

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT 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

**Contribution à la valorisation des sous produits oléicoles par co-compostage :
Caractérisation morphologique et spectroscopique**

Réalisé par :

AZZI Hakim

TEBANI Samir

Devant le jury :

Président: M BOUDJEMAA S.	MAA	UMMTO
Promotrice: Mme MOUAS BOURBIA S.	MCB	UMMTO
Co-promoteur : M RAHMONE Med A.	MAB	UMMTO
Examinatrice: Mme LOUNI D.	MAA	UMMTO
Examinatrice: M ^{elle} OMOURI O.	MAB	UMMTO

Promotion 2015/2016

Remerciements

Nous tenons à remercier Dieu tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage et la volonté d'effectuer ce modeste travail.

Au terme de ce présent travail, nous tenons à remercier :

Notre promotrice M^{me} MOUAS-BOURBIA S. d'avoir accepté de nous encadrer pour son suivi et ses conseils aussi que le temps précieux qu'elle nous a consacré.

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

Nous remercions vivement M^r BOUDJEMAA S. qui a bien voulu nous faire l'honneur de présider le jury.

Nous adressons également notre profonde reconnaissance à M^{me} LOUNI D. et M^{lle} Omouri O. pour avoir accepté d'examiner notre travail. D'autre part pour leur aide, leur patience, et leur disponibilité; qu'elles trouvent icil'expression de notre reconnaissance.

Nos vifs remerciements vont spécialement à nos très chères sœurs, camarades de promotion et ingénieurs de laboratoire Mme Tibiche G. et Issaoun D., pour leur soutien, leur gentillesse et surtout leur entière disponibilité à toutes nos sollicitations.

Nos vifs remerciements vont aussi à Mr le Directeur de l'ITMAS de Boukhalfa Mr TAMEN S. ainsi qu'à tout le personnel de l'institut, 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 la 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 ceux et celles qui nous ont aidé à réaliser ce travail.

Merci à tous.

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu le tous puissant est enfin achevé ce travail, lequel je dédie à toutes les personnes qui me sont chères :

A vous mes très chères parents, je vous dis merci pour vos aides et encouragements depuis mon existence. Que Dieu vous protège et vous accorde le bonheur, la santé et une longue vie.

A mon frères : Nacer

A ma sœur : Sara

A nos tantes, oncles, cousines et cousins

A mescher Amis : Rachid, Ahmed, Madjid, Ismail, Mohamed, Hakim, Ilias, Hadjer, Cylia, kahina, Nawal et

.

A toute la promotion MII de réhabilitation et restauration des sols.

Samir

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu le tous puissant est enfin achevé ce travail, lequel je dédie à toutes les personnes qui me sont chères :

A vous mes très chers parents, je vous dis merci pour vos aides et encouragements depuis mon existence. Que Dieu vous protège et vous accorde le bonheur, la santé et une longue vie.

A mon frère : Lyes

A ma sœur : Zohra

A nos tantes, oncles, cousines et cousins Smail, Nacer, Makhoulf, Djamal, Farid, Sofiane, Mouloud, Said et Brahim ...

A mes cher Ami(e)s : Amine, Mokrane, Hamza, Massi, Sofiane, Badis, Moh, Rabah, Bili, Sabrina, Razika, Lynda, Yamina, Nawal, Lila, Sonia et Ghania...

.

A toute la promotion MIIde réhabilitation et restauration des sols.

Hakim

Introduction	1
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.....	3
I. Chapitre Généralités sur la matière organique des sols.....	4
I.1. Définition de la matière organique.....	4
I .2.Importance de la matière organique.....	4
I.2.1. Propriétés des matières organiques.....	4
I.2.2. Rôle de la matière organique.....	5
I.3. Origine de la matière organique	6
I.4. L'incorporation de la matière organique au sol.....	6
I.5. Evolution de la matière organique	7
I.5.1. La minéralisation de la matière organique.....	7
I.5.2. Phénomènes de stabilisation de la matière organique.....	7
I.6. Disponibilité des produits résiduels organique en Algérie	7
I.7. Les différents produits à composter.....	7
I.8. Disponibilité de produit résiduel organique a TiziOuzou.....	8
Conclusion.....	9
II Généralités sur le compostage	9
II.1 Définition du compostage.....	9
II.2. Objectifs du compostage.....	9
II.3. Les différentes phases du compostage.....	10
II.4.Valorisation agronomique des composts par apport d'éléments fertilisants	11
II.5. Les différents constituants utilisés pour le compost.....	11
II.5.1. Les boues de station d'épuration	11
II.5.2. Les déchets verts.....	12
II.5.3. Le grignon d'olive.....	12
II.5.4. Fumier de volailles.....	12
II.6. Les différents procédés de compostage	13
II.6.1. Compostage en andains	13
II.6.2Andains aérés passivement	13
II.6.3. Tas statique aéré	14

II.6.4. Compostage en récipients clos.....	14
II.6.5. Compostage en casier.....	14
II.7. Qualité du compost	15
Définition de la qualité d'un compost	15
III. Caractéristiques physique du compost.....	16
III.1.Mesure des Températures.....	16
III.2.La granulométrie	16
IV.Caractéristiques chimique du compost.....	16
IV.1.Mesure de Ph.....	16
IV.2. La matière organique.....	16
IV.3. Humification : rapport (AH/AF).....	16
V. Caractéristiques spectroscopique du compost.....	17
V.1. La spectroscopie UV- visible.....	17
V.2. La spectroscopie infrarouge (IR).....	17
V.3. Microscope électronique a balayage	17
VI. La Valeur agronomique du compost.....	18
Conclusion	18
Chapitre II :Matériels et méthodes	
I. Description du site expérimental	21
II. Dispositif expérimental.....	21
II.1. Origine des substrats de compost.....	21
II.2. Mise en place des andains.....	22
III. Méthode d'échantillonnage	27
IV. Caractérisations physiques.....	28
IV.1. La température	28
IV.2. La granulométrie.....	29
V .Caractérisations chimique.....	30
V.1.Détermination du Ph	30
V.2. La teneur en matière organique.....	30
V.3. Extraction des acides humiques et fulviques.....	30
VI.Caractérisations microscopique	31
VI.1. Spectroscopie UV – visible.....	31
VI.2. Analyse spectroscopique Infrarouge (IR)à transformé de Fourier.....	32
VI.3. Analyse morphologique par MEB.....	32

Chapitre III :Résultats et discussions	
I.	Evolution des paramètres physique de compostage.....34
I.1.	Evolution de la température34
I.2.	La granulométrie.....35
II.	Evolution des paramètres chimique de compostage.....36
II.1.	Evolution du pH36
II.2.	Evolution de la matière organique (MO)36
II.3.	Evolution des acides humiques et fulvique.....37
III.	Evolution des paramètres spectroscopiques de compostage40
III.1.	Spectroscopie UV – visible de compostage40
III.2.	Caractérisation du compost par le microscope électronique à balayage(MEB).....41
III.3.	Les résultats de l’analyse infrarouge (IRTF)45
III.3.a)	Les résultats IRTF de l’andain A₃45
III.3.b)	Les résultats IRTF de l’andain A₄.....46
CONCLUSION50	

Listes des tableaux

Tableau 1 : Types de matière organique et leurs fonctions (Soltner, 2004).

Tableau 2 : synthèse de la composition des andains et des différents traitements du processus de compostage

Tableau 3 : Evolution de rapport AH/AF

Tableaux 4 : les absorbance à 450nm et 650nm des 4 andains sont présentes dans les tableaux

Listes des figures

Figure 1 : serre au niveau du site expérimental de Boukhalfa

Figure 2 : constituants brute ;(a) boues, (b) fumier de volaille et (c) grignon d'olive

Figure 3 : dispositif expérimental

Figure 4 : mise en place des andains

Figure 5: arrosage à l'eau(a), arrosage avec de la margine(b), et retournement des andain (c)

Figure 6: prélèvement des échantillons d'andain pour analyse

Figure 7: mesure de la température - l'andain(a), température ambiante(b)

Figure 8 : Extraction des acides humique et fulvique

Figure 9: Evolution de la Température au cours du compostage des andains.

Figure 10: la fraction granulométrique des différents andains

Figure 11: Evolution de pH au cours du compostage

Figure 12: Evolution des teneurs en matière organique

Figure 13 : Extraction des acides humiques et fulviques

Figure 14 : évolution du rapport E4/E6 en fonction de temps

Figure 15 : Observation des consttuants du compost en microscopie électronique à balayage.

Figure 16 : Image MEB de l'andain 3 à T₀

Figure 17 : Image MEB de l'andain 3 a 100 jours

Figure 18 : spectre de l'andain A3 à T₀ jour

Figure 19 : spectre de l'andain A3 à T 100jour

Figure 20 : spectre de l'andain A4 à T₀ jour

Figure 21 : spectre de l'andain A4 à T 100jour

Chapitre 1

Synthèse bibliographique

I. Généralités sur la matière organique des sols

I.1. Définition de la matière organique

On désigne sous le terme de matière organique un ensemble de substances organiques de nature et de propriétés variées (Chamayou et Legros, 1987). La matière organique est définie comme la matière spécifique des êtres vivants végétaux et animaux (Mustin, 1987). Elle provient de l'activité de tout organisme présent à la surface ou à l'intérieur du sol. Une partie de cette matière organique est produite par les organismes vivants: déjections animales, exsudats racinaires, litière végétale et polysaccharides microbiens. Le reste est constitué par les débris des végétaux morts, les cadavres d'animaux et les cellules microbiennes lysées (Davet, 1996). On appelle également matière organique l'ensemble des composés organiques susceptibles d'être incorporés au sol.

Au sens large, la matière organique stable comprend les composés organiques résultant de la décomposition des résidus végétaux et animaux, les composés néo-synthétisés par les organismes vivants, ainsi que l'ensemble des organismes vivants du sol. Les quantités de matière organique stable et de carbone organique stable sont corrélées ; Par convention, on admet que la matière organique stable est égale à 1.727 fois la teneur en carbone organique du sol (Stevenson, 1994). La majorité de la matière organique stable est issue de la végétation (parties aériennes et souterraines) (Kögel-Knabner, 2002).

I.2. Importance de la matière organique

I.2.1. Propriétés des matières organiques

Un sol prend naissance dès lors que la vie végétale et animale vient s'installer dans les débris issus de la décomposition d'une roche mère. A la mort de ces êtres vivants, leur matière s'incorpore au sol, se mélangeant aux substances minérales. Ils représentent alors les « constituants organiques » ou « matières organiques » (Soltner, 2004).

Par rapport à une approche plus fonctionnelle, nous pouvons classer différents types de matières organiques pour différentes fonctions.

Tableau1 : Types de matière organique et leurs fonctions (Soltner, 2004).

Type de MO	Fonction
------------	----------

Matière organique vivante : végétaux et animaux vivants	Transformation/minéral
Matière organique fraîche : débris végétaux et animaux	Substrat énergétique et croissance/fertilité chimique
Matière organique transitoire : matières évoluées (cellulose réduite, lignine, protéines)	Substrat énergétique/fertilité physique (structure du sol)
Matière humique : lignine, cellulose, matières azotées microbiennes	Fertilité physique (stabilité à long terme)

I.2.2. Rôle de la matière organique

Dans le sol, les matières organiques stables assurent de nombreuses fonctions agronomiques et environnementales.

- assurent le stockage et la mise à disposition pour la plante, par minéralisation, des éléments nutritifs dont elle a besoin.
- stimulent l'activité biologique, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol.
- la structuration du sol et sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique.
 - favorisent le réchauffement du sol (coloration plus sombre des matières organiques).
 - contribuent à la perméabilité, l'aération du sol et la capacité de rétention en eau.
 - jouent un rôle fondamental pour les autres compartiments de l'environnement en participant au maintien de la qualité de l'eau par leur forte capacité de rétention des polluants organiques (pesticides, hydrocarbures...) et minéraux (éléments traces métalliques). Mais elles peuvent être aussi source de polluants potentiels, comme les nitrates et les phosphates
- Elles influencent également la qualité de l'air, par le stockage ou l'émission de gaz à effet de serre. Elles ont un rôle de puits ou d'émetteur de carbone (principalement sous forme de CO₂). Certains changements d'usage des pratiques agricoles favorisent le stockage du

carbone dans les sols (conversion de cultures en prairies). Au contraire, la mise en culture de ces prairies entraîne une diminution du stock de carbone.

Les matières organiques jouent un rôle important dans le fonctionnement global du sol au travers ses composantes physiques, biologiques et chimiques, qui ont des conséquences majeures sur la fertilité des sols (Soltner, 2004).

I.3. Origine de la matière organique

La matière organique du sol est issue de la fragmentation et de la décomposition partielle de matières d'origine biologique. De nombreux organismes vivants, hétérotrophes trouvent dans la matière organique sèche du sol une source de carbone et d'énergie. Les matières organiques sèches présentent dans les fractions granulométriques les plus fines est composés des molécules les plus récalcitrantes à la dégradation. Cette distribution de la matière sèche organique est la conséquence de l'utilisation préférentielle des molécules les plus labiles c'est à dire de faibles poids moléculaires et linéaires par les microorganismes vivant dans le sol.

I.4. L'incorporation de la matière organique au sol

Cette incorporation a été suscitée par l'opposition d'agriculteurs et de scientifiques à la fertilisation minérale et artificielle des plantes. En effet en 1946, a été créé en Grande-Bretagne la 'Soil Association' qui est issue du mouvement pour une agriculture organique inspirée par les théories développées par Albert Howard dans son 'Testament agricole'. Celui-ci opposa aux fertilisants minéraux et artificiels.

Comme l'indique son appellation anglaise 'Organic Agriculture', cette agriculture est basée sur la fertilisation du sol par l'apport de matières organiques, celles-ci en plus de leur rôle de réservoir d'éléments nutritifs, ont un rôle majeur dans la fertilité physique des sols, de leur aération et de leur résistance à la dégradation et l'érosion.

I.5. Evolution de la matière organique

I.5.1. La minéralisation de la matière organique

La minéralisation de la matière organique est un processus de dégradation. Ses conséquences principales sont la diminution de la teneur en matière organique dans un sol, et une disparition sélective de certains composés (Abiven, 2004).

La décomposition d'une matière organique s'exprime en termes de carbone minéralisé et de types

de molécules présentes dans le sol au cours du temps.

I.5.2. Phénomènes de stabilisation de la matière organique

Une matière organique est dite stable lorsqu'elle est résistante à la biodégradation (Dignac et al. 2006). Les processus d'humification font partie de ces processus de stabilisation. La matière organique se stabilise et devient réfractaire à la dégradation (Gleixner et al. 2002 ; Zaccone et al. 2007). La stabilisation peut aussi être due à des processus physiques, et liée dans ce cas aux interactions avec la matrice minérale. On parle de *protection physique* de la matière organique (Tisdall et Oades, 1982 ; Piccolo et Mbagwu, 1999 ; Chenu et al., 2000 ; Rumpel et al., 2004 ; Pulleman et Marinissen, 2004 ; Barral et al., 2007).

I.6. Disponibilité des produits résiduels organiques en Algérie

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.

I.7. Les différents produits à composter

Le compostage de la matière organique peut être réalisé à partir de différents déchets entrants. On distingue :

- Les ordures ménagères brutes non triées ou ordures grises 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'égagement, 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, ...).
- Les sous-produits de l'industrie agro-alimentaire (IAA). Ceux-ci peuvent être de diverses natures.
- Les effluents des huileries : grignon d'olive, margine.

I.8. Disponibilité de produit résiduel organique a Tizi Ouzou

A Tizi Ouzou l'olivier constitue la principale espèce fruitière plantée. En effet, la superficie globale de l'oléiculture dans la wilaya de Tizi-Ouzou est estimée à 13271.25 ha avec une production atteignant les 229090 qx (D.S.A de Tizi-Ouzu, 2012).

L'industrie oléicole engendre, en plus de l'huile comme produit principale, de grandes quantités de sous-produit solide (grignons d'olive) et liquide (margine).

Ces rejet des effluents des industries productrices d'huile d'olive tel que les grignons et margine posent un problème majeur surtout dans les pays du bassin méditerranéen. Il en résulte un impact négatif sur l'environnement qui se traduit par le colmatage des sols, la pollution des eaux superficielles et souterraines et le dégagement d'odeurs nauséabondes (Foutlane et al, 2002).

Conclusion

La présence de matière organique dans le sol est primordiale pour maintenir la fertilité du sol et pour réduire les pertes de substances nutritives. Le compost est un amendement organique, qui ajoute de la matière organique et des substances nutritives au sol.

La fertilité d'un sol ne se limite pas à sa consistance en tant que support de culture et à sa teneur en éléments minéraux, mais à un ensemble de pratiques agricoles dépendantes du milieu et des choix de l'agriculteur.

Pour entretenir la performance de ce milieu, qui semble être la principale source de production de denrées alimentaires, il est essentiel d'alimenter l'ensemble des constituants physiques, biologiques et chimiques par un amendement organique qui n'est pas polluant mais efficace c'est **le compost**.

II Généralités sur le compostage

II.1 Définition du compostage

Il existe de nombreuses définitions du compostage dans la littérature (Leclerc, 2001) mais une définition très générale pourrait être : le compostage est un procédé biologique aérobie de dégradation et de transformation de la matière organique, permettant d'obtenir un produit valorisable à partir d'un déchet. Le compostage est un processus complexe de traitement de déchets d'origines diverses utilisant la capacité des micro-organismes à dégrader la matière organique lors de la fermentation aérobie. Les déchets sont ainsi transformés en compost, utilisé notamment en agriculture comme fertilisant.

II.2. Objectifs du compostage

L'utilisation du compost a pour objectif d'améliorer la fertilité du sol (structure, aération, humidité, capacité d'absorption des minéraux, activation de la vie biologique du sol).

La mise en décharge étant interdite pour de nombreux bio-déchets, leur incinération coûteuse et peu populaire, le compostage devient de plus en plus une solution pratique, simple. Elle présente de nombreux avantages, le principal étant la valorisation des déchets pour la production d'un amendement organique stable. En effet, le champ d'application, du compostage c'est élargi avec l'évolution des techniques de compostage et la problématique de gestion collective des déchets ménagers.

II.3. Les différentes phases du compostage

L'évolution schématique de la température au sein du compost permet de définir quatre phases au cours du compostage .Ces phases sont largement décrites dans la littérature (Leclerc, 2001).

➤ **La phase mésophile**

C'est la phase initiale du compostage. Durant les premiers jours de compostage, la présence de matières organiques facilement biodégradables entraîne une forte activité microbienne (bactéries et champignons) générant une forte production de chaleur et une montée rapide de la température au cœur du compost.

➤ **La phase thermophile**

Très vite la température atteint des valeurs de 60°C voire 75°C. Seuls les micro-organismes thermorésistants (essentiellement des bactéries) peuvent survivre à ces hautes températures. Au cours de cette phase, une part importante de matière organique est perdue sous forme de CO₂, et un assèchement du compost lié à l'évaporation de l'eau est souvent observé.

➤ **La phase de refroidissement**

La diminution de la quantité de matières organiques facilement dégradables provoque un ralentissement de l'activité microbienne. La chaleur générée par la dégradation microbienne est alors inférieure aux pertes dues aux échanges surfaciques et à l'évaporation, entraînant un refroidissement du compost. Cette phase de refroidissement peut être très progressive ou au contraire très rapide en fonction des conditions climatiques ou de la taille du tas de compost par exemple. Au cours de cette phase, des micro-organismes mésophiles colonisent à nouveau le compost.

➤ **La phase de maturation**

Au cours de cette dernière phase, les processus d'humification prédominent, ainsi que la dégradation lente des composés résistants. Cette phase de maturation dure jusqu'à l'utilisation des composts.

II.4. Valorisation agronomique des composts par apport d'éléments fertilisants

Un constat général est la chute du taux de matière organique et donc l'appauvrissement

des sols cultivés par excès d'utilisation d'engrais minéraux solubles (Bresson et al, 2001). Le premier intérêt des amendements organiques est donc une diminution de la part de ces engrais lixiviables et leur remplacement par des déchets organiques valorisés. Les applications de compost dans les sols améliorent durablement et efficacement la fertilité du sol selon les travaux de Guittonny-Larchevêque (2004). De même, cet auteur a montré que les amendements de compost favorisent le processus de reforestation en améliorant la nutrition et la croissance des plantes, et surtout en augmentant leur potentiel de survie en période de sécheresse.

La valorisation agronomique des composts est aussi souvent comprise comme étant l'apport d'éléments fertilisants. Les substances organiques sont caractérisées par trois éléments principaux: Carbone, Hydrogène et Oxygène représentant en masse plus de 90 % du résidu sec des végétaux. Cependant, de nombreux autres éléments font partie des éléments nutritifs majeurs pour les plantes. Ceux-ci sont classés en deux groupes: les macroéléments tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le soufre, le calcium et le magnésium présents à des proportions de quelques pour mille à quelques pour cent de la matière sèche et les éléments nutritifs secondaires ou oligo-éléments (proportion inférieure à 0,1 % de la matière sèche).

II.5. Les différents constituants utilisés pour le compostage

II.5.1. Les boues de station d'épuration

Les boues de station d'épuration sont issues du traitement des eaux usées domestiques ou industrielles. En effet, l'eau consommée ou utilisée par l'homme à l'échelle domestique ou industrielle génère inévitablement des déchets. Les eaux usées sont recueillies par les égouts et dirigées vers les stations d'épuration afin d'être purifiées avant leur réintroduction dans le milieu naturel. Leur traitement dans les stations permet de séparer une eau épurée d'un résidu secondaire, les boues, bien pourvu en matière organique, azote, phosphore ainsi qu'en oligo-éléments. Le traitement des eaux usées permet d'éliminer, d'une part, la partie la plus facilement dégradable de la matière organique et, d'autre part, les différents composés dont les eaux sont chargées (débris alimentaires, graisses, fibres textiles et cellulosiques, savons, lessives et détergents) avant leur réintroduction dans le cycle de l'eau.

II.5.2. Les déchets verts

Les déchets de marché sont des déchets organiques issus de rejets de marché de gros de fruits et légumes.

II.5.3. Le grignon d'olive

Les grignons d'olive sont un sous-produit du processus d'extraction de l'huile d'olive composé des peaux, des résidus de la pulpe et des fragments des noyaux. Les grignons sont les résidus solides résultant de l'extraction d'huile, alors que les résidus liquides sont dénommés margines. Depuis les années 1990, où les exigences environnementales relatives aux rejets liquides à charge polluante non nulle ont pris de l'ampleur, les moulins à huile rejettent de moins en moins de margine, mais au contraire des grignons à teneur en eau plus élevée, appelés « grignons pâteux » ou « marginions » (contraction de margines et grignons, à l'instar de alperujo, contraction de alpechin et orujo en Espagne). Le terme « grignons » est cependant le seul utilisé dans les textes réglementaires, la seule différence entre les grignons classiques et les grignons pâteux étant la teneur en eau.

Les utilisations principales des grignons sont les suivantes :

- ✓ Livraison aux raffineries pour l'extraction de l'huile de grignons ;
- ✓ Epandage comme amendement sur les terres agricoles, de préférence après compostage ;
- ✓ Emploi comme combustible pour le chauffage ;
- ✓ Emploi dans l'alimentation du bétail, en particulier les ovins ;
- ✓ Le grignon est un additif très approprié pour les unités de gazéification pour la production de biogaz ;

II.5.4. Fumier de volailles

Le fumier présente l'ensemble des déjections de volailles, mêlées à un support de paille ou de copeaux de bois. Les fumiers de volaille (poulets de chair ou dindes) sont beaucoup trop secs pour être compostés tels quels. En effet, leur taux de matière sèche est la plupart du temps compris entre 60 et 75%. Leur humidification est donc nécessaire pour les ramener à un taux compatible avec le compostage, c'est à dire entre 40 et 50% de matière sèche.

Les fumiers de départ sont généralement très riches en azote (2,5 à 3% de produits brut), avec un rapport C/N relativement bas, ce qui constitue des facteurs favorisant les pertes d'azote sous forme gazeuse représentant 40% de l'azote de départ et ont tendance à être plus importantes avec les fumiers de dindes (46%) qu'avec les fumiers de poulets (26%). Malgré ces pertes, le compost de fumiers de volailles, avec une teneur en azote qui reste supérieure à 2%, reste un des plus azotés parmi les composts d'effluents d'élevage (Aubert, 1998).

II.6. Les différents procédés de compostage

Il existe une grande variété d'usines de compostage allant des plates-formes les plus simples, constituées uniquement d'une surface à l'air libre pour placer les andains et de quelques engins (broyeurs, tracto-pelles), aux plates-formes les plus sophistiquées constituées d'espaces abrités, d'appareils de contrôle continu de la température, de la teneur en oxygène, de systèmes de ventilation etc....

II.6.1. Compostage en andains

Le compostage en andains consiste à placer un mélange de matières premières dans de longs tas étroits appelés andains qui sont remués et tournés de façon régulière. Ces andains sont aérés essentiellement par un mouvement passif ou naturel de l'air (convection et diffusion gazeuse). Le taux d'échange avec l'air dépend de la porosité de l'andain. Ainsi, la taille de l'andain qui peut être effectivement aéré de cette manière est déterminée par sa porosité. Un andain composé de feuilles peut être bien plus grand qu'un andain humide contenant du fumier. Quand l'andain est trop grand, des zones anaérobies peuvent alors apparaître à proximité du centre et des odeurs sont libérées quand l'andain est retourné. Par contre, les petits andains perdent rapidement de la chaleur et risquent de ne pas réussir à atteindre une température suffisamment élevée pour permettre l'évaporation de l'eau et l'élimination des pathogènes et des graines d'adventices.

II.6.2 Andains aérés passivement

Avec la méthode des andains aérés passivement, de l'air est fourni aux composts par des tuyaux perforés, enfoncés dans l'andain, qui élimine la nécessité du retournement. Les extrémités des tuyaux sont ouvertes et l'air circule ainsi dans les tuyaux et à travers l'andain en raison de l'effet de tirage créé par les gaz chauds qui s'élèvent hors de l'andain. Comme les matières premières ne sont pas retournées quand les andains sont achevés, celles-ci doivent être parfaitement mélangées préalablement à leur mise en andain. Il est crucial d'éviter le compactage des matières lors de la préparation des andains.

II.6.3. Tas statique aéré

La méthode du tas statique aéré utilise le système d'aération par tuyau mais est plus avancée, car elle utilise un ventilateur pour fournir de l'air au compost .

Le ventilateur offre un contrôle direct du processus et permet de travailler avec des tas plus importants, sans retournement après le début du compostage. L'air est aspiré

ou soufflé à travers le tas. Le tas n'étant pas retourné par la suite, la sélection et le mélange initial des matières premières sont cruciaux afin d'éviter une mauvaise répartition de l'air et un compostage irrégulier. Le mélange a également besoin d'une bonne structure afin de conserver sa porosité tout au long de la période de compostage. Pour le compostage statique en tas, l'air peut être fourni de deux façons: un système d'aspiration avec l'air aspiré à travers le tas ou un système de soufflage grâce au ventilateur injectant de l'air dans le tas.

II.6.4. Compostage en récipients clos

Le compostage en récipient fait référence à un ensemble de méthodes qui confinent les matières à composter dans un bâtiment, un container ou un récipient. Ces méthodes sont basées sur l'aération forcée et des techniques de retournement mécanique qui visent à accélérer le processus de compostage.

II.6.5. Compostage en casier

Le compostage en casier est peut-être la méthode de compostage en récipient la plus simple. Les matières sont contenues par des murs avec le plus souvent un toit. Les bâtiments ou les silos permettent de stocker des quantités plus importantes de matériaux et d'utiliser l'espace au sol de manière plus efficace que ne le font les tas indépendants.

Les casiers permettent aussi d'éliminer les problèmes climatiques, de maîtriser les odeurs et d'offrir un meilleur contrôle de la température. Les méthodes de compostage en casier fonctionnent de la même façon que la méthode du tas statique aéré. Elles comprennent des procédés d'aération forcée à la base du casier et un petit nombre, voire aucun retournement des matériaux. Un mélange occasionnel des matières dans les casiers peut faire redémarrer le processus. Les matières à composter peuvent être déplacées d'un casier à l'autre. La plupart des principes et des conseils suggérés pour le tas aéré s'applique également au compostage en casier.

II.7. Qualité du compost

Définition de la qualité d'un compost

La qualité d'un compost est difficile à définir et demeure une notion évasive (Lasaridi et al, 2006). La stabilité et la maturité du compost sont essentielles pour une utilisation

optimale comme amendement et source de nutriments pour les plantes (Amir, 2005). Francou (2003) juge que le terme de maturité reste souvent ambigu, bien que fréquemment cité dans la littérature. Dans la majorité des articles, la stabilité et la maturité ne sont, soit définies que de manière implicite, soit pas définies du tout.

Deux approches distinctes coexistent pour décrire la qualité des composts.

- ✚ La première s'appuie sur la notion de transformation d'une matière organique initiale très fortement biodégradable, en une matière organique stable en fin de compostage. Le degré de stabilité du compost est alors estimé par la biodégradabilité des matières organiques et par leur humification (Garcia et al., 1993; Bernal et al., 1998; Chen, 2003; Grigatti et al., 2004; Castaldi et al., 2005c; Adani et al., 2006; Tang et al., 2006).
- ✚ La seconde approche considère les effets du compost sur les végétaux. Le degré de maturité est, dans ce cas, relié à l'absence de préjudice pour les plantes suite à l'utilisation de compost. En effet, Tiquia et al. (1997) expliquent que l'apport de compost immature dans un sol engendre des effets négatifs sur la germination et sur la croissance et le développement des plantes.

Dans cette optique, le meilleur indicateur de maturité d'un compost reste l'estimation de sa phytotoxicité. De nombreuses études de cet aspect (Tiquia et Tam, 1998; Albuquerque al, 2006) suggèrent qu'un compost stable ne signifie pas nécessairement qu'il soit mature puisqu'il peut encore avoir un effet inhibiteur ou phytotoxique sur la croissance des plantes.

Le compost peut- être considéré comme mature lorsque (Jimenez et Garcia, 1989).

- La température est stabilisée en dessous de 30°C ;
- Il ne s'échauffe plus lors du retournement ;
- La matière organique se stabilise ;
- Il ne se dégrade plus en anaérobie pendant le stockage ;
- Il ne doit pas immobiliser l'azote du sol ;
- Il ne doit pas présenter de toxicité vis-à-vis des plantes ;
- Il doit présenter la bonne odeur caractéristique du terreau ;
- Il ne doit pas contenir de métaux lourds au-delà des normes admises .

III. Caractéristiques physiques du compost

La majorité des études, relatives au degré de maturité des composts, se base sur l'évolution des paramètres physico-chimiques tels que la température , l'humidité la densité la granulométrie.

III.1 Mesure des Températures

Le suivi de la température est une mesure indirecte de l'intensité des dégradations. Il renseigne également sur la qualité du processus de dégradation : un épuisement en oxygène peut ainsi être décelé puis corrigé par des apports complémentaires (retournement).

De plus, ce suivi caractérise au début du processus la qualité de mélange. Les variations des montées de températures sont fonction de l'aération et de la composition du substrat.

III.2. La 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 (Charnay, 2005).

Si la granulométrie est trop fine, elle provoque un <<étouffement>>, si elle est trop grossière elle provoque un dessèchement dû à des circulations d'air importantes (Amir, 2005).

IV. Caractéristiques chimique du compost

IV.1. Mesure de pH

Le pH a été l'un des premiers indicateurs chimiques de la maturité des composts et a été utilisé dans de nombreuses études. Jimenez & Garcia (1991) et Cayuela et al. (2006) ont en effet observé une élévation du pH pendant le compostage. Selon Avnimelech et al. (1996), les pH acides sont caractéristiques des composts immatures alors que les composts mûrs ont des pH compris entre 7 et 9.

IV.3. Humification : rapport (AH/AF)

Les processus d'humification ont incité de nombreux auteurs à étudier les matières organiques humifiées ou substances humiques. Le fractionnement chimique de la matière organique en humine, acides humiques et fulviques a conduit certains auteurs à élaborer des indicateurs de maturité. Des études montrent notamment une augmentation significative du rapport acide humique sur acide fulvique (AH/AF) au cours du compostage (Veeken et al., 2000 ; Jouraiphy et al., 2005; Huang et al., 2006). Les résultats trouvés dans la littérature sont assez concordants avec des valeurs inférieures à 1 pour des composts immatures, et supérieures à 1 ou 3 pour les composts mûrs.

V. Caractéristiques spectroscopique du compost

V.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).

V.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.

V.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.

VI. La Valeur agronomique du compost

La qualité d'un compost se juge sur ses qualités comme amendement organique dans les sols. La valeur amendante est l'aptitude des composts à entretenir ou augmenter le stock de matière organique du sol (Francou, 2003). Le compost agit tout d'abord en apportant des éléments nutritifs aux sols et aussi en entretenant ou en augmentant le stock de matière organique du sol amendé. Des tests en champ permettent d'estimer les bénéfices de l'apport de composts pour les sols et pour les cultures (Riveroet al., 2004).

Conclusion

Cette technique du co compostage permettant de produire un amendement organique riche en matière organique stable et humifiée. Ce procédé aérobie se déroule suivant deux phases principales.

La première est caractérisée par une forte activité biologique en début de compostage, engendrant une forte minéralisation des matières organiques et une élévation de la température.

La seconde est une phase de maturation pendant laquelle les processus d'humification engendrent une stabilisation de la matière organique.

La voie naturelle de valorisation par compostage comporte de nombreux avantages notamment la réduction des volumes de déchets, l'hygiénisation et la stabilisation de la matière organique.

L'incorporation de compost aux sols s'avère efficace pour lutter contre la dégradation de la surface des sols et améliorer sa porosité et sa structure.

Les applications de compost dans les sols permettent également une diminution de l'apport des engrais minéraux lixiviables.

La deuxième partie de cette synthèse bibliographique a concerné les aspects biochimiques du compostage. Les composés organiques potentiellement retrouvés dans les composts de boues de station d'épuration de déchets de marchés grignon d'olive et fumier de volaille sont ainsi distingués en substances non-humiques et substances humiques. Les substances humiques sont des composés organiques stables, impliqués dans de nombreux processus au sein des composts et dont la structure moléculaire est mal connue. Le compostage entraîne la minéralisation ou l'humification des matières organiques, l'humification se faisant à partir de quatre voies théoriques de formation.

La dernière partie de la synthèse bibliographique s'est focalisée sur le concept de qualité des composts et notamment sur la maturité des matières organiques. Dans ce but, une description non exhaustive des différentes techniques d'étude de la stabilisation des matières organiques (spectroscopie UV, IR, MEB) ainsi que des critères d'évaluation de la maturité des composts a été effectuée.

Cependant, il est primordial de connaître l'état et la qualité des composts utilisés comme amendement dans le cadre d'une bonne gestion de ces amendements organiques.

En effet, des composts immatures peuvent produire des effets néfastes tels que des déficiences en N pour les plantes ou des effets phytotoxiques lors de leur application aux sols.

Chapitre 2

Méthodes et Matériels

V. Description du site expérimental

L'expérimentation a été conduite dans une serre placée à l'institut de technologie de montagne agricole spécialisé (I.T.M.A.S), localisée dans la région de Boukhalfa au nord de la wilaya de Tizi Ouzou (figure 1).



Figure 1 : serre au niveau du site expérimental de Boukhalfa

VI. Dispositif expérimental

II.1. Origine des substrats de compost

Les boues d'épuration que nous avons utilisées proviennent de la station Est de traitement des eaux usées de Tizi Ouzou. Les déchets verts proviennent de déchets de marché de gros de Tadmaït, le grignon d'olive et les margines proviennent d'huilerie de Mekla. Le fumier provient d'une exploitation agricole de Draa El Mizan.

Les andains sont constitués de grignons d'olives, déchets verts, de boues d'épuration et de fumier de volailles. Chaque andain a été réalisé et mis en place le 27/12/2015.



Figure 2 : constituants bruts ;(a)boues, (b) fumier de volaille et (c)grignon d'olive

II.1. Mise en place des andains

Le procédé de compostage utilisé est un compostage en andains. Chaque andain est de forme trapézoïdale avec une hauteur initiale de 1.5m, de 3 m de longueur et 3 m de largeur (figure 2). Le volume de chaque andain est de 11.25 m^3 . Les andains sont disposés dans une serre de 50m de longueur, 8m de largeur, est orientée vers le Nord Est. Le sol de la serre est : terrassé, damé et couverte par une bâche noire , pour éviter la pollution du sol et de la nappe phréatique par les lixiviats. (Figure 3).

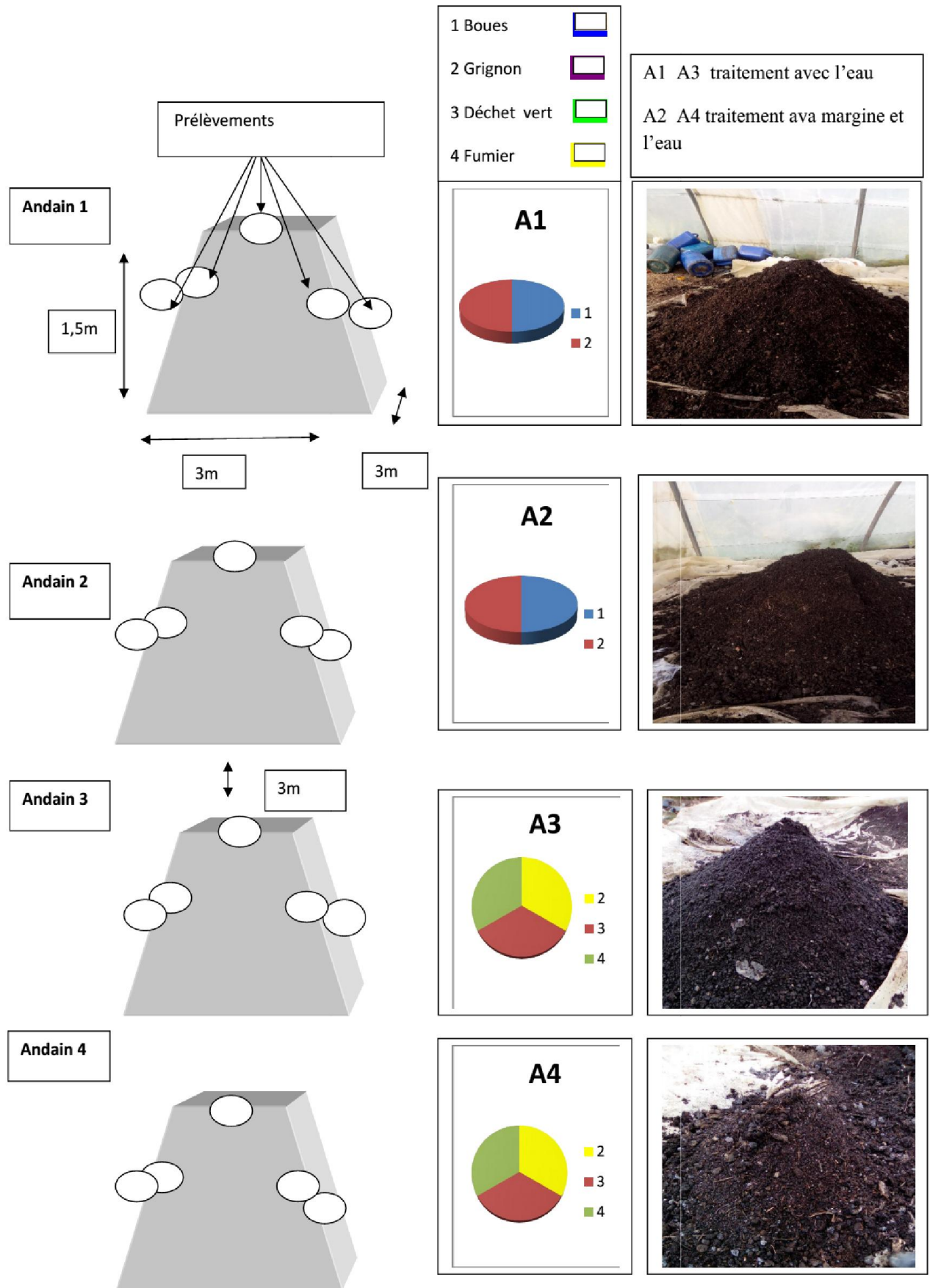


Figure 3 : dispositif expérimental

Tableau 2 : synthèse de la composition des andains et des différents traitements du processus de compostage

Substrat	Andains			
	A1	A2	A3	A4
Grignon III phases	50%	50%	33%	33%
Boue	50%	50%	0	0
Fiente	0	0	33%	33%
Déchet vert	0	0	33%	33%
Liquide d'arrosage	Eau	Eau+margine	Eau	Eau+margine
Nombre d'arrosage	7	7	6	6
Quantité d'eau (L)	1400	650	1050	420
Quantité de margine	0	350	0	350
Nombre de retournements	10	10	9	9

Après la mise en place de tous les andains, ces derniers sont arrosés avec de l'eau et/ ou de la margine à chaque fois que leur humidité diminue en dessous de 60% (une humidité idéale pour l'activité microbienne). Nous avons procédé à des retournements manuels pendant le compostage à chaque fois que cela était nécessaire afin d'éviter la trop forte montée des températures(ou dessus de 70°C) qui tuerait les organismes vivants responsables de la biodégradabilité. Et afin d'éviter aussi la chute très importante de la température, signe de ralentissement de l'activité biologique.



Figure 4 : mise en place des andains



Figure 5: arrosage à l'eau(a), arrosage avec de la margine(b), et retournement des andain(c)

VII. Méthode d'échantillonnage

L'échantillonnage est réalisé en prélevant aux quatre points cardinaux de chaque andain, et ceci à des temps cimétrique. Les prélèvements ont été effectués au stade initial, à 15 jours, 45 jours, 75 jours et 100 jours (figure 6). Certain paramètres ont été mesurés sur un échantillon composite .Ce dernier est obtenu suivant la méthode de quartage d'après la norme U44-101 Chaque échantillon composite est réalisé à partir de différents prélèvements de même masse effectués sur les andains qui sont ensuite mélangés. Un échantillon représentatif de 1 kg est réalisé. Les échantillons sont mis dans des sachets en plastique numérotés et conservés à -20°C jusqu'à leur analyse selon la méthode préconisé par El Fels, (2014).



Figure 6: prélèvement des échantillons d'andain pour analyse

VIII. Caractérisations physiques

IV.1. La température

La température journalière ambiante a été enregistrée à l'aide d'un thermomètre placé au niveau de la serre. La température de chaque andain est mesuré durant tout le processus de compostage par un thermomètre gradué à 100C° ; Le thermomètre est introduit entièrement au niveau des points d'échantillonnage et laissé en place une dizaine de minute avant de note la température.

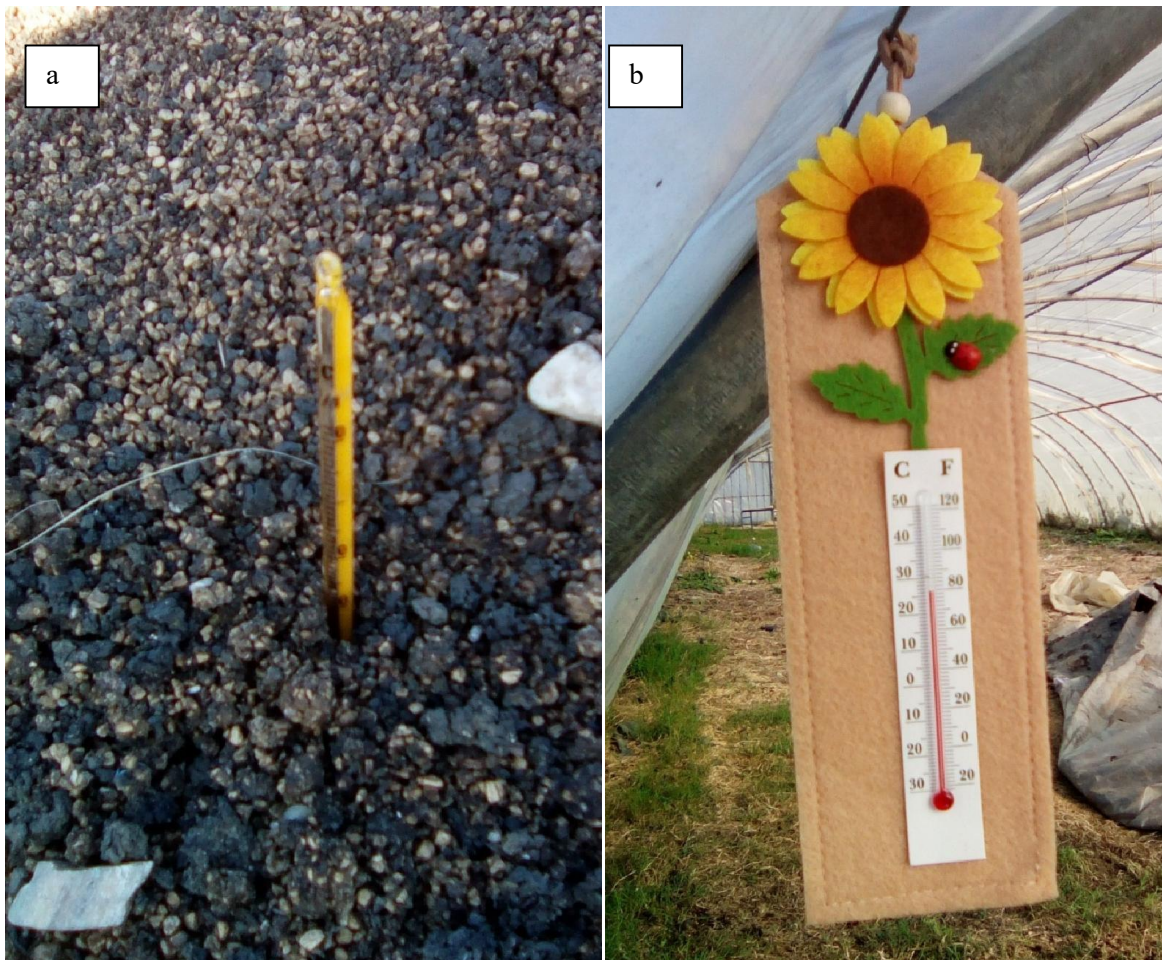


Figure7 : mesure de la température - l'andain(a), température ambiante(b)

IV.2. La granulométrie

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leur caractéristique (taille). La granulométrie est réalisée en utilisant des tamis à mailles carrées, la dimension nominale d'un tamis correspond à la longueur du côté de la maille (en mm) (norme NF X 11-501)

L'échantillon est homogénéisé manuellement.

- L'échantillon est tamisé sur une colonne de tamis de et 0.08, 0.16, 0.315, 0.5, 1.25, 2.5, 5 et 6,3mm.
- Peser de 1,5 kg d'échantillon sec, noter le poids et transférer l'échantillon dans le tamis de 5mm fermer le couvercle.
- Placer le montage sur l'agitateur mécanique et fixer solidement.
- Agiter à vitesse maximum pendant 15 mn.
- Retirer le montage et le défaire.
- Peser chaque fraction de l'échantillon.

V. Caractérisations chimique

V.1. Détermination du pH

La détermination du potentiel hydrogène ou pH est effectuée sur des suspensions aqueuses selon la norme (Afnor 2000). Une masse de 20 g de matière sèche est mise en solution dans 100 ml d'eau distillée. La suspension est homogénéisée par agitation va et vient pendant 10 minutes. La mesure du pH se fait directement par lecture sur un pH-mètre à électrode combiné.

V.2. La teneur en matière organique

Elle est déterminée par la perte en masse lors de la calcination à 480°C durant 6 heures de l'échantillon d'humidité résiduelle connue.

V.3. Extraction des acides humiques et fulviques

Les acides humiques (AH) et fulviques (AF) sont extraits par agitation à l'aide d'un agitateur va et vient, durant 2 heures à partir de 10 g de compost additionnés de 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 8000t/mn durant 15 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 d'acides fulviques (AF) est séparée de la fraction insoluble d'acides humiques (AH) par centrifugation à 10000 t/mn durant 10 min. Les deux fractions sont séchées dans une étuve à 105 °C pendant 48 heures.





Figure 8 : Extraction des acides humique et fulvique

IX. Caractérisations microscopique

VI.1. Spectroscopie UV – visible

L'analyse par spectroscopie UV- visible a été réalisée avec un appareil «spectrophotomètre ». Une masse de 0.06 g de compost a été placée dans le compartiment du solide. Deux absorbances spécifiques 465 et 650 nm permettent de calculer le rapport de Welt : E4/E6 (E465/E650), utilisés dans la littérature pour décrire les matières organiques (Swift, 1996; Zbytniewski et Buszewski, 2005).

VI.2. Analyse spectroscopique Infrarouge à transformé de Fourier

L'analyse par spectroscopie a été réalisée sur des pastilles de 2 mg de l'échantillon sec, à chaque stade de compostage, avec 400 mg de bromure de potassium (KBr), en utilisant un spectrophotomètre Perkin Elmer 1600, à une fréquence allant de 400 cm à 4000 cm et avec une vitesse de 16 nms⁻¹.

VI.3. Analyse morphologique par MEB

Les morphologies des échantillons des différent andains ainsi les 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.

Chapitre 3

Résultats et discussion

I. Evolution des paramètres physique de compostage

I.1. Evolution de la température

Godden (1986), Jimenez et Garcia (1989) ont montré que la température dans un compost en andain augmente pendant les premiers jours, jusqu'à 60 ou 75°C, puis diminue graduellement pour atteindre une valeur constante.

Les températures du compost étaient comprises entre 20 et 66°C, cette variation est due aux différentes phases de compostage, en début de compostage, les températures sont faibles et varient autour de 20°C. Au bout du 6^{ème} jour, une élévation de la température qui atteint 60°C est observée, cette production de chaleur par les micro-organismes est proportionnelle à la masse du tas ou de l'andain (Jimenez et Garcia (1989)).

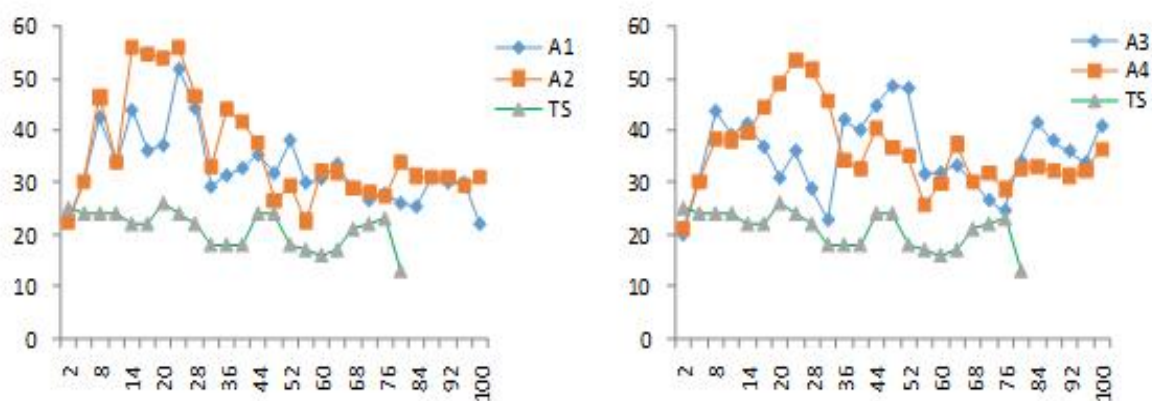


Figure 9: Evolution de la température au cours du compostage des andains.

L'évolution de la température (Figure 9), traduit l'évolution du processus de compostage. La montée rapide des températures au début du compostage, indique que nos mélanges sont de bonne qualité. De plus, les températures de l'andain 2 sont plus élevées que celles de l'andain 1, ce qu'est probablement due à l'effet de la marge, qui agit sur la phase thermophile, en augmentant les températures mais aussi en l'allongeant.

Les marges ont prolongé la phase thermophile, ce qui justifie le choix de leur utilisation et leur apport fractionné au cours du compostage.

On note à 100 jours, les températures des andains sont supérieures à la température ambiante de la serre, ce qui indique que les andains sont toujours dans la phase thermophile. Ceci montre la présence d'activité microbienne et indique que nos composts ne sont pas encore stables.

I.2. La 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 réduit et diminue l'accès puis la circulation de l'air, d'où 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 broyeur ou de cribleur.

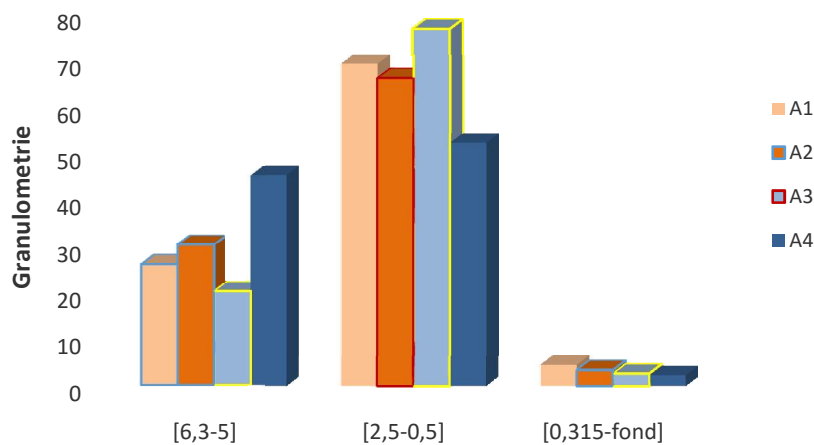


Figure 10: la fraction granulométrique des différents andains

Les quatre andains présentent une granulométrie dans laquelle, ce sont les éléments compris entre 0,5 et 2,5mm qui présentent la plus forte contribution ; 69,39% pour l'andain 1 52,35%. Pour l'andain 4 (figure10). Cette fraction fine est modérée par la forte proportion d'éléments de taille comprise entre 5 et 6,3mm. Cette fraction permettrait une meilleure aération des andains, enfin la proportion < à 0,315 mm est très peu représentée.

La granulométrie des éléments est homogène ce qui entraîne une bonne aération des composts, permettant aussi une bonne décomposition de la matière organique.

III. Evolution des paramètres chimique de compostage

II .1. Evolution du pH

L'évolution du pH au cours du compostage des différents andains est illustrée par la figure 11.

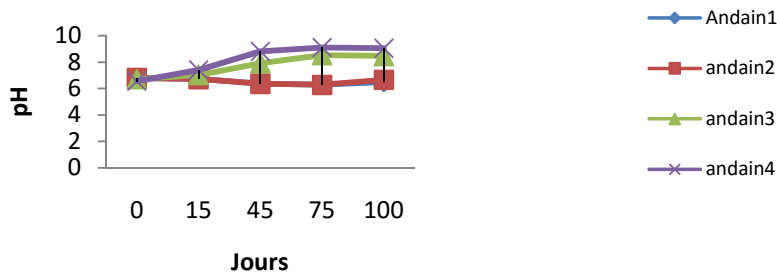


Figure 11. Evolution de pH au cours du compostage

D'après la figure 11, tous les andains ont au stade initial, un pH basique de 6,56 à 7, cette similarité des pH indique que la composition des andains n'a pas d'influence sur les pH jusqu'à 15 jours. Dès le 15ème jour, une augmentation significative des pH des andains 3 et 4 contrairement à ceux des andains 1 et 2.

Pour ce qu'est des andains 3 et 4 contenant du fumier de volailles, une augmentation de pH vers l'alcalinité (9,11) est observée. Ces valeurs très élevées, peuvent être expliquées par la libération des ions ammonium (NH_4^+) pendant le processus de compostage qui contribue à l'augmentation du pH (Cayuela et al., 2006 et Tang et al., 2004). Le fumier de volailles, composant de ces andains, pourrait expliquer l'augmentation de pH.

La nature du liquide d'arrosage n'a pas d'influence sur cette tendance d'alcalinité pour les andains 1 et 2, par contre l'andain 4, arrosé avec la margine qui est un effluent acide, comparativement à l'andain 3 qui est arrosé avec de l'eau.

II.2. Evolution de la matière organique

Les résultats sont représentés par la figure 12.

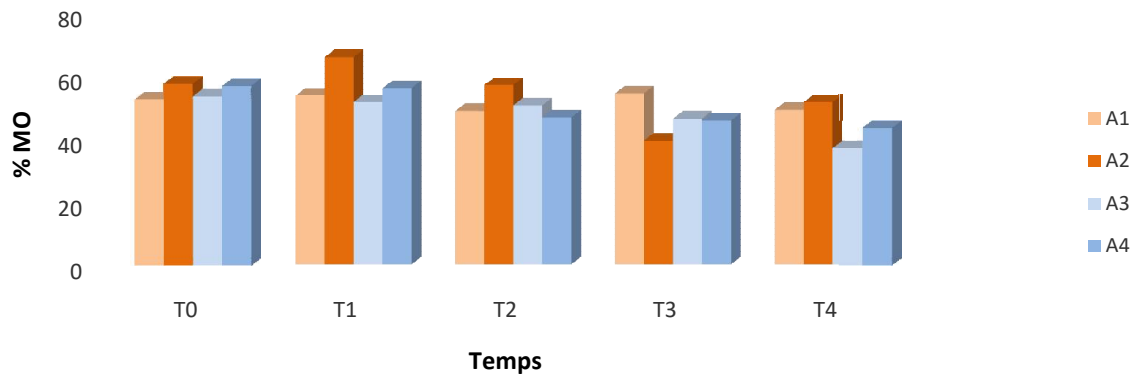


Figure 12. Evolution des teneurs en matière organique

Le taux de matière organique, mesuré à partir de la méthode de calcination, diminue légèrement au cours du compostage pour tous les andains, passant de 52 % à T0 jours à 49,33 % à 100 jours pour l'andain 1.

Pour l'andain 2, ce taux passe de 57,33 % à T0 jours à 51,66% après T 100 jours, cette différence est due à l'activité des micro-organismes.

La teneur en matière organique au bout de 100jours est faible, donc une dégradation limitée de celle-ci indique que les andains sont en phase de dégradation, est confirmé d'ailleurs par les températures encore élevées.

II.3. Evolution des acides fulviques et humiques

Le fractionnement chimique des acides humiques et fulviques, permet de suivre l'évolution de l'humification des matières organiques au cours du compostage. Les teneurs en acides humiques et fulviques des 4 andains sont présentés dans le tableau 3.

Les acides fulviques diminuent au bout de 100 jours. Par contre, les acides humiques malgré une légère diminution au bout de 100 jours restent proches des teneurs au stade initial. une faible concentration, pas encore formation de substance humique. Il se pourrait que le résidu noir (figure 13) issu de l'extraction d'acide ne serait constitué en totalité d'acides humiques mais en grande partie de lignine, hémicellulose, cellulose. D'ailleurs la lignine est une substance de couleur noire. Toutefois, la diminution des teneurs en acides fulviques laisse penser qu'une formation certes réduite d'acides humiques a eu lieu au bout de 100 jours.

Tableau 3 : Evolution de rapport AH/AF

	AH	AF	AH/AF
T₀			
Andain 1	7,69	3,39	2,27
Andain 2	7,16	3,18	2,25
Andain 3	7,75	1,8	4,31
Andain 4	7,54	1,62	4,64
T à 100jours			
Andain1	7,18	2,27	3,16
Andain2	6,79	1,90	3,58
Andain3	6,42	1,13	5,69
Andain4	6,47	1,67	3,88

Plusieurs études ont montré que l'augmentation des acides humiques est un indicateur du degré d'humification des matières organiques et donc du degré de maturité des composts (Veeken et al., 2000 ; Huang et al., 2006). Des études ont aussi expliqué que l'humification des matières organiques se produit principalement, à travers la fraction des acides humiques et peu à travers la fraction des acides fulviques (Huang et al., 2006). Ainsi, le rapport AH/AF a souvent été proposé comme indicateur des processus d'humification et comme indice de maturité (Sanchez-Monedero et al, 1999 ; Tomati et al, 2000). Pour Jouraiphy et al. (2005), l'augmentation du rapport AH/AF, est due à la formation des acides humiques par polymérisation des acides fulviques ou, par la dégradation de substances non humiques de la fraction d'acides fulviques, suivie de formation de structures humiques poly condensées en acides humiques in Albrecht (2012).

Si l'on se réfère au rapport AH/AF, malgré la faible teneur en acides humiques à 100 jours, une augmentation du rapport AH/AF est observée à 100 jours de compostage, comparativement au stade initial. Ce qui précède indiquerait une amorce d'humification des substances organiques de départ.

Dans notre cas, la diminution des acides fulviques indiquerait qu'une fraction de ces derniers est en phase d'humification. Par contre la teneur en acides humiques semblable au bout de 100 jours, indique que les andains sont toujours en phase thermophile donc de dégradation et non pas de maturation. Ceci d'ailleurs est confirmé par l'évolution des températures.

Les substances humiques constituent la fraction principale de la matière organique humifiée en raison de leur effet sur l'écologie des sols, sur la structure, la fertilité, et la croissance de plantes (Huang et al., 2006). Une grande partie des matières organiques

présente dans le mélange initial, est minéralisée pendant le compostage, mais les matières organiques résiduelles sont transformées en nouvelles matières organiques, telles que les substances humiques produites par les processus d'humification (Campitelli et al., 2006).



Figure 13. Extraction des acides humiques et fulviques

IV. Evolution des paramètres spectroscopiques de compostage

III.1. Spectroscopie UV – visible de compostage

L'absorption est généralement mesurée dans l'extrait aqueux d'un compost à une longueur d'onde de 465 et 650 nm. L'absorbance à 465 nm correspond aux matières organiques en début d'humification et la région 650 nm correspond à des matières organiques fortement humifiées et condensées avec d'abondants groupes aromatiques (Albrecht 2012). Le rapport de

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

Tableau 4 : Absorbance à 465 nm et 650 nm des 4 andains.

Andain 1	0	15	45	75	100
	jours	jours	jours	jours	jours
465	0,27	0,25	0,17	0,46\$	0,73
650	0,03	0,04	0,03	0,07	0,10
E4/E6	9	6,25	5,81	5,96	6,70
Andain 2					
465	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
650	0,02	0,03	0,11	0,07	0,11
E4/E6	7,92	4,37	1,44	2,36	1,46
Andain3					
465	0,28	0,34	0,46	0,45	0,42
650	0,03	0,04	0,06	0,07	0,07
E4/E6	0,06	0,12	0,43	0,31	0,52
Andain4					
465	0,40	0,41	0,38	0,17	0,76
650	0,04	0,05	0,04	0,04	0,16
E4/E6	10	8,04	8,40	3,81	4,57

Les absorbances à 650 nm sont très faibles par rapport aux absorbance à 465 nm plus élevées (tableau 4). Ceci indiquerait la présence de faible quantité de substances humiques, et de quantités plus importantes d'acides fulviques. Ce qui précède vient confirmer le faible degré de maturité des andains.

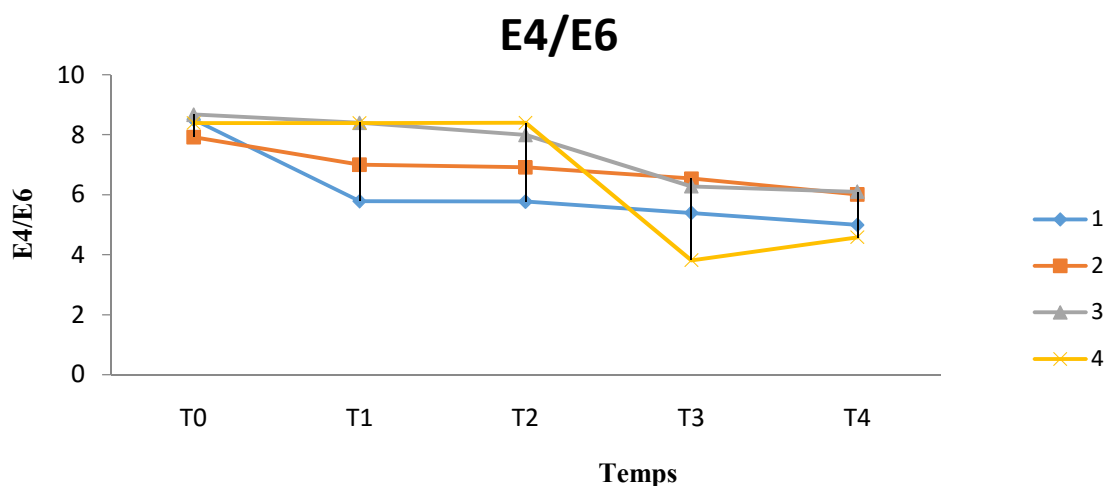


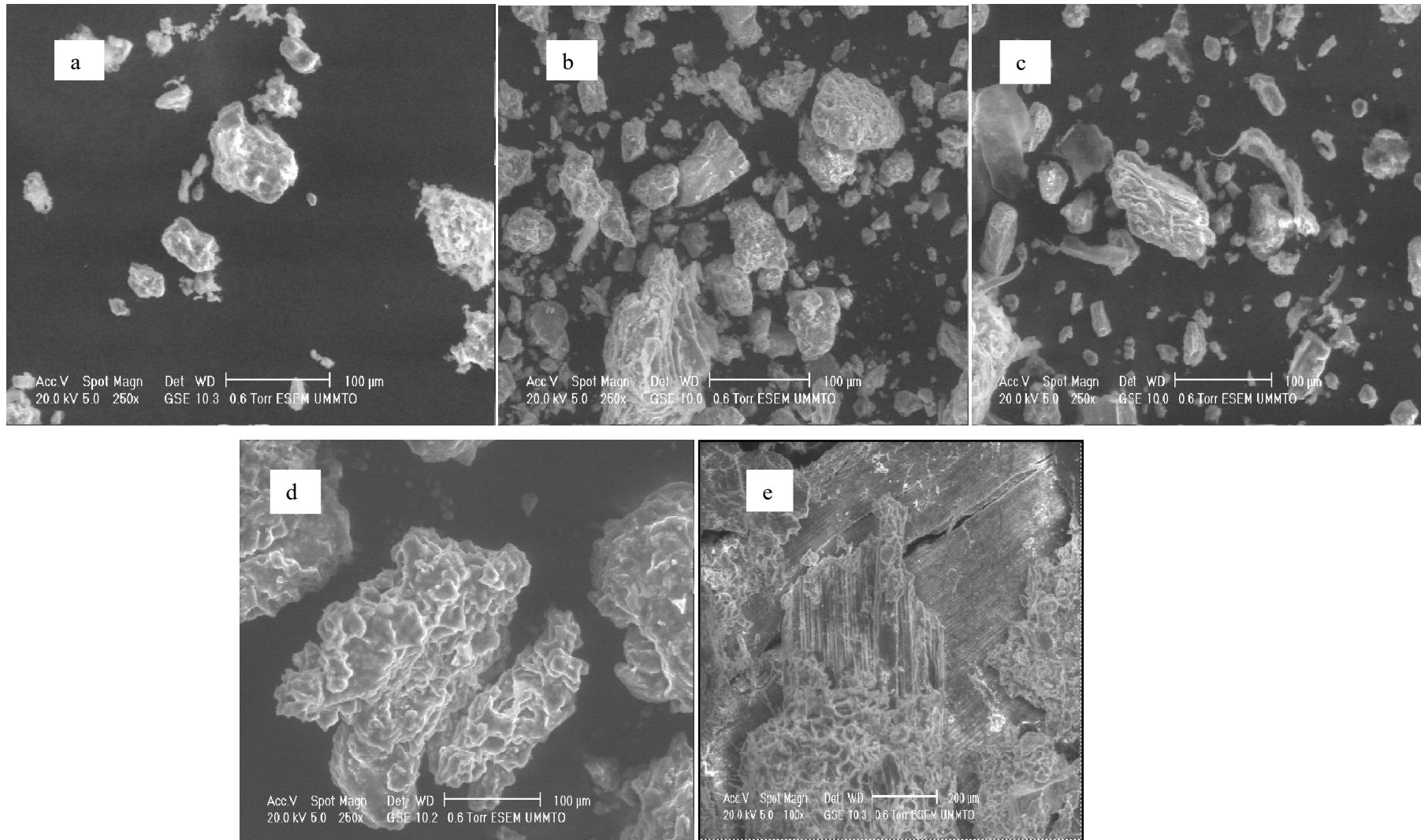
Figure 14 : évolution du rapport E4/E6 en fonction de temps

Nous observons pour les trois andains A1, A2 et A3, une légère diminution de rapport E4/E6 au cours du compostage (figure 14) comparativement l'andain 4 qui marque une légère augmentation à 100 jours. Ces résultats ont été signalés par Koric (2013). Il semblerait que le processus d'humification soit plus avancé au niveau de l'andain 4.

III.2. Caractérisation du compost par le microscope électronique à balayage

La morphologie de surface des constituants de nos composts faite par l'observation au MEB est donnée par la figure 15.

Figure 15 : Observation des constituants du compost au MEB



L'examen des différentes images de la figure 15, révèle que le grignon d'olive (figure 15-a), présente une structure rugueuse et dispersé. Pour ce qui est des boues (figure 15-b) une présence de forme irrégulière et une rugosité linéaire est observée. La présence de formes poreuses sont observée en surface de la photographie MEB du fumier de volailles (figure 15-c). Des feuillets de forme irrégulière (figure 15-d) sont observés sur la photographie de la margine.

L'image MEB des acides humiques (figure 15-e), montre l'aspect polygonal de ces substances.

L'évolution de la morphologie de l'andain 3 est donnée sur les images des figures 16 et 17.

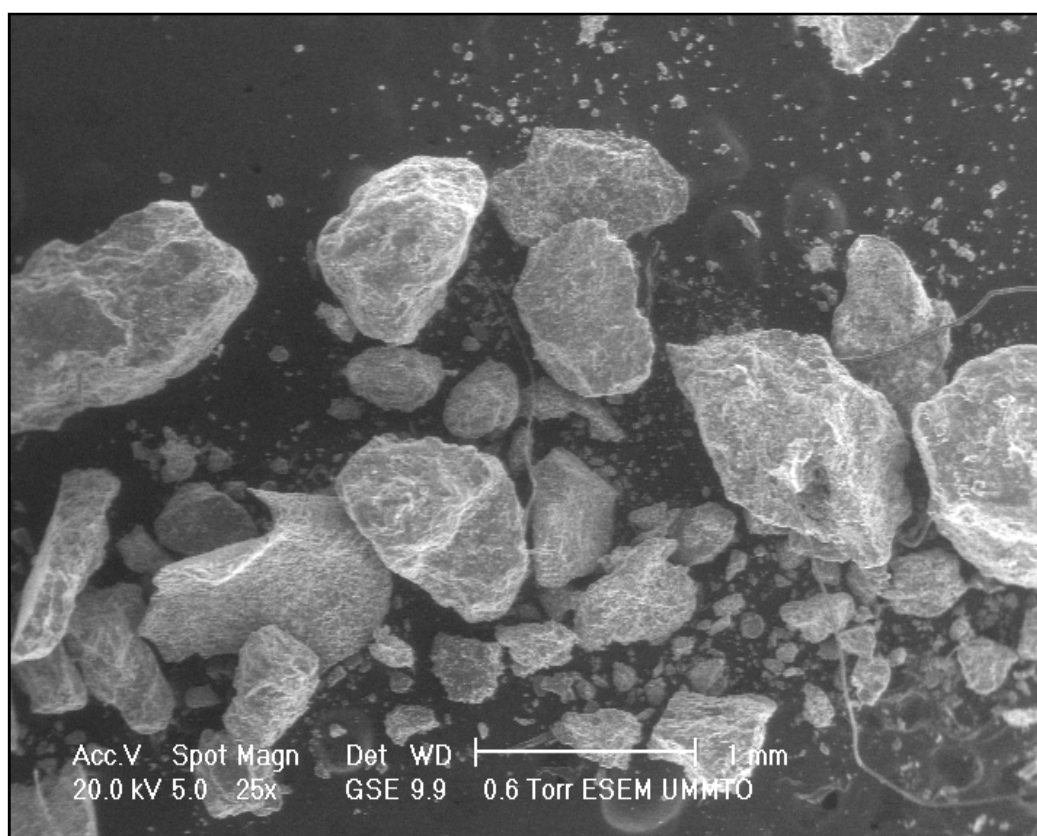


Figure16 :

Image
MEB de
l'andain 3 à

T₀

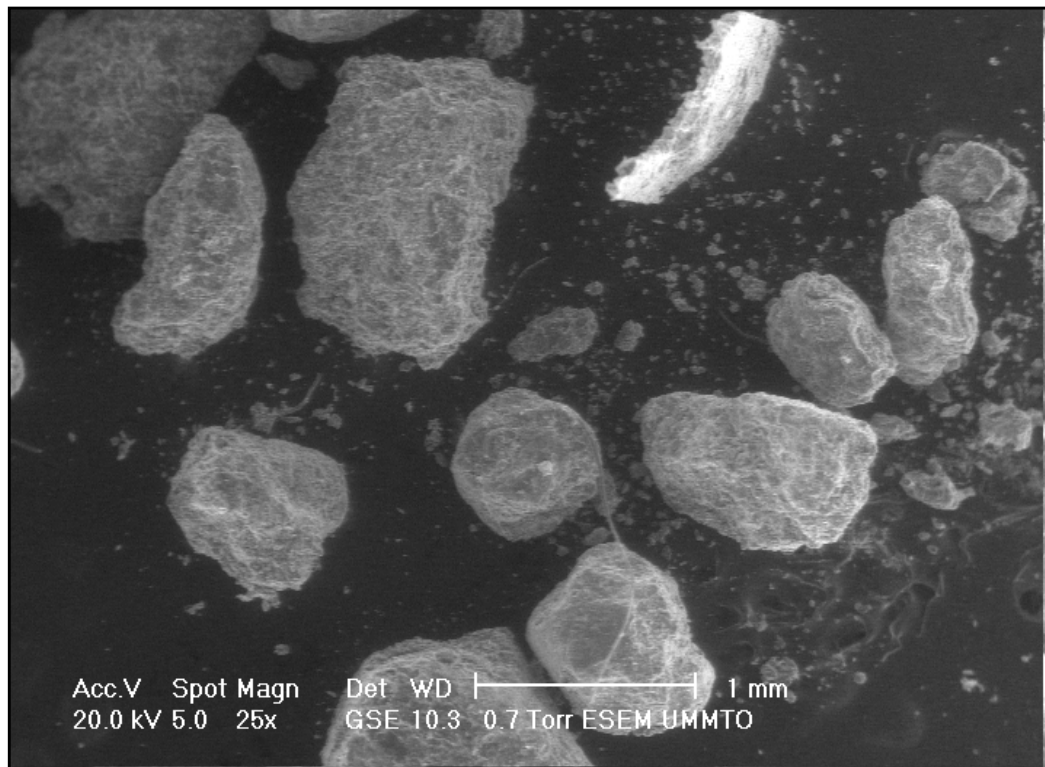


Figure17 : Image MEB de l'andain 3 à 100 jours

La morphologie régulière des grains de grignons d'olive au stade initial (figure 16), est transformée lors du processus de compostage. En effet, après 100 jours de compostage, la structure du grignon est devenue plus poreuse, ce qui est probablement dû à la dégradation lors du processus du compostage. Effectivement, le compost étant aéré, ce qui favorise la dégradation des substances organiques tels que les polysaccharides. Ce qui favorise la formation d'une structure plus poreuse par perte de masse.

III.3.Les résultats de l'analyse infrarouge (IRTF)

L'évolution du changement de la structure des composants des andains A_3 et A_4 , lors du compostage a été faite par l'analyse infrarouge à transformée de Fourier (IRTF). Sur les figures 18 19 20 et 21, on donne les spectres IRTF au début et à la fin du compostage.

III. 3.a) .Les résultats IRTF de l'andain A_3

Sur les figures 18, 19, 20 et 21 sont donnés les spectres IRTF du stade 0 jours et 100 jours de l'andain A_3 .

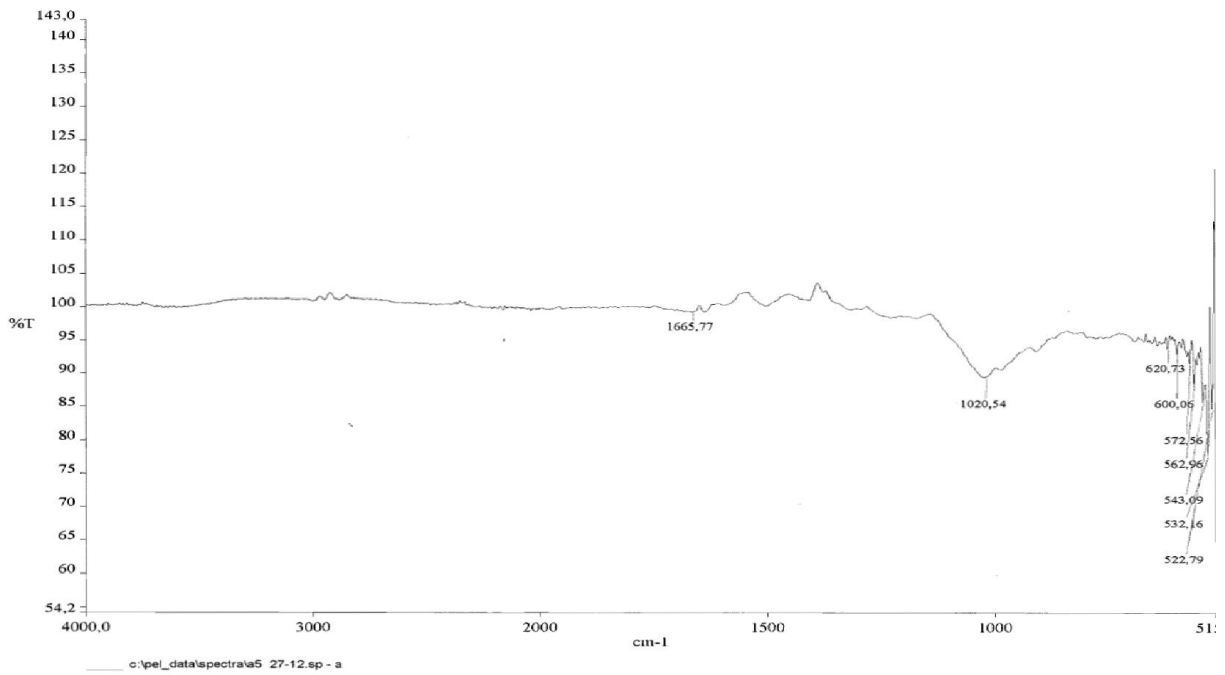


Figure 18 : spectre de l'andain A3 à T₀jour

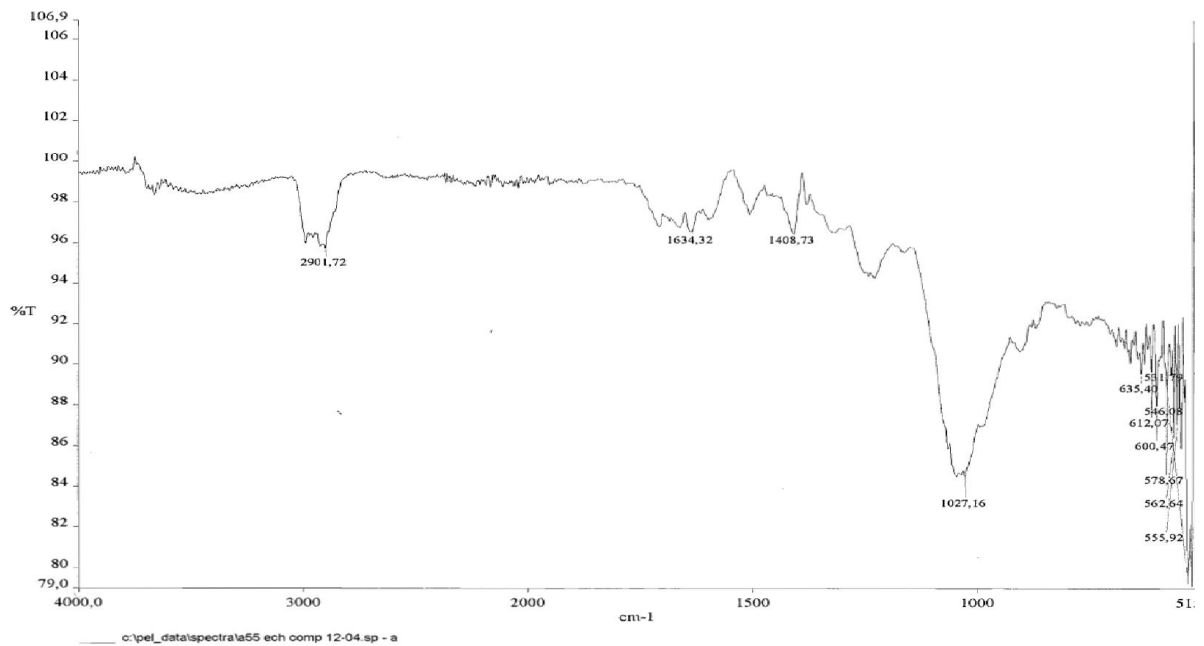


Figure 19 : spectre de l'andain A3 à T 100jour

L'examen des spectres IRTF (figure 18), indique la présence de bandes aux alentours de 1665.77cm⁻¹, 1020.54cm⁻¹ relatives respectivement aux groupement C=C aromatique,

C=O, amide I, cétone et quinone, C=C, aliphatique et C- des polysaccharides qui peuvent être dus à la présence de la lignine (Barriuso, 1985; Stevenson,1994; Chen et al., 1996) .

A 100 jours, les spectres révèlent des bandes de transmittance à 2901 cm^{-1} , 1634 cm^{-1} , 1020 cm^{-1} , 1408 cm^{-1} et 1027 cm^{-1}) plus marquées comparativement aux bandes de transmittance du même andain en début de compostage. Cela est dû à la présence des déchets de marché qui connaissent une dégradation plus avancée que le grignon d'olive.

III. 3.b) Spectre IRTF de l'andain A₄

Sur les figures 10, 11, sont donnés les spectres IRTF du stade 0 jours et après 100 jours de l'andain A₄

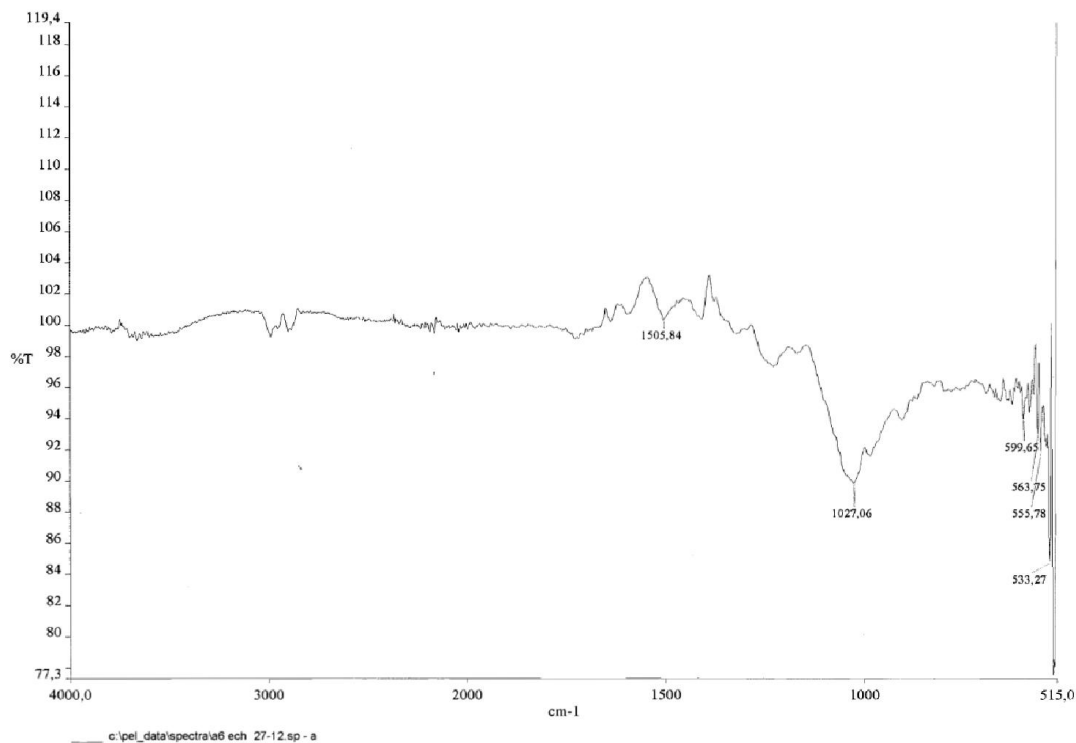


Figure 20 : spectre de l'andain A₄ à T₀ jour

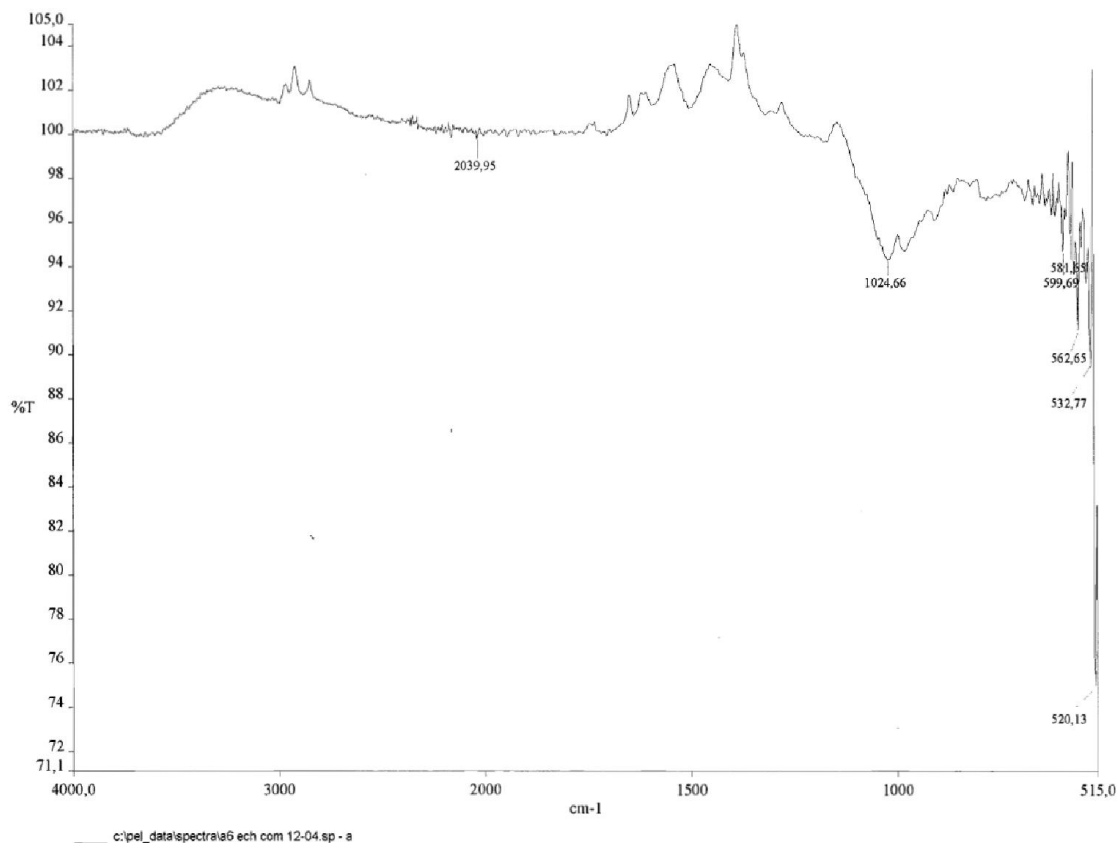


Figure 21 : spectre de l'andain A4 à T 100jour

Sur la figure 20, on constate la présence de bandes aux alentours de 3500 cm^{-1} et 3000 cm^{-1} , 2980 cm^{-1} relatifs respectivement aux groupes hydroxyles (d'après Barriuso, 1985; Stevenson, 1994; Chen et al., 1996) principalement de l'hémicellulose, cellulose, et aux groupes $-\text{CH}$ et $-\text{CH}_2$ de l'hémicellulose, cellulose et de la lignine du grignon, constituants carbohydrateés du grignon d'olive et de la matière végétale contenue dans le compost.

On remarque aussi une bande vers $1505,84\text{ cm}^{-1}$ qu'on peut attribuer au $\text{C}=\text{C}$ des aromatiques principalement de la lignine, et une autre vers $1027,06\text{ cm}^{-1}$ caractéristique des $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ des polysaccharides (Barriuso, 1985; Stevenson, 1994; Chen et al., 1996 in Francou 2003).

Au dernier stade de l'évolution du compost, on constate que presque toutes les bandes existantes à l'état initial sont présentes après cent jours, toutefois on constate que les hydroxyles ainsi que celles des groupes $-\text{CH}$ et CH_2 connaissent une évolution ainsi que les aromatiques.

En effet les celluloses et hémicelluloses se transforment en groupes aromatiques au fur

et à mesure de la formation des acides humiques, qui sont riches en fonction aromatiques
(Barriuso, 1985; Stevenson, 1994; Chen et al., 1996) in Francou 2003).

Conclusion

La pratique du compostage et l'utilisation de compost en agriculture ont des implications environnementales, agronomiques et économiques.

L'essai du compostage de grignons d'olives, des boues de station d'épuration, de margine et de déchets verts, a été lancé au mois de décembre 2015. Ce travail nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

L'ensemble des andains ont atteint un pic de température autour de 65°C. Les quatre andains présentent une phase mésophile très courte, qui a duré 6 jours. La phase thermophile des andains arrosés avec margine, a enregistré des températures plus élevées par rapport aux andains arrosés avec de l'eau.

A 100 jours de compostage, les températures des andains sont supérieures à la température ambiante, ce qui indique la phase thermophile, donc les composts n'ont pas entamé la phase de refroidissement.

L'irrigation des andains avec la margine a révélé un bon moyen pour intensifier la phase thermophile nécessaire, pendant laquelle, les produits initiaux se dégradent.

L'analyse de la granulométrie a montré que pour tous les andains, c'est la fraction de taille [0,5-2,5] mm qui domine (70%), suivie de celle de [5-6,3] mm (25%) et de celle de [0,31mm-fond] (5%). Cette distribution caractérise un compost de bonne qualité.

Le pH de tous les andains varie entre 6,51 et 7 au stade initial, cette similarité des pH indique que la composition des andains n'a pas d'influence sur ce paramètre. Dès le 15^{ème} jour, une augmentation des pH des andains 3 et 4 est observée, comparativement à ceux des andains 1 et 2.

Le suivi du carbone total a montré qu'au bout de 100 jours de compostage, la dégradation de la matière organique est limitée.

La concentration des acides fulviques diminue au bout de 100 jours, ce qui indique un début d'humification des composés organiques compostés. Cependant les teneurs en acides humiques sont très faibles, ce qui implique une formation d'acides humiques très limitée. Les valeurs des rapports AH/AF, montrent que les composts à 100 jours n'avaient pas atteint la stabilité.

Les valeurs d'absorbance à 650 nm sont plus faibles que celle à 450nm. Les absorbances à 465 nm indiquent la présence d'acides fulviques, par contre la faible absorbance à 650 nm, indique une présence limitée de matière humifiée, ce qui montre que notre compost n'a pas atteint la stabilité.

L'observation au MEB des échantillons des différents andains indique, que les composts ne sont pas encore mûrs. En effet, les photos au MEB à 0 jours sont presque semblables à celle à 100 jours. Cette caractérisation au MEB, a montré la non maturité des composts durant cette durée de temps.

De même la caractérisation par IR, a montré que les composts ne sont pas stables, car à 100

jours de l'évolution du compost, presque toutes les bandes existantes à l'état initial sont présentes. Il n'y a ni disparition ni apparition importante de bandes.

Le suivi cinétique des andains par une caractérisation physico chimique, spectroscopique et microscopique aux laboratoires à différents phase de compostage, a montré que les andains n'ont pas atteint la stabilité.

Perspectives : il va falloir

- Pour suivre le suivi du processus de compostage.
- augmenter les traitements et les retournements.
- analyser de la lignine, la cellulose et l'hémicellulose.
- faire le test de phytotoxicité.
- Faire des essais aux sols afin de tester la valeur agronomique du compost
- Diminuer les quantités de grignons d'olive qui se dégradent difficilement dans la composition des andains

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 65°C. Le pH initial basique de 6,6 à 7,1 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 de 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 100 jr 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.