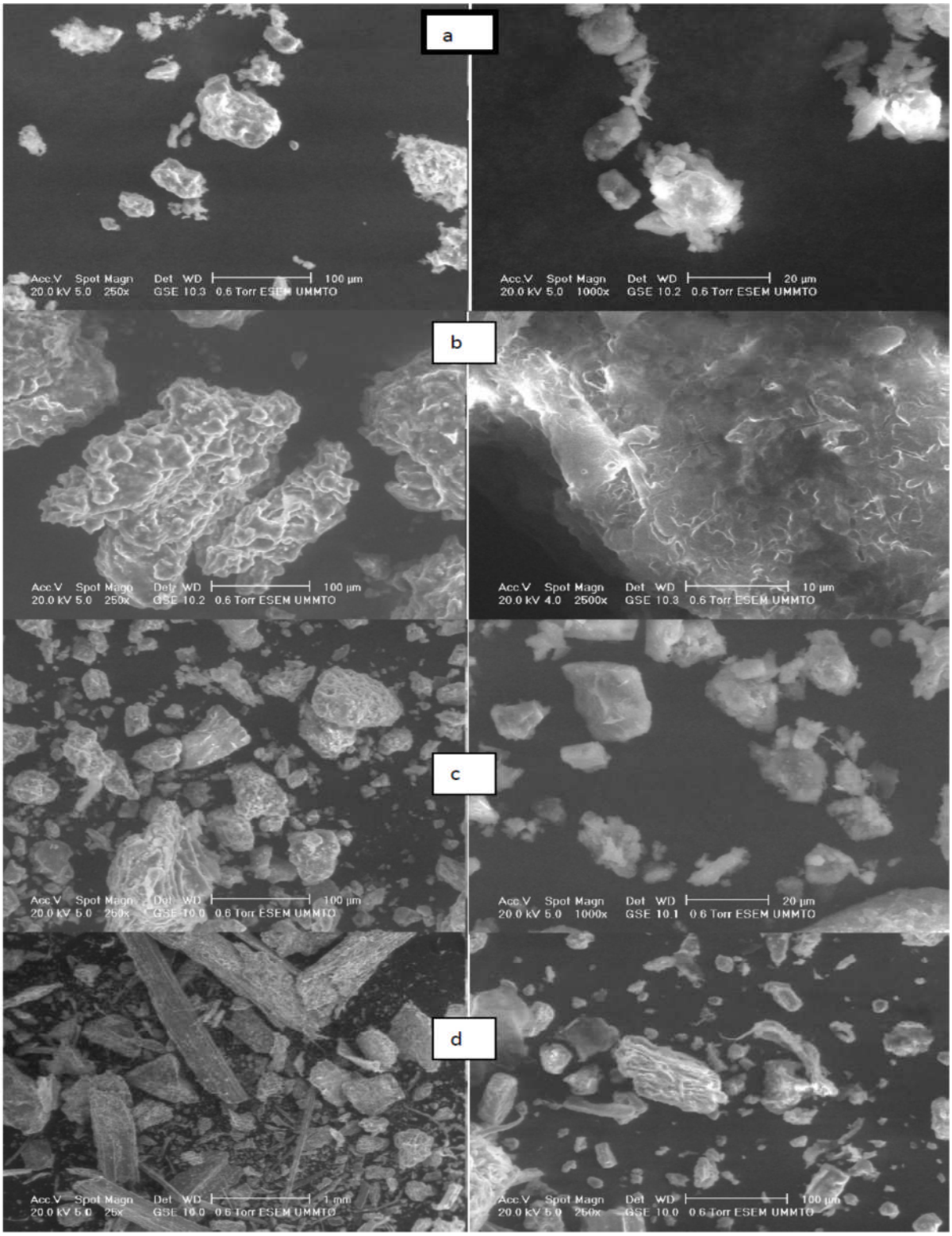


Figure 26 photographie au MEB à différentes résolutions a) grignon d'olive ; b) margine ; c) boues et d) fumier de volaille.

4. Fumier de volaille

D'après la Figure (26d) du fumier de volailles, on constate la présence des fibres poreuses en surface.

VIII.2.Caractérisation de la morphologie des composts

Les figures 27et 28 reflètent le changement de la structure des andains au cours de compostage.

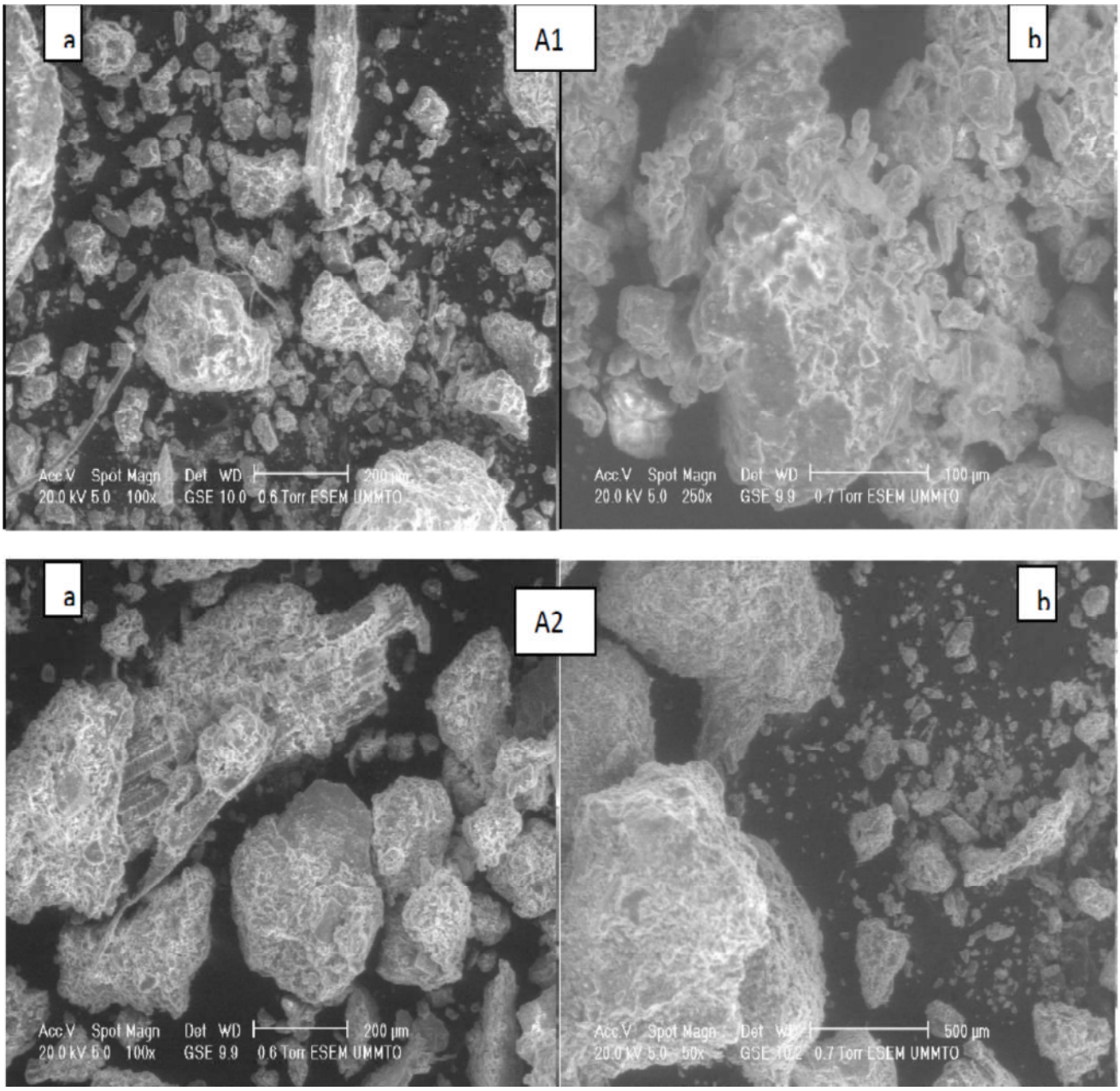


Figure 27. Photographie au MEB des andains A1 et A2 : à 0jours (a) ; à 100 jours (b).

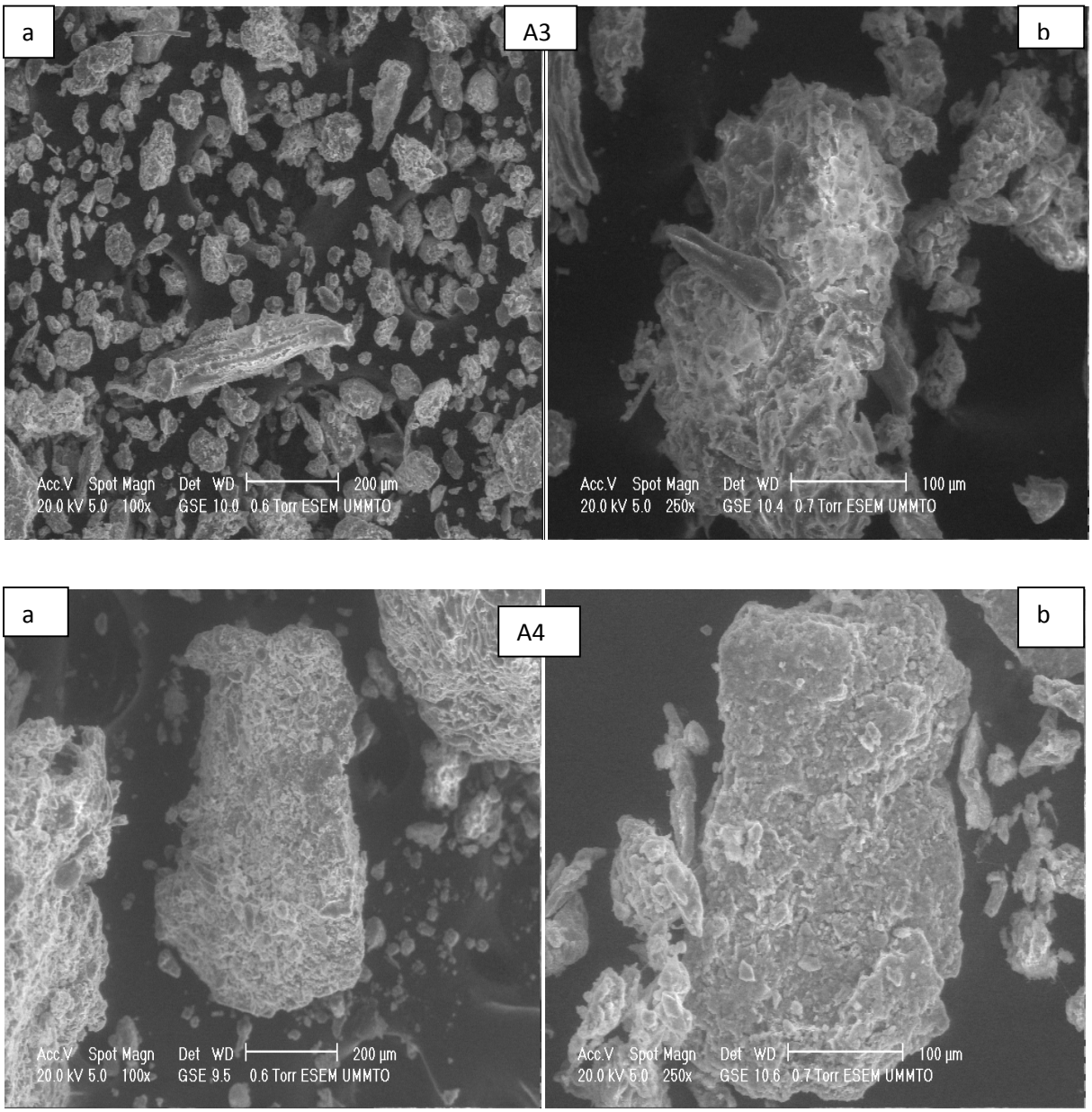


Figure 28. Photographie au MEB des andains A2 et A3 : à 0jours (a) ; à 100 jours (b).

. Un changement de la structure des andains après 100 jours de compostage est observé. Durant le processus de compostage, les andains deviennent poreux. Ce qui indique la dégradation des matériaux de compost et probablement la formation de l'humus.

Les photographies MEB obtenus des andains révèlent une apparition très faible d'acides humiques ce qui est en accord avec les conclusions des analyses physiques, chimiques et spectroscopique : le compost n'a pas atteint la phase de stabilisation.

VIIII. Analyse à l'Infrarouge à transformé de fourrier (IRTF)

L'analyse à l'infrarouge est une technique basée sur l'absorption ou la réflexion par l'échantillon étudié des radiations électromagnétiques de type infra rouge (FRANCOU, 2003).

Les spectres sont constitués des pics correspondent à des énergies de rotation ou de vibration d'une liaison chimique.

Ces spectres sont déterminés en soumettant les échantillons à une fréquence allant de 4000 à 515 cm^{-1} au rythme de 60 nm/s. Mais leur interprétation n'est pas toujours facile comme le rappelle Francou (2003)**.**

VIIII. 1.Composition et évolution des andains A1, A2, A3 et A4.

Les spectres infrarouges enregistrés entre 4000 et 515 cm^{-1} de nos échantillons à 0 jours et 100 jours de compostage sont reportés au niveau des figures 29 ; 30 ; 31 et 32.

Les spectres obtenus présentent de grandes similitudes en ce qui concerne l'allure générale et les positions des pics principaux.

a

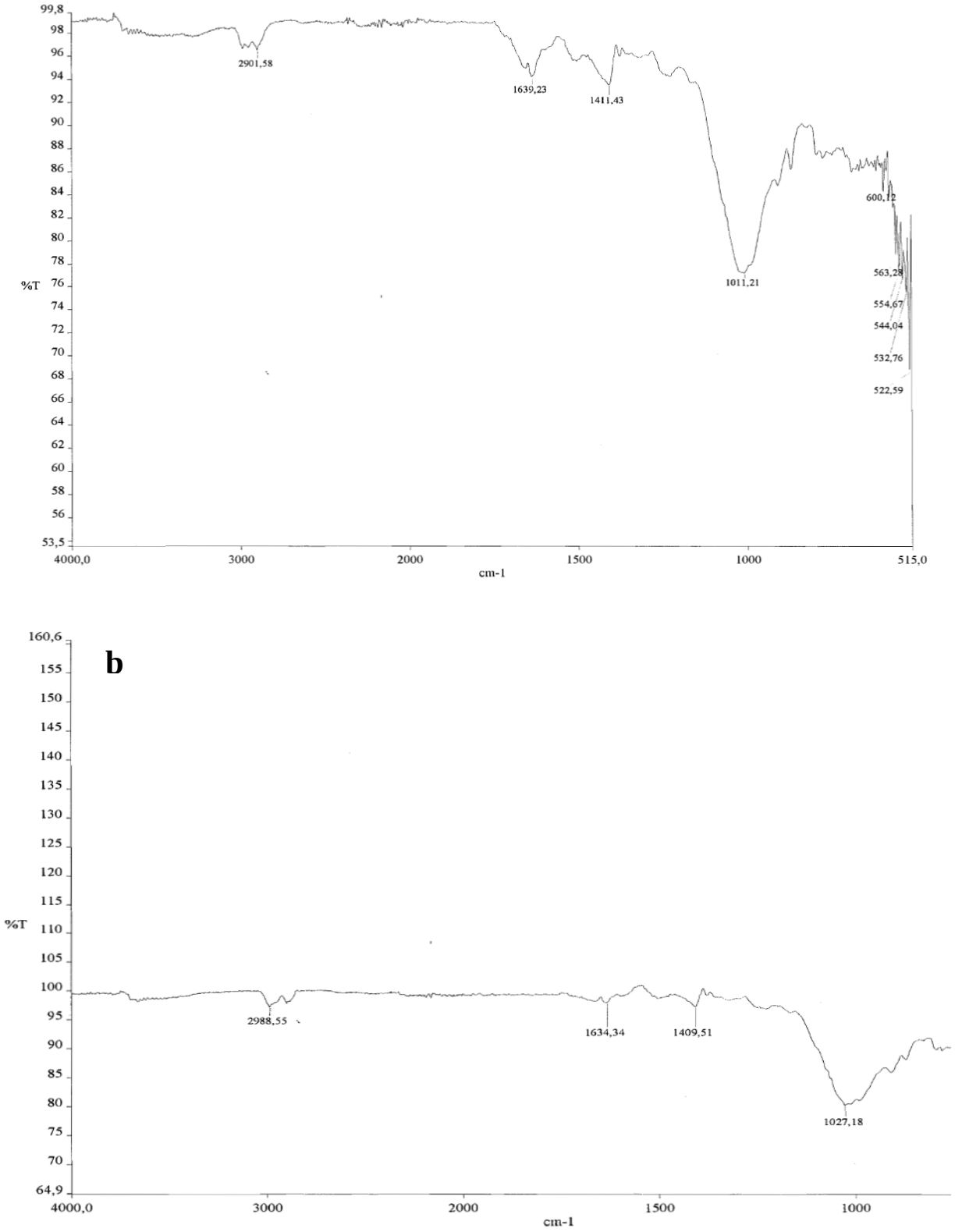


Figure 29. Spectre FTIR de l'andain A1 à : 0 jours (a) et 100 jours (b) de compostage.

La comparaison des spectres infrarouges de l'andain 1 à 0 jours et 100 jours, a montré pour le premier une légère diminution de la transmitance autour de 3423 cm^{-1} et 2922 cm^{-1} que l'on peut attribuer à l'absorption importante des -OH des phénols et des hémicelluloses, alors que pour l'andain 1 la transmitance est légèrement supérieur comparativement à celui à T 100jours, ce qui est dû à une absorbance moindre des –OH.

Le pic 1640 cm^{-1} correspondant au groupement C=C peut être attribué à la présence de composés aromatiques, lignine, tanins, ainsi qu'à la présence de composés azotés (amines primaires et amides. Leur transmitance a diminué au stade final, ces composés sont dégradés lors du compostage car c'est eux qui forment le carbone aux microorganismes en début de compostage.

Une diminution observée aussi pour les pics aux alentours de 1411 cm^{-1} représentés par les polyphénols. (une diminution des poly phénol au cours de compostage).

Enfin, on note dans la région 1100 cm^{-1} 1020 cm^{-1}, une diminution relative de la transmitance de la bande située à 1011cm^{-1} correspondant aux groupements C-C saccharides, C-O polysaccharides à T100 jrs comparativement à T0 (T initial).

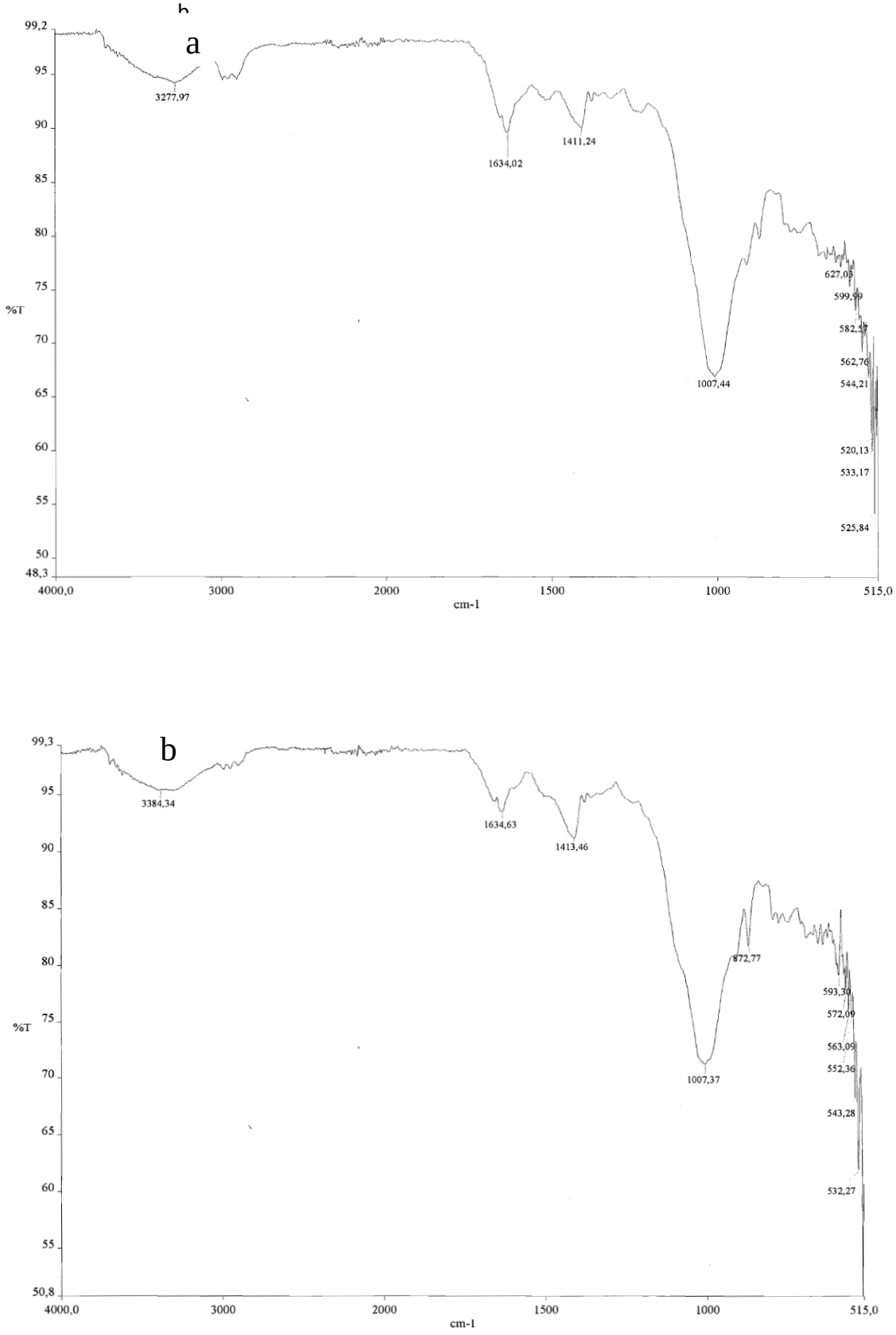


Figure 30. Spectre FTIR de l'andain A2 à : 0 jours (a) et 100 jours (b) de compostage.

Comparativement à l'andain 1, un pic à 3278 cm^{-1} apparait. Il correspond aux groupements fonctionnels OH des alcools, phénols. Cela est dû probablement au grignon d'olive et le liquide d'arrosage de l'andain qui est de la margine.

Les pics de transmitance à 1634 cm^{-1}-1413 cm^{-1}-1007 cm^{-1} sont légèrement plus intense dans l'andain 2 qui est arrosé avec la margine comparativement à l'andain 1 arrosé avec de l'eau qui correspondent aux groupements C=C aromatique, C=O, amide I, cétone et quinone

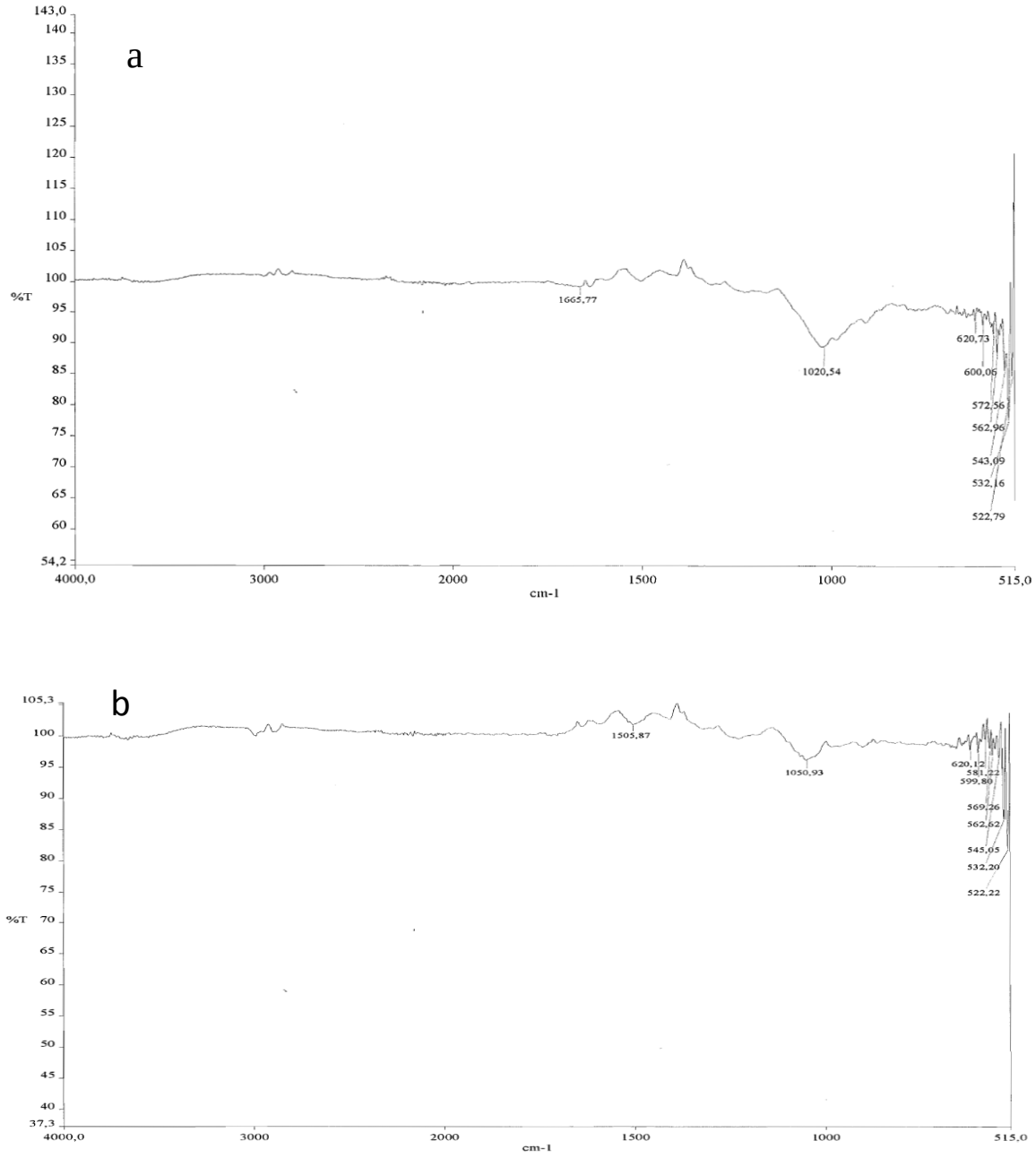


Figure 30. Spectre FTIR de l'andain A3 à : 0 jours (a) et 100 jours (b) de compostage.

Pour l'andain 3, à T100 les bandes de transmitance à 2901 cm^{-1}, 1634 cm^{-1}, 1020 cm^{-1},1408 cm^{-1} et1027 cm^{-1} qui correspondent respectivement aux groupement C=C aromatique, C=O, amide I, cétone et quinone, C=C, aliphatique et C- des polysaccharides sont plus prononcées comparativement aux bandes de transmitance du même andain à T 0, cela est dû probablement à la diversité des composés présents dans cet l'andain.

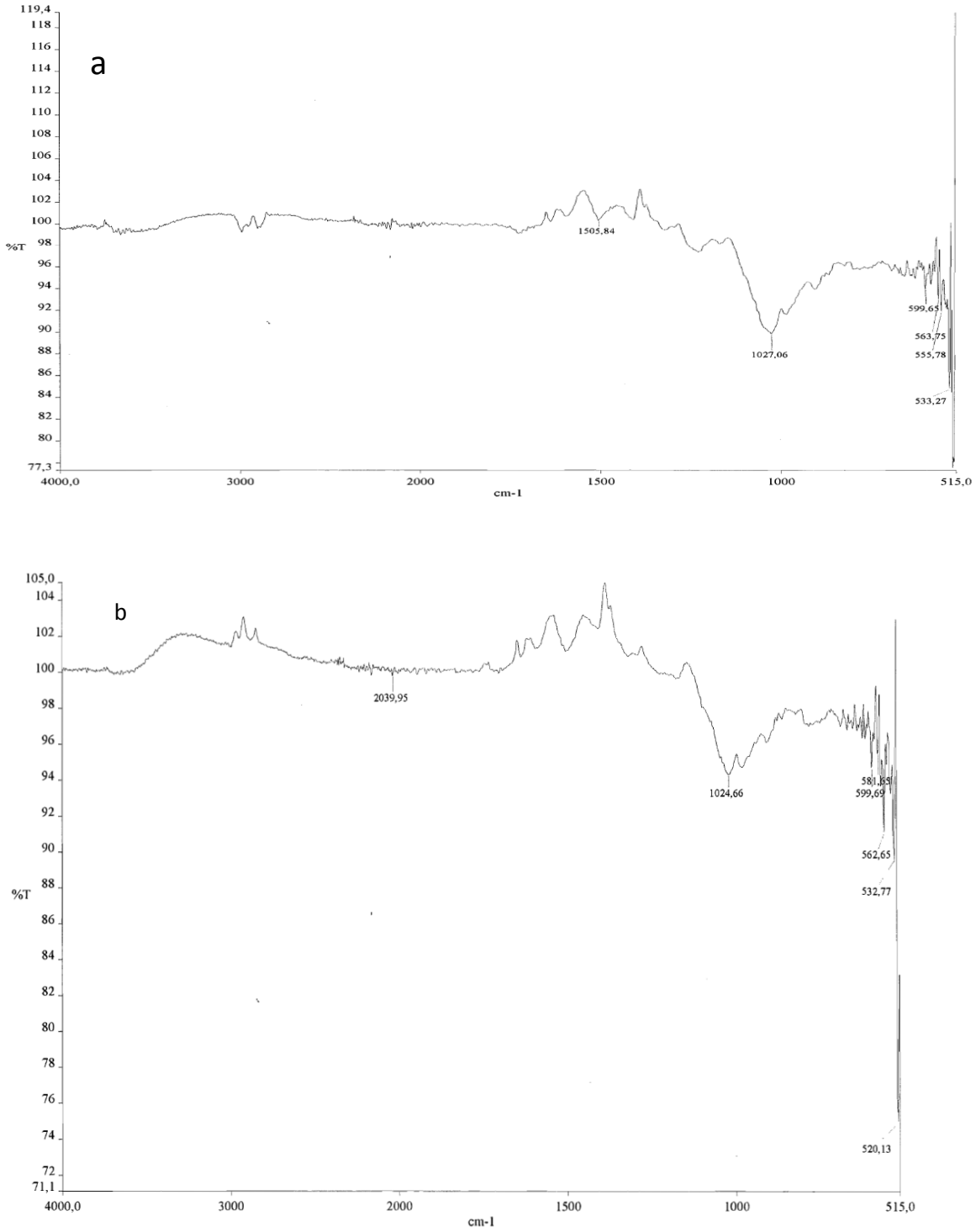


Figure 30. Spectre FTIR de l'andain A4 à : 0 jours (a) et 100 jours (b) de compostage.

De même pour l'andain 4, on constate d'une manière générale une légère différence entre t0 et le T100 des bandes aux alentours de 3500 cm^{-1}à 3000 cm^{-1} et 950 à1200 cm^{-1} qui correspondent respectivement aux OH des alcools, phénols, carboxyliques et des esters aromatique (voir le tableau n°1 des principales bandes d'absorbance en infrarouge).

Les principales bandes d'absorbances en infrarouge moyen sont présentées dans le tableau 11.

Tableau 11. Les principales bandes d'absorbances en infrarouge moyen

Bandes et pics (cm^{-1})	**Groupements Fonctionnels**
3300-3400	Liaison H de OH des alcools, phénol, des acides carboxyliques aussi bien que des liaisons H de N-H
2920-2930	C-H des structures alkyles ou des méthoxyles
1630-1650	C=C aromatiques, C=O amide I, cétones et quinone
1600	C=C aromatiques, C=O, COO-
1540-1550	Amides II
1400	OH de phénols, COO-, -CH3
1260-1200	Amides III ou C-O-C des esters aromatiques
1200-1100	Amide III, acides ou alcools aliphatiques, déformations C-O et O-H des groupements carboxyliques des carbohydrates, C-O des aryles esters, des esters, particulièrement des composés organo-sulfurés
1170-1030	-C-O-C des carbohydrates, esters aromatiques, groupements Si-O-C

Conclusion

En agriculture, la pratique du compostage et l'utilisation de composts ont des implications environnementales, agronomiques et économiques. Il s'agit d'une problématique qui concerne l'ensemble des pays, pour lesquels le maintien ou la restauration de la fertilité des sols, est indispensable pour la sécurité alimentaire des populations dans le cadre d'un développement durable.

La synthèse bibliographique, présentée en premier chapitre, nous a montré que le compostage est très riche en information sur les caractéristiques de compost et l'intérêt des substances humiques qu'il contient. Les caractéristiques d'un compost sont déterminées par la nature des déchets compostés, les traitements et la durée de compostage.

L'objectif de ce travail consistait en un suivi du processus de compostage de sous-produits oléicoles : grignons et margines mélangés à des boues de station d'épuration, des déchets de marché et du fumier de volaille. Le dispositif choisi est le compostage en andain.

L'ensemble des andains ont atteint un pic de température autour de 56°C, ce qui indiquerait une bonne hygiénisation des composts. Les quatre andains présentent une phase mésophile courte (6jours) et une phase thermophile qui persiste toujours.

Les résultats de nos expériences montrent que le pH est basique, La diminution relative de matières organiques (rapport entre la masse de matière organique perdue et la masse de matière organique initiale) est très variable et dépend des conditions de compostage, de sa durée et des caractéristiques de la matière première. Les teneurs en éléments nutritifs (phosphore, potassium) des andains apres100 jours de compostage diffèrent en fonction de la composition et du traitement. Au bout de 100 jours de compostage, la dégradation de la matière organique est limitée en raison de la richesse en lignine, hémicellulose et cellulose des composés de départ. Elle est de l'ordre de 14,41% ; 18,75% ; 30,48% 23.36% pour les andains A1, A2, A3, et A4 respectivement. Les valeurs des rapports AH/AF montrent que les composts à T100 jours n'avait pas atteint la stabilité.

Les valeurs d'absorbance à 650 nm ont commencé à augmenter au voisinage de 100 jours de compostage, se qui indiquerait un début de formation des acides humiques.

Les spectres infrarouges des andains à 100jrs de compostage présentent une similarité aux spectres de départ c'est-à-dire peu de formation d'acides humique.

Les différents andains présentent une granulométrie au dessus de 6,3mm, ce qui indiquerait que les composts sont en cours de décomposition. Les composts présentent une fraction fine, particules petites et assez homogènes, et dont la texture se rapproche de celle d'un sol.

Le microscope électronique à balayage a montré un léger changement de la structure dans tous les andains après 100 jours de compostage, ceci est dû à la fragmentation des particules des constituants des andains.

Les résultats des analyses physiques, chimiques et spectroscopiques montrent que notre compost n'est pas arrivé à maturité, quoi que les indicateurs de bon déroulement et d'évolution du processus de compostage sont présents, à savoir :
Disparition de l'odeur désagréable du compost de départ ; on ne distingue plus à l'œil nu les composés d'origine, un changement de couleur et une diminution de volume des andains.

Perspectives :

Le compost produit à partir des sous –produits oléicoles présente une bonne évolution au cours de compostage à 100 jours. Ce travail pourrait donc se compléter par :

- analyser la lignine, la cellulose et l'hémicellulose

-Faire d'autre analyses physiques et chimiques

-continuer à suivre le processus de compostage

-augmenter les traitements

-faire le test de phytotoxicité

-Faire des essais aux sols afin de tester la valeur agronomique

-Diminuer les quantités de grignon d'olive qui se dégradent difficilement

-completer les analyses par spectroscopie RMN qui permettra de quantifier les structures - aromatiques

- C-C-C aliphatique

-COOH , C=O carbonyle

Annexes

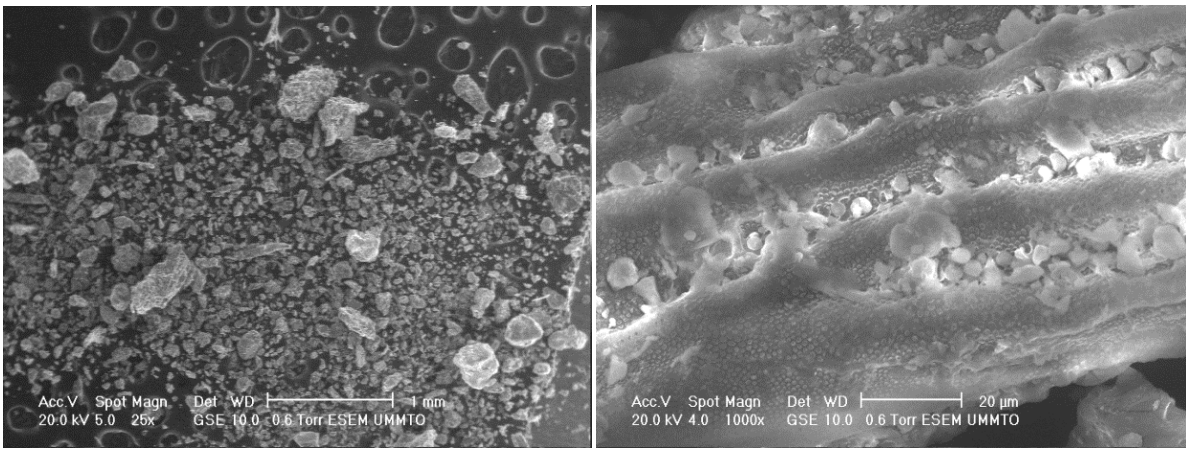


Figure 1 : L'andain 5 à T0x25 et x1000

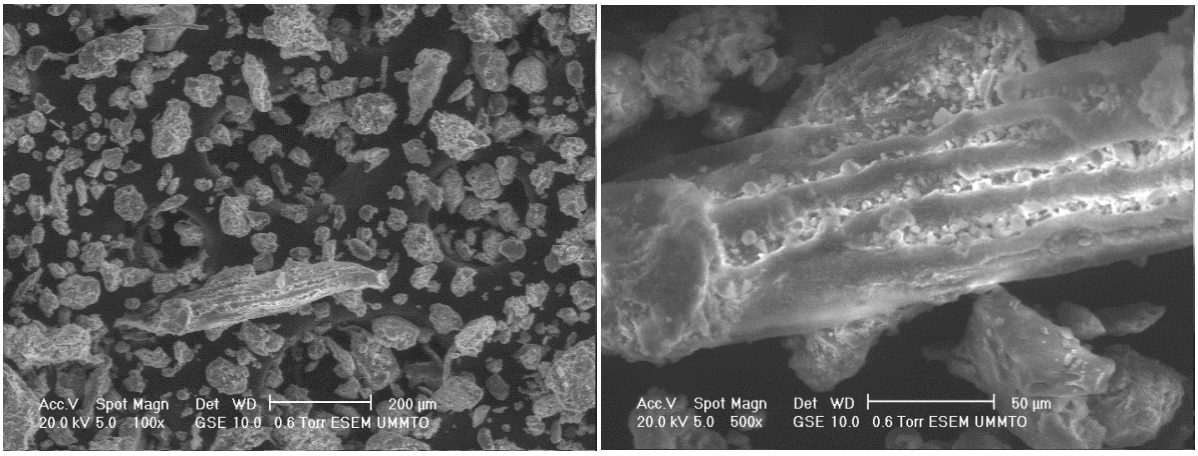


Figure 2 : L'andain 5 à T0x100 et x500

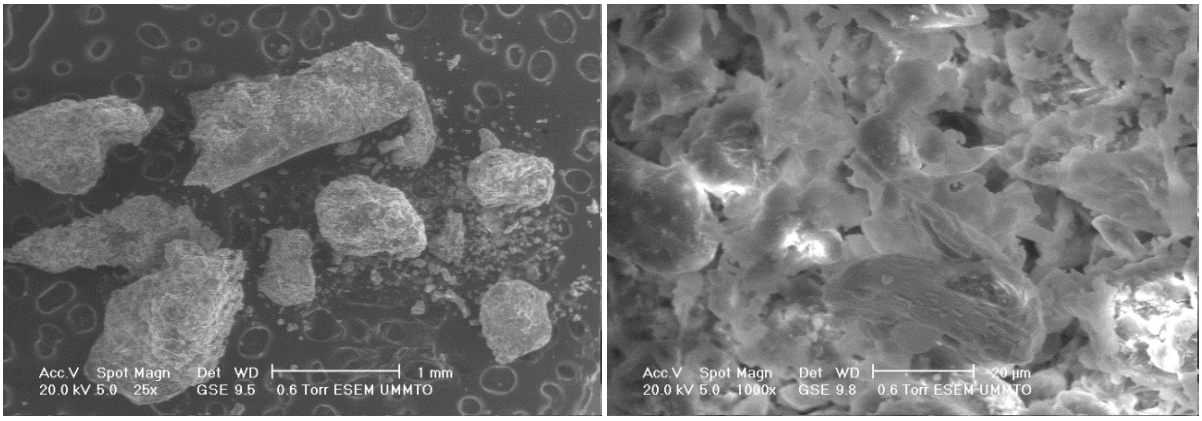


Figure 3 : L'andain 6 à T0x25 et x1000

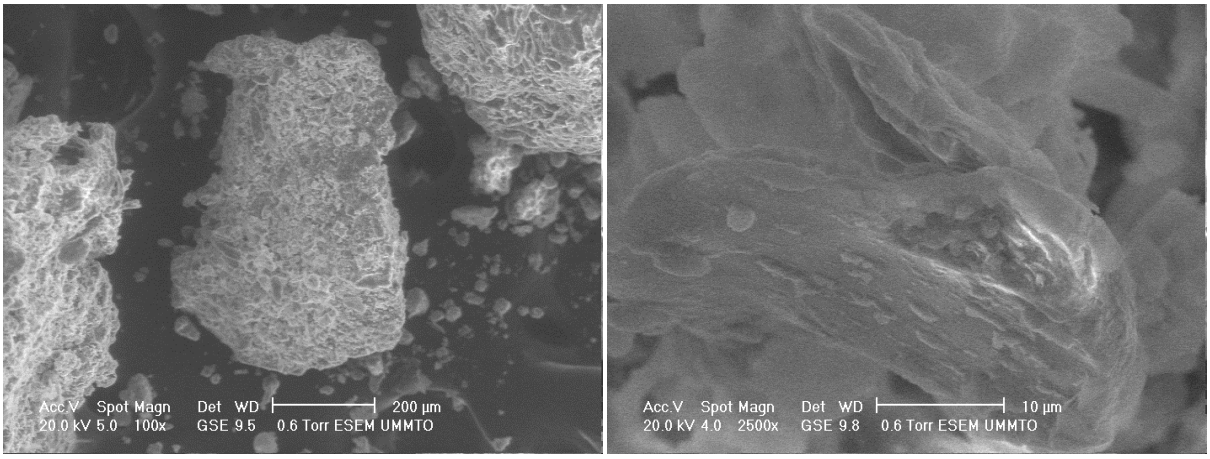


Figure 5 : L'andain 6 à T0x100 et x2500

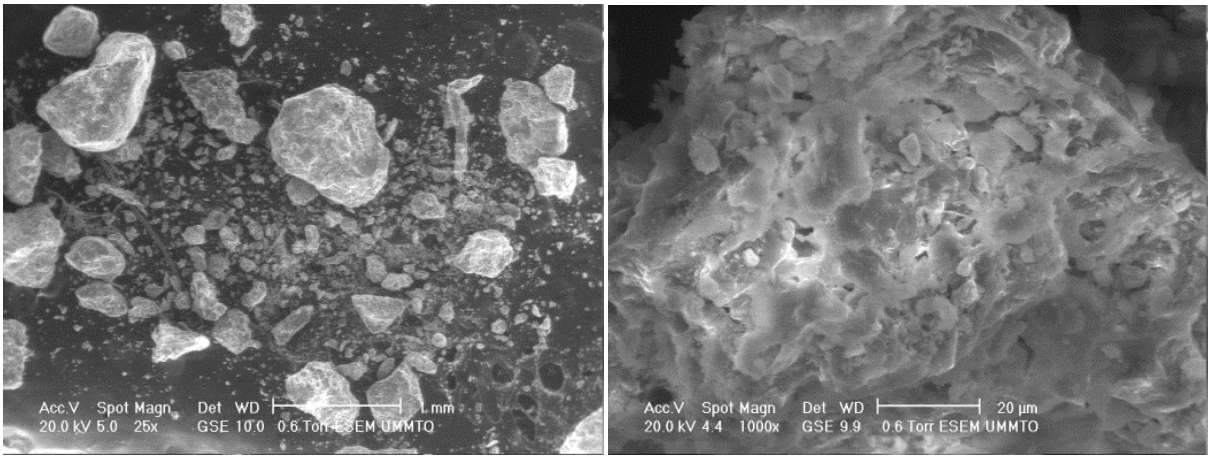


Figure 7 : L'andain 1 à T0x25 et x1000

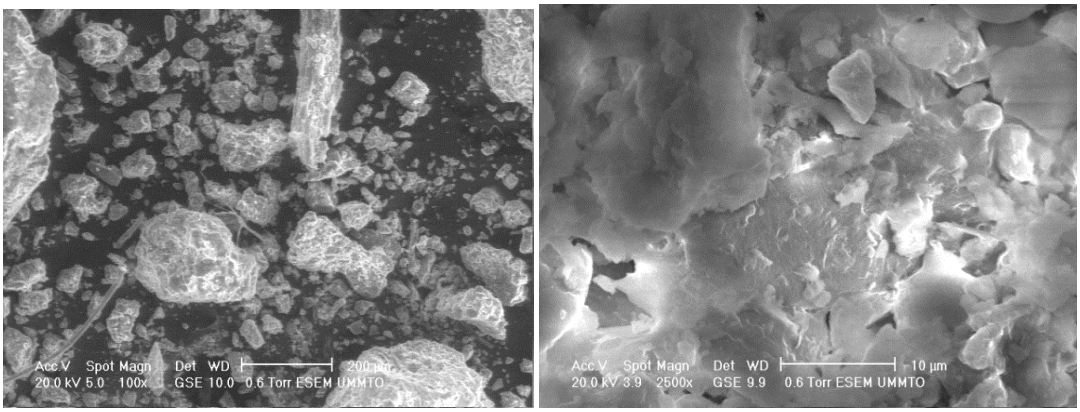


Figure 8: L'andain 1 à T0x100 et x2500

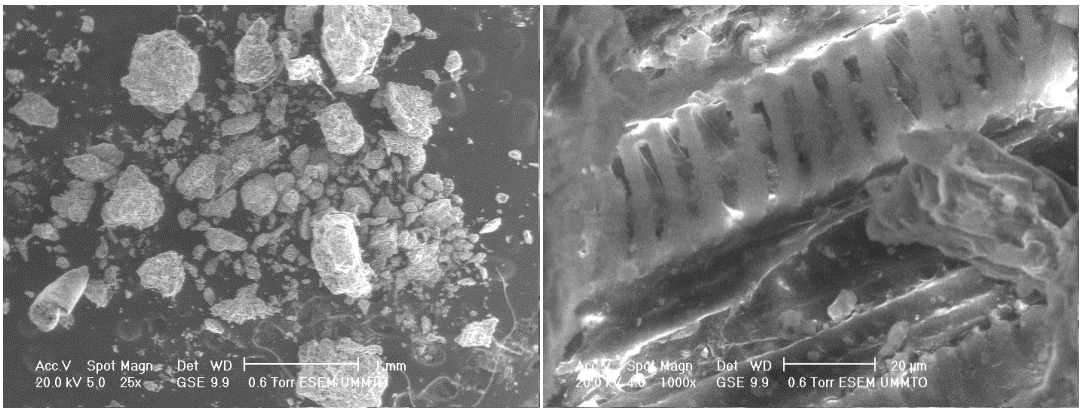


Figure 8 : L'andain 2 à T0x25 et x1000

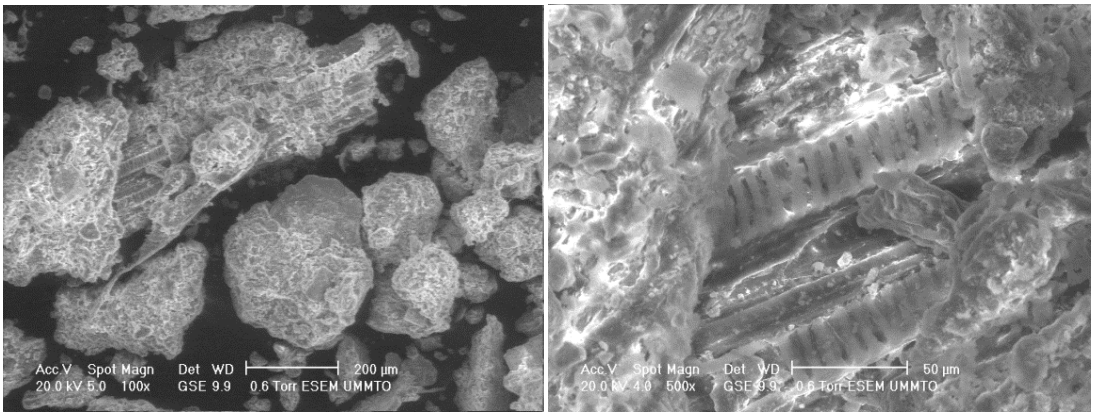


Figure 9 : L'andain 2 à T0x100 et x500

Résumé

L'objectif de ce travail était de valoriser les sous-produits de l'industrie oléicole. Quatre andains sont confectionnés. Tous les andains ont atteint des températures de 56°C
Le pH initial basique de 6,6 à 7,3 atteint des valeurs de 6,5 à 9,1 au bout de 100 jours de compostage. La diminution des teneurs en matière organique est faible en raison de la richesse en lignine des composés de départ. Les spectres IR des andains à 100 jours du compostage présentent une bonne similarité avec les spectres IR des andains du début du compostage. Un début de changement de la structure des particules à 100 jours de compostage. L'augmentation de l'absorbance à 650nm à 100jr du compostage semblerait signifier un début de formation des acides humiques. L'ensemble des résultats de la caractérisation chimique et spectroscopique indique que les composts ne sont pas encore en phase de maturation.
Mots clés : sous-produits oléicoles, compostage, valorisation.

Abstract

The objective of this work was to develop the by-products of olive-growing industry. Four wind-rows are made. All the wind-rows reached temperatures of 56°C

Basic initial pH from 6,6 to 7,3 reached values from 6,5 to 9,1 at the end of 100 days of composting. The reduction in the contents of organic matter weak because of the high content in lignin of is composed of departure. The spectra IR of the wind-rows at 100 days of composting present a good similarity with the spectra IR of the wind-rows of the beginning of composting. A beginning of change of the structure of the particles with 100 days of composting. The increase in the absorptance with 650nm with 100jr of composting would meanst a beginning of formation of the humic acids

The whole of the results of the chemical and spectroscopic characterization indicates that the composts are not yet in phase of maturation.

Key words: olive-growing by-products, composting, valorization.