



Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

**REVUE AGRICULTURE**



## Évaluation qualitative et compostabilité des ressources en biomasse oléicole dans la délégation de Kalâa Kébira (Sahel Tunisien)

### Qualitative evaluation and compostability of biomass resources from olive in the delegation Kalaa Kebira (Tunisian Sahel)

**Youssef M'SADAK \*, Marwa MAKHLOUF, Salem EL AMROUNI**

Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, 4042, Tunisie

\* Corresponding author: Email: [msadak.youssef@yahoo.fr](mailto:msadak.youssef@yahoo.fr)

#### ARTICLE INFO

Reçu : 20 - 10 - 2015

Accepté : 27 - 12 - 2015

#### Mots clés :

Grignons épuisés,  
Margines, Qualitative,  
Aptitude au compostage,  
Sahel Tunisien.

#### Key words:

Pomace exhausted, Olive  
Mill Wastewaters,  
Qualitative, Aptitude to  
composting, Tunisian  
Sahel.

#### RÉSUMÉ

Les grignons épuisés et les margines sont des sous-produits obtenus à partir de l'extraction de l'huile d'olive, représentant un important problème environnemental dans tous les pays méditerranéens à vocation oléicole. Les champs d'application de ces sous-produits sont nombreux et variés. Ils peuvent être valorisés, entre autres, comme source de matière organique (Filière Compostage). Dans cette perspective, nous avons abordé leur caractérisation qualitative, en se limitant à certains paramètres physico-chimiques, dans la délégation de Kalâa Kébira à Sousse (Tunisie), tout en appréciant leur aptitude au compostage. Les résultats ont dévoilé que les grignons épuisés qui sont essentiellement secs, riches en carbone et en cellulose brute et pauvres en azote, peuvent être utilisés comme compost pour la fertilité des sols et l'amélioration de la production des cultures en le mélangeant avec d'autres sources disponibles d'origine végétale, comme le broyat de déchets verts,... et/ ou animale telles que les déjections bovines, ovines ou avicoles, qui sont de nature différente et de qualité variable, selon leurs proportions. L'humidification peut être assurée avec les margines, afin d'améliorer la composition minérale des composts produits.

#### ABSTRACT

The pomace exhausted and the Olive Mill Wastewaters (OMW) are by-products obtained from the extraction of olive oil with a significant environmental problem in all Mediterranean countries olive growing. The fields of application of sub olive products are many and varied. They can be valued, among others, as source of organic matter (Composting). In this context, we discussed the qualitative characterization, by limiting some physicochemical parameters, of the by-products olive in the delegation of Kalaa Kebira in Sousse (Tunisia), while enjoying their aptitude to composting. The results showed that the pomace exhausted which are essentially dry, rich in carbon and in crude fiber and poor in nitrogen, can be used as compost for soil fertility and improved crop productivity by mixing with other available sources of plant origin such as crushed green waste and/or livestock such as cattle, sheep or poultry manure that are different in nature and vary in quality according to their proportions. The Humidification can be achieved with OMW, to improve the mineral composition of compost produced.

## 1. Introduction

La nécessité de produire une huile d'olive de qualité, avec un minimum d'impact négatif sur l'environnement, est essentielle pour que les huileries puissent rester performantes. De plus, l'image de pollueur peut nuire à l'industriel, et peut l'exposer à des sanctions en fonction de la législation appliquée qui devient de plus en plus astreignante (Benyahia et Zein, 2003). En outre, au niveau du processus de fabrication, la production de l'huile d'olive, des margines et des grignons épuisés correspond respectivement à 20%, 50% et 30%. Les rejets oléicoles en question posent des contraintes surtout lors de leur évacuation sans traitement vers les milieux naturels. De fait, plusieurs études ont signalé les effets négatifs de ces rejets sur la population microbienne du sol, les écosystèmes aquatiques (Della *et al.*, 2001) et même sur l'air (Rana *et al.*, 2003), constituant ainsi des sous-produits polluants (Papaioannou *et al.*, 2013). Ce problème a été appréhendé de diverses manières par les différents pays oléicoles méditerranéens, qui ont tous adopté des solutions ponctuelles pour le résoudre (Agence d'Exécution du Projet CFC/IOOC/04, 2004). Pour les grignons, la solution consiste à la valorisation industrielle pour l'extraction des huiles qu'ils contiennent et l'élaboration de substrats solides utilisés, entre autres, comme combustibles. Alors que pour les margines, l'utilisation des bassins de stockage et d'évaporation, développés dans certains pays, n'a pas connu le succès escompté, à cause des problèmes de pollution de l'air, d'infiltration et de gestion des dépôts secs. Si, d'une manière générale, l'évacuation de tels résidus reste entièrement posée, et de manière inquiétante dans certains pays, la recherche d'une technologie prometteuse devient nécessaire.

Dans ce cadre, cette investigation préliminaire se propose d'évaluer ces sous-produits de l'extraction oléicole sur le plan qualitatif, en vue de mettre l'accent sur leur valorisation organique par compostage à l'échelle locale.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Échantillonnage

Dans la délégation de Kalâa Kébira de Sousse (Tunisie), six échantillons de grignons épuisés ont été prélevés à partir de six huileries réparties selon le système approprié d'extraction d'huile, en raison de deux huileries pour chaque système (traditionnel, super presse et continu) et un prélèvement de margines a été accompli au niveau de chacun de deux bassins de stockage disponibles. Ces échantillons ont servi pour la détermination de la qualité de la biomasse oléicole. Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire de l'Office National d'Assainissement à la STEP de Sayada en Monastir (Tunisie) et aux laboratoires de production animale et de chimie de l'Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem (Sousse).

### 2.2. Paramètres d'analyse

#### 2.2.1. Paramètres organiques

- pH

Le pH est un indice de l'acidité ou de l'alcalinité de l'échantillon. Il est mesuré avec un pH-mètre muni d'une électrode de verre et d'une électrode de référence combinées. De point de vue pH, le bon développement des bactéries et des champignons responsables de la dégradation de la matière organique est assuré pour des valeurs de pH respectivement voisines de la neutralité (6 à 8) ou légèrement acides (Golueke, 1977).

- **Matières En Suspension (MES)**

Les matières en suspension représentent l'ensemble des matières décantables et non décantables dans une solution. Elles sont déterminées par filtration sur des membranes à 0,45 µm de diamètre des pores. La teneur en MES est obtenue par différence de masse du filtre avant et après filtration et séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures selon la norme (AFNOR T90-105).

- **Matière Sèche (MS)**

La matière sèche est déterminée par dessiccation à l'étuve. Les échantillons, placés dans des capsules, sont séchés à 105°C jusqu'à une masse constante (généralement après 24 heures) (Aissam, 2003).

- **Matière Organique (MO)**

La matière organique est déterminée par incinération dans un four à moufle à 500°C pendant 6 heures, sur des échantillons préalablement séchés et broyés (Association of Official Analytical Chemist : AOAC). La détermination de la teneur en MO est définie par soustraction entre la matière sèche (MS) et la masse après calcination, dénommée matière minérale (MM) ou Cendres Totales (CT) (Pauwels *et al.*, 1992).

- **Carbone Organique Total (COT)**

La détermination du carbone organique total est obtenue par déduction :

$$\% \text{ COT} = \% \text{ MO} / 1,8$$

- **Rapport C/N**

Il est évalué par la formule ci-après.

$$\text{C/N} = \text{COT} / \text{NT} ; \text{ Avec NT} = \text{Azote Total}$$

- **Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

La détermination de la demande chimique en oxygène, indicateur de pollution organique, est effectuée par la méthode de dichromate de potassium. Le principe de cette méthode est basé sur une oxydation à ébullition, à 150°C pendant 2 heures des matières réductrices par un excès de dichromate de potassium en milieu acide ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), et en présence du sulfate d'argent comme catalyseur et du sulfate de mercure comme complexant des chlorures. En fin de la réaction, la DCO est évaluée par prise d'un échantillon convenablement dilué avant l'oxydation.

- **Demande Biologique en Oxygène (DBO)**

La demande biologique en oxygène constitue aussi un indicateur de pollution organique, mesurée au bout de 5 jours ( $\text{DBO}_5$ ) selon la méthode respirométrique dans une enceinte thermostatée (AFNOR, T90-103), à 20°C (température favorable à l'activité des microorganismes consommateurs d'oxygène) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite) à l'aide d'un DBO-mètre.

- **Indice de Biodégradabilité (IB)**

Selon Rodier (1996), le rapport  $\text{DCO} / \text{DBO}_5$  permet de déterminer l'Indice de Biodégradabilité (IB). Ce dernier indique l'importance des matières polluantes peu ou pas biodégradables (Rodier, 1996). Si :

IB > 6 Substrat difficilement biodégradable

3 < IB < 6 Substrat partiellement (ou moins facilement) biodégradable

IB < 3 Substrat très facilement biodégradable

- **Matière Oxydable (MOx)**

La matière oxydable constitue l'essentiel de la partie biodégradable de la pollution organique rejetée. C'est un concept purement administratif, qui est exprimé par:  $\text{MOx} = 2/3 \text{ DBO}_5 + 1/3 \text{ DCO}$  (Servais et Billen, sd).

## 2.2.2. Paramètres Minéraux

- **Conductivité Électrique (CE)**

La conductivité électrique d'une solution est un indice des teneurs en sels solubles. Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs des charges électriques, augmentent. La mesure se fait à l'aide d'un conductimètre. La salinité (S) est déduite à partir de l'expression suivante :

$$S (\text{g/l}) = 0,7 \times \text{CE} (\text{mS/cm})$$

- **Chlorures (Cl<sup>-</sup>)**

Les chlorures sont déterminés selon la norme (AFNOR T90-014), ils ont été dosés par la méthode de titrimétrie de Mohr. La teneur en chlorures est définie comme étant la quantité totale d'ions de chlorures présente dans un litre d'échantillon. Le principe consiste à précipiter les ions des chlorures par le nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de teinte rouge, caractéristique de chromate de potassium.

- **Azote total (NT)**

L'azote total est dosé par la méthode de Kjeldahl. Le principe de cette méthode consiste à une minéralisation de l'échantillon par l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), en présence d'un catalyseur. L'azote organique se transforme en azote ammoniacal ( $\text{NH}_3$ ) qui est déplacé par la soude (NaOH) et reçu dans une solution titrée d'acide borique. La quantité d' $\text{NH}_3$  présente est mesurée par titration avec l'acide chlorhydrique.

Les matières azotées totales (MAT) sont déterminées par déduction en appliquant la formule relatée ci-après.

$$\% \text{ MAT} = \% \text{ NT} \times 6,25$$

- **Cellulose Brute (CB)**

La cellulose brute est déterminée par la méthode de Weende. L'échantillon subit une hydrolyse acide (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et une autre alcaline (KOH). Les deux hydrolyses sont séparées par une filtration et un rinçage à l'eau chaude. Le résidu sec constitue la cellulose brute qui comprend la cellulose vraie, l'hémicellulose et la lignine.

### 2.3. Acquis antérieurs d'évaluation des ressources en biomasse oléicole

#### 2.3.1. Grignons épuisés

Les grignons épuisés diffèrent essentiellement par une faible teneur en huile et une teneur en eau réduite, du fait qu'ils ont été déshydratés au cours du processus de l'extraction (El-Hachmi, 2010). Leur composition chimique dépend des facteurs intrinsèques du fruit, du procédé d'extraction de l'huile et aussi de l'épuisement par solvant (Nefzaoui, 1985). Les tableaux 1 et 2 illustrent quelques caractéristiques physiques et chimiques indicatives.

#### 2.3.2. Margines

Les margines sont des sous-produits oléicoles sous forme de liquide résiduel ayant un aspect trouble, une coloration brun-rougeâtre à noire (Hamdi et Ellouz, 1993) avec une composition variable. Leur odeur rappelle celle de l'huile d'olive, mais elle peut devenir gênante lors des phénomènes de rancissement ou de fermentation anaérobie (Ranalli, 1991). Ces margines sont des effluents fortement pollués, ainsi, elles doivent respecter les normes de rejet en milieu naturel et dans le réseau d'assainissement (Tableau 3).

De tels effluents ont des concentrations importantes en composés phénoliques, constituant de forts inhibiteurs de la flore, d'où, la toxicité élevée (Achak *et al.*, 2008). Les composés fondamentaux des margines sont l'eau (83,2%), les substances organiques (15,0%) et les substances minérales (1,8%) (Fiestas et Borja, 1992). Les margines dépendent de nombreux facteurs, tels que : la variété et la maturité des olives, les conditions édaphiques (caractéristiques physiques du sol) et climatiques, la méthode de culture, et en particulier, le mode d'extraction de l'huile (Mouncif *et al.*, 1993 ; Paraskeva et Diamadopoulou, 2006). Ces effluents ont une forte charge saline, notamment des sels de potassium et des phosphates, des acides avec des valeurs de pH comprises entre 4,2 et 5,9 (Eroglu *et al.*, 2008) et riches en matières organiques et en polyphénols peu biodégradables. Elles sont caractérisées par une CE de l'ordre de 10 mS/cm, due surtout aux ions potassium, chlorures, calcium et magnésium. La DCO peut varier de 50 à 220 g/L.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Évaluation des ressources en biomasse oléicole

#### 3.1.1. Grignons épuisés

Le principal résidu solide généré lors de l'élaboration de l'huile d'olive est le grignon épuisé, obtenu après avoir subi l'extraction de l'huile résiduelle par solvant, généralement l'hexane.

Tous les grignons collectés sont à l'état sec, montrant une humidité relativement faible, variable entre 16 et 23% avec une moyenne de 18,64%.

**Tableau 1 :** Composition physique des grignons épuisés et de leurs composants (Nefzaoui, 1987)

Composition	Matière Sèche (MS) (%)	Matière Grasse (MG)	% MS		
			Noyau sec	Amandon sec	Mésocarpe + Épicarpe
Grignons épuisés	72,3	4,2	-	5,6	39,3

**Tableau 2 :** Composition physico-chimique de grignons (% MS) (Nefzaoui, 1985)

Composition	Matière Sèche (MS)	Cendres Totaux (CT)	Matières Azotées Totales (MAT)	Matière Grasse (MG)	Cellulose Brute (CB)
Grignon épuisé non tamisé	86 à 95	5,8 à 9,3	12,4 à 16,2	1,1 à 7,4	32,6 à 53,3
Grignon épuisé tamisé	88,2 à 90,5	11,0 à 22,3	2,0 à 6,5	2,0 à 6,5	14,5 à 23,3

### ➤ Paramètres organiques

Les résultats d'analyses relatifs aux paramètres organiques des grignons épuisés prélevés au niveau de différents systèmes d'extraction d'huile dans la délégation de Kalâa Kébira sont donnés dans le tableau 4.

- D'après les résultats obtenus, on constate que le pH de différents échantillons de grignons analysés est en moyenne de 6,48, valeur située dans les normes (entre 6 et 8), donc favorable à la vie et à l'activité microbienne pendant le processus de compostage.

- Les grignons sont riches en MO, présentant 95,18% en moyenne. Ils pourraient constituer un bon amendement pour les sols pauvres, surtout après leur compostage.

- Les grignons sont également riches en carbone organique total (COT) avec une moyenne de 55,34%.

- Le rapport C/N est souvent considéré comme indice de biodégradabilité d'un substrat organique solide. Toutefois, les teneurs élevées en cellulose brute et le faible taux d'azote total donnent un rapport C/N trop élevé, variable entre 47 et 53, tout en restant inférieur aux résultats antérieurs (Trigui, 2008), mais, dépassant largement les normes d'aptitude au compostage d'un résidu (30-35) (Mustin, 1987). Ceci implique un processus de dégradation de la MO très lent et une longue durée de compostage. Néanmoins, on peut résoudre ce problème par le mélange des grignons avec d'autres résidus, comme les résidus verts, qui améliorent l'aération des andains de compost (Broyat grossier jouant le rôle d'agent structurant à partir d'une importante biomasse ligneuse) tout en diminuant le rapport C/N par un apport supplémentaire d'azote (Broyat végétal frais fermentescible à partir d'une biomasse foliaire élevée).

**Tableau 3** : Composition des margines comparée à la Norme Tunisienne de rejet (NT106-02)

Caractéristiques	Margines (*)	Norme de rejet en milieu naturel	Norme de rejet dans le réseau d'assainissement
Humidité	87,9	-	-
pH	5,5	6,5	6,5-9,0
CE (mS/cm)	18,6	-	7
DCO (mg/L)	105000	90	1000
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	55000	30	400
MO (mg/L)	107000	-	-
MG (mg/L)	4500	10	30
Azote (mg/L)	1400	1	100
Chlorures (mg/L)	560	600	700

(\*) Source : Commissariat Régional au Développement Agricole de Sousse (CRDA, 2003)

**Tableau 4** : Paramètres organiques des grignons épuisés

		pH	MS (%)	MO (%)	COT (%)	C/N (-)
<b>Système</b>	<b>Huilerie 1</b>	6,08	81,96	94,89	55,89	48,73
<b>Classique</b>	<b>Huilerie 2</b>	5,98	82,29	96,13	55,90	53,15
<b>Système</b>	<b>Huilerie 1</b>	7,14	80,95	95,72	54,29	53,30
<b>Super Presse</b>	<b>Huilerie 2</b>	7,05	76,81	96,15	55,13	52,52
<b>Système</b>	<b>Huilerie 1</b>	6,21	83,87	94,83	55,17	46,74
<b>Continu</b>	<b>Huilerie 2</b>	6,43	82,31	93,37	55,65	52,83
<b>Moyenne</b>		6,48	81,36	95,18	55,33	51,21
<b>Résultats antérieurs</b>		-	86 à 95	-	-	57 à 60
<b>Références</b>		-	Nefzaoui,1985	-	-	Trigui, 2008

### ➤ Paramètres Minéraux

Les résultats d'analyses de paramètres minéraux de différents échantillons des grignons épuisés étudiés sont illustrés au niveau du tableau 5. On peut dégager de ce tableau ces constatations essentielles :

- concernant la conductivité électrique, on peut dire qu'elle est acceptable pour tous les échantillons étudiés. Les valeurs enregistrées montrent une CE comprise de 0,69 à 0,73 mS/cm. La Salinité est relativement faible avec une moyenne de 0,50 g/l. Cette salinité pourrait être réduite davantage par lessivage, suite aux arrosages avec de l'eau pouvant être pratiqués au cours du processus de compostage.

- faibles teneurs en azote total variant entre 1,03% et 1,20%, confirmant la difficulté de compostage de ce substrat, mais les grignons peuvent être valorisés par Co-compostage en associant un résidu fermentescible, riche en azote.

- fortes teneurs en CB (en moyenne 43,51%). Ce polymère est indispensable à la nutrition des champignons et des bactéries pendant les phases mésophile et thermophile de compostage (Godden, 1986).

Finalement, il convient de signaler que les teneurs en MAT sont insuffisantes, quel que soit l'utilisation recherchée dans l'alimentation animale ou dans le compostage, par rapport à ce qui est annoncé par la Direction de la Production Végétale : DPV (2009).

Partant des caractéristiques des grignons ; biomasse sèche, fine et carbonée, il convient d'associer nécessairement une biomasse humide, grossière et azotée. A titre indicatif, le broyat végétal frais, les feuilles vertes et le fumier bovin pailleux pourraient constituer des résidus intéressants pour le Co-compostage des grignons épuisés.

**Tableau 5** : Paramètres minéraux des grignons épuisés

		CE (mS/cm)	MM (%)	NT (%)	MAT (%)	CB (%)
<b>Système</b>	<b>Huilerie 1</b>	0,58	5,11	1,16	7,23	36,87
<b>Classique</b>	<b>Huilerie 2</b>	0,80	3,87	1,07	6,70	40,40
<b>Système</b>	<b>Huilerie 1</b>	0,65	4,28	1,03	6,42	46,97
<b>Super Presse</b>	<b>Huilerie 2</b>	0,81	3,85	1,07	6,68	51,60
<b>Système</b>	<b>Huilerie 1</b>	0,67	5,17	1,20	7,49	43,91
<b>Continu</b>	<b>Huilerie 2</b>	0,75	6,63	1,06	6,61	41,36
<b>Moyenne</b>		0,71	4,81	1,09	6,85	43,51
<b>Résultats antérieurs</b>		-	7 à 10	-	8 à 10 12,4 à 16,2	35 à 50
<b>Références</b>		-	Sancoucy, 1984	-	DPV, 2009 Trigui, 2008	DPV, 2009

### 3.1.2. Margines

Les résultats des analyses de différents échantillons des margines sont présentés en tableau 6, où l'on a pu dévoiler que les mesures du pH effectuées donnent une valeur moyenne de l'ordre de 4,63. Les margines sont donc des effluents acides, en raison de la présence des acides organiques (acides phénoliques, acides gras, ...) ; ce qui rend leur traitement biologique à l'état brut très difficile (Khoufi *et al.*, 2000). A souligner que la valeur enregistrée se trouve dans la limite inférieure de la fourchette citée dans la littérature (4,2 à 5,9) (Eroglu *et al.*, 2008). En outre, l'acidité des margines augmente avec la durée de leur stockage dans la station d'évaporation naturelle. Ceci peut être expliqué par des réactions d'auto-oxydation et de polymérisation qui transforment les alcools phénoliques en acides phénoliques. Selon les données collectées auprès du CRDA de Sousse, le pH relevé est loin de la norme Tunisienne de rejet des margines dans la nature qui est fixé à la limite acceptable de 6,5, ce qui oblige leur stockage et la recherche des procédés efficaces pour leur traitement et leur valorisation. Les margines étudiées ont une CE moyenne trop élevée de l'ordre de 12,48 mS/cm, dépassant de loin la limite admissible de rejet (7,00 mS/cm), mais, convenable par rapport à la fourchette rapportée par Ben Rouina *et al.* (2014). Une telle valeur reflète la teneur élevée en sels présents dans ces effluents liquides.

Le taux de salinité moyenne est élevé (8,74 g/L) ; les margines présentent donc une forte charge en sel due particulièrement aux chlorures de sodium, liée probablement au salage pratiqué pour conserver les olives jusqu'à leur trituration, en plus de la richesse naturelle des olives en sels minéraux (Sbai et Loukili, 2015). La concentration moyenne des chlorures dans les margines est élevée (1,5 g/L par rapport à la moyenne Tunisienne de rejet dans le réseau d'assainissement (0,7 g/L) et elle diffère de celle relevée par Ben Rouina *et al.* (2014) dont la valeur est comprise entre 0,56 et 1,25 g/L. Toutefois, la valeur observée est de loin inférieure à la fourchette (5 à 6 g/L) indiquée par Amirante *et al.* (1999). Néanmoins, les chlorures ont un pouvoir biooxydant sur la plupart des microorganismes, lorsque leur concentration dépasse 10 g/L (Fiestas et Borja, 1992), limite loin d'être aboutie. De fait, comparativement, les effluents étudiés peuvent être considérés comme peu chargés en MES, étant donné que la valeur relevée est située dans la limite inférieure de la fourchette révélée par Fiestas (1981) et Hamdi (1993).

Les margines présentent aussi un ratio DCO/DBO<sub>5</sub> moyen de 1,91 (< 3), exprimant que le substrat est très facilement biodégradable. Par ailleurs, elles présentent une forte richesse en MOx qui est de l'ordre de

46 g O<sub>2</sub>/L. Cette dernière montre la charge polluante importante des margines, d'où leur effet néfaste sur l'environnement.

**Tableau 6** : Caractérisation qualitative des margines au niveau des bassins de stockage

	Bassin de stockage n°1	Bassin de stockage n°2	Moyenne
pH	4,63	4,63	4,63
CE (mS/cm)	12,48	12,48	12,48
Salinité (g/L)	8,74	8,74	8,74
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	1562	1562	1562
MES (mg/L)	1862,33	2183	2022,66
DCO (mg d'O <sub>2</sub> /L)	65600	68000	66800
DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /L)	32000	38250	35125
Ib (-)	2,05	1,78	1,91
MOx (g d'O <sub>2</sub> /L)	43,20	48,16	45,68

### 3.2. Ressources compostables et faisabilité du compostage

Le compostage est une des solutions offertes, afin de valoriser les effluents oléicoles. Il a été prouvé que le compostage de tels effluents donne un compost de très bonne qualité (Mennane *et al.*, 2010 ; Cadillon et Lacassin, 1991). Le compostage a pour but la transformation aérobie des matières organiques en substances humiques, tout en détruisant les parasites et les microorganismes pathogènes. La libération de mauvaises odeurs lors du compostage, est fortement réduite car les composés organiques, qui restent après ce processus, sont relativement stables avec de faibles taux de décomposition. Le Co-compostage, dénommé compostage mixte ou conjoint, est une autre alternative de valorisation biologique aérobie, en associant deux ou plusieurs ressources organiques, en vue d'assurer l'équilibre nutritionnel des décomposeurs.

#### 3.2.1. Grignons

Pour le compostage efficace des grignons, on y ajoute des résidus végétaux ou des résidus urbains. Il existe deux sortes de compost obtenus avec une association de sous-produits de l'olivier (Feuilles + biomasse de taille d'oliviers + grignons d'olives + margines) ou d'une association de (résidus urbains verts + paille de céréales + résidus de l'olivier). Dans cet égard, l'Association Française Interprofessionnelle de l'Olive (AFIDOL) a testé en France la faisabilité du Co-compostage des grignons à l'état humide en ayant recours à différents mélanges (Tableau 7).

Par ailleurs, une autre étude a recommandé un compost commercial formé de sept échantillons recueillis à partir de différentes huileries situées dans plusieurs provinces de l'Andalousie (Espagne). Le compost est produit d'environ 75% de grignons d'olives, 10% de feuilles d'olives, 12% fumier ovins ou volailles et 3% de paille de céréales (Tableau 8). Il est caractérisé par un pH de 7,45 à 8,34, une CE plus faible que 10 mS/cm, seuil établi comme indicateur des effets (phytotoxiques/ phytoinhibiteurs) préjudiciables sur les plantes ou sur le sol (Lannotti *et al.*, 1994), une teneur moyenne relativement élevée en MO (60,5%) et en carbone (30,7%), un faible taux de dégradation de la MO au cours du compostage, principalement, suite à la teneur élevée des grignons en lignine et à la forte humidité du mélange mis en œuvre, limitant ainsi l'aération. Pour ce compost commercial, l'azote total est en moyenne de 1,5%, et il est plus élevé pour le compost qui comprend des quantités relativement élevées de fumier, le rapport C/N moyen est de 21,9 variant de 10,5 à 35,8, tandis qu'un tel rapport est beaucoup moins élevé pour d'autres composts expérimentaux issus des grignons (de 14,0 à 22,7) (Tableau 8), le Potassium est en moyenne de 1,7%, il est plus élevé pour le compost comprenant une forte proportion de fumier de volailles et plus faible pour le compost issu des grignons en mélange avec de la paille. Ces valeurs se situent dans la fourchette des valeurs trouvées pour les composts produits expérimentalement (Alburquerque *et al.*, 2006 ; Hachicha *et al.*, 2008), et également semblables à celles des grignons seuls (Alburquerque *et al.*, 2004), le Phosphore est en moyenne de 0,41%, similaire aux valeurs des résidus végétaux (Pascual *et al.*, 1997), les polyphénols sont inférieurs à 2%, malgré que les grignons sont généralement caractérisés par de niveaux élevés de polyphénols capables d'être toxiques pour certains microorganismes du sol (Capasso *et al.*, 1995), et c'est l'une des principales raisons pour lesquelles l'application directe sur le sol ne peut pas être préconisée. Les faibles teneurs en polyphénols dans ce compost concordent avec les valeurs trouvées par Ait Baddi *et al.* (2004), qui ont montré que la teneur en polyphénols diminue au cours du compostage. Dans tous les cas, les contenus en polyphénols étaient inférieurs à 4%, limite établie lorsqu'il y a un décalage entre la minéralisation nette de l'azote et l'immobilisation pendant sa décomposition

(Palm *et al.*, 2001). Les contenus en lignine et en polyphénols de ces résidus oléicoles ont été déterminés pour être des indices robustes pour la prédiction de la minéralisation de l'azote après incorporation du compost, à base des grignons, dans le sol (Fox *et al.*, 1990 ; Palm et Sánchez, 1991).

**Tableau 7** : Composition moyenne des mélanges pour le compostage des sous-produits solides de l'industrie oléicole Française

Caractéristiques	Mélange 1	Mélange 2	Mélange 3
<b>Composition</b>	9,0 tonnes (9 m <sup>3</sup> ) de grignons humides issus d'un décanteur biphasique + 9,5 tonnes (30 m <sup>3</sup> ) de résidus verts broyés	9,9 tonnes (9,9 m <sup>3</sup> ) de grignons humides issus d'un décanteur à biphasique. + 10,2 tonnes (28 m <sup>3</sup> ) de résidus verts broyés + 40 kg d'urée à 46%	12,8 tonnes (13,5 m <sup>3</sup> ) de grignons humides issus d'un décanteur triphasique + 10,2 tonnes (28 m <sup>3</sup> ) de résidus verts broyés + 6 m <sup>3</sup> de margines issues de moulin triphasique
<b>Densité</b>	0,50	0,55	0,62
<b>Teneur en eau (%)</b>	49	49	56

**Tableau 8** : Principales caractéristiques physico-chimiques du compost des grignons d'olives

Paramètres	Compost commercialement produit (min.- moy.- max.)	Autres auteurs <sup>1</sup>
<b>Matière Organique (g/kg)</b>	272- 605- 879	465-621
<b>Carbone Total (g/kg)</b>	184- 307- 390	301-491
<b>Azote Total (g/kg)</b>	10,7- 15,0- 20,0	14,0-27,8
<b>C/N (-)</b>	10,5- 21,9- 35,8	14,0-22,7
<b>Phosphore Total (%)</b>	0,19- 0,41- 1,19	0,5-1,5
<b>Potassium Total (%)</b>	1,06- 1,73- 2,39	20,6-39,5
<b>Lignine (g/kg)</b>	76,0- 218- 313	410-426
<b>Polyphénols (%)</b>	0,94- 1,33- 2,1	-

<sup>1</sup>Autres auteurs (Alburquerque, 2006 ; Hachicha *et al.*, 2008 ; Goyal *et al.*, 2005 ; Alburquerque *et al.*, 2007 ; García-gómez *et al.*, 2003) pour la production expérimentale des composts

### 3.2.2. Margines

Les margines peuvent être utilisées pour obtenir un compost fertilisant pour les sols (Papadimitriou *et al.*, 1997). L'avantage du compost formé à partir des margines est l'absence des métaux lourds et des microorganismes pathogènes (Sierra *et al.*, 2007) avec des concentrations élevées en éléments minéraux nutritifs, en phosphore, en potassium, en azote et en magnésium. Paredes *et al.* (2005), ont relevé que l'effet positif sur la fertilité du sol augmente avec la fréquence d'application du compost de margines. Ils ont également constaté que la salinité du sol est plus élevée pour des doses de compost au-delà de 60 tonnes/ha.

Le compostage est l'une des techniques de recyclage des margines et de leur transformation en fertilisant. Les margines sont absorbées sur un substrat solide (déchet lignocellulosique) avant d'être utilisées comme compost (Roig *et al.*, 2006). Donc, ce produit est généré principalement par dégradation aérobie des substances organiques des effluents liquides (marges) et solides (résidus agricoles). Le processus de compostage peut se dérouler en trois phases :

- La préparation du support carboné: le support carboné, paille de céréales par exemple, est disposé en vrac dans une cuve ou un bassin étanche.
- La macération: les margines sont épandues sur le support carboné avec imprégnation durant 24 h. Enfin, le mélange est mis sur une aire de compostage et un andain est aménagé après ressuyage.

Le facteur limitant la rapidité du compostage semble être l'humidité ; la chaleur dégagée provoque un dessèchement du compost et un ralentissement du processus ; l'humidification par les pluies ou par un arrosage assure souvent une reprise et une remontée des températures. La paille constitue un support carboné de choix pour le compostage, alors que le marc de raisin ne constitue pas un bon absorbant. Cette capacité d'absorption est variable et dépend, dans une première phase, du temps de contact ou de macération margines-substrat carboné ; au terme d'une journée, généralement, elle atteint un maximum.

Expérimentalement, une tonne de paille, à 5% d'humidité, absorbe trois fois sa masse, soit environ 3 m<sup>3</sup> de margines (Cadillon et Lacassin, 2002). Le traitement des margines par leur absorption sur un substrat carboné et le compostage de l'ensemble, peut constituer une solution valable sur les plans technique et économique à condition, toutefois, d'avoir un substrat très absorbant et peu coûteux (Boudoukhana, 2008).

L'investigation accomplie par Zenjari *et al.* (2006) révèle que le compostage des margines avec la paille d'orge, en conditions aérobies, a permis de réduire la teneur en matière organique de 52% après 3 mois d'incubation dans des sacs en plastique, et la toxicité devient non détectable. À la fin de la période de maturation, la dégradation des phénols est de l'ordre de 95%. Roig *et al.* (2006) ont trouvé que le compostage des margines avec la paille de blé constitue une alternative de fertilisation, avec un taux élevé d'humidification et sans effet phytotoxique.

### 3.2.3. Grignons-margines

D'après les caractéristiques essentielles relevées des échantillons des grignons étudiés et en s'appuyant sur les caractéristiques qualitatives des margines seules après compostage, on peut dévoiler que les résidus oléicoles solides peuvent être employés dans le compostage, mais, tout en rajoutant un autre résidu humide, azoté et à texture grossière jouant le rôle fermentescible pour l'amélioration de l'activité de la flore microbienne, responsable de la dégradation de la matière organique. L'utilisation des margines pour humidifier les andains de compost pourrait être aussi intéressante pour améliorer la qualité chimique des composts produits. Les essais de compostage ont permis de mettre en évidence qu'un ratio de mélange résidus verts broyés/ grignons, système à deux phases, de 3/1 en volume permettrait de respecter les paramètres d'aération, d'humidité et du rapport C/N, nécessaires à un bon déroulement du processus. L'intégration des margines au mélange résidus verts broyés/ grignons, système à trois phases, peut s'envisager en respectant un ratio résidus verts/ margines égal à 7/1 en volume et une période d'absorption avant reprise du mélange. La forte fermentescibilité de l'association : broyat frais, grignons et margines se traduit par des montées rapides en température. Cette importante activité biologique impose un retournement des andains assez fréquent pour oxygéner le milieu durant la phase thermophile, avec cinq retournements en sept mois (Mouton, 2011).

Dans le contexte d'étude, à Kalâa Kébira, on peut distinguer comme biomasses compostables, les déjections animales, notamment, le fumier avicole issu de l'élevage des poulets de chair et fumier bovin et les résidus végétaux, pouvant provenir des espaces verts, des oliveraies et des vergers, qui peuvent faire l'objet de plusieurs mélanges avec les grignons et les margines. A titre indicatif, on peut citer les associations suivantes: (i) Grignons + Broyat résidus végétaux + Margines, (ii) Grignons + Fumier avicole + Margines et (iii) Grignons + Fumier bovin + Margines. De telles associations de résidus mettent en jeu la technique de Co-compostage. Le produit final est un Co-compost oléicole, si en volume, la biomasse oléicole traitée est supérieure ou égale à 50%. On peut adopter les deux mélanges cités ci-après pour le démarrage pratique du Co-compostage oléicole, en ayant recours à divers arrosages à base de margines. Mélange 1 : 50% Grignons épuisés + 50% Broyat végétal et mélange 2 : 70% Grignons épuisés + 30% Fumier bovin.

## 4. Conclusion

L'olive et l'huile qui en dérive, ne constituent qu'une part minime de la biomasse produite tout au long du "processus" oléicole, de la production à la transformation. Les grignons épuisés et les margines représentent la biomasse oléicole restante considérée comme résidu de la trituration qui engendre des problèmes environnementaux inquiétants. Cependant, ces rejets peuvent être valorisés, entre autres, par compostage. Dans cette perspective, l'investigation entreprise dans la délégation de Kalâa Kébira à Sousse (Tunisie) a montré que la biomasse oléicole a une bonne aptitude au Co-compostage avec d'autres résidus (broyat végétal, fumier bovin, ...) pour l'amélioration de l'activité de la flore microbienne, responsable de la dégradation de la matière organique. En effet, la plupart des paramètres physico-chimiques étudiés se sont révélés encourageants pour l'application de cette voie biologique aérobie.

La région d'étude génère une importante quantité de cette biomasse oléicole qui est susceptible d'être traitée, d'où, l'idée de la conception et de la mise en place d'une plate-forme de compostage. A cet égard, une étude technico-économique des infrastructures nécessaires : diverses superficies à aménager et divers matériels à mettre en œuvre devrait être menée comme projet réel susceptible d'être réalisable. Finalement, la caractérisation qualitative mise en œuvre devrait être aussi complète que possible pour une meilleure valorisation biologique, (aérobie ou anaérobie-aérobie, de la biomasse oléicole. Pour des investigations ultérieures, il convient de compléter les analyses physico-chimiques, notamment le phosphore et le potassium et de mener des analyses biochimiques, particulièrement composés phénoliques, lignine.

## 5. Références bibliographiques

- Achak M., Ouazzani N., Yaacoubi A., Mandi L. 2008.** Caractérisation des margines issues d'une huilerie moderne et essais de leur traitement par coagulation-floculation par la chaux et le sulfate d'aluminium, *Journal of Water Science*, 21 (1), (2008), 53-67.
- Anonyme. 2004.** Les bonnes pratiques d'épandage des Margines et du compost sur les terres agricoles: Cas de l'Olivier, Agro-pôle Olivier ENA Meknès, Agence d'Exécution du Projet CFC/IOOC/04 (2004), 17 p.
- Aissam H. 2003.** Étude de la biodégradation des effluents des huileries (margines) et leur valorisation par production de l'enzyme tannase", Thèse de Doctorat. Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Fes, Maroc, (2003), 156 p.
- Ait Baddi G., Alburquerque J.A., Gonzálvez J., Cegarra J., Hafidi M. 2004.** Chemical and spectroscopic analyses of organic matter transformations during composting of olive mill wastes", *Int. Biodeter. Biodegr*, 54(1), (2004), 39-44.
- A lburquerque J.A., Gonzálvez J., García D., Cegarra J. 2004.** Agrochemical characterisation of "alperujo", a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction, *Bioresource Technol*, 91, 2004, 195-200.
- Alburquerque J.A., Gonzálvez J., García D., Cegarra J. 2006.** Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system, *Chemosphere*, 64, 2006, 470-477.
- Alburquerque J.A., Gonzálvez J., García D., Cegarra J. 2007.** Effects of a compost made from the solid by-product ("alperujo") of the two-phase centrifugation system for live oil extraction and cotton gin waste on growth and nutrient content of ryegrass, *Bioresource Technol*, 98, 2007, 940-945.
- Amirante P., Di renzo G.C., Di giovacchino L., Bianchiand B., Catalano P. 1999.** Évolution technologique des installations d'extraction de l'huile d'olives, *Olivae.*, 48, 1999, 43-53.
- Association of Official Analytical Chemist : AOAC.** In: S. WILLIAM (Ed.), "Official Methods of Analysis of the Association of Official Analysis Chemist International", 15th AOAC International, Arlinton, Virginia (USA).
- Ben Rouina B., Gargouri K., Abichou M., Rhouma A., Magdich S., Jilani S. 2014.** L'épandage des margines sur les terres agricoles : Résultats et gestion pratique, Communication Orale, 7<sup>ème</sup> Journées Méditerranéennes de l'Olivier, Meknès, Maroc, 2014.
- Benyahia N., Zein K.** Analyse des problèmes de l'industrie de l'huile d'olive et solutions récemment développées", 2<sup>ème</sup> Conférence Internationale *Swiss Environmental Solution*.
- Boudoukhana H. 2008.** Impacts des margines sur les eaux de Oued Bouchtata (Wilaya de Skikda), Mémoire de Magister, Université du 20 Août 1955 Skikda, 2008, 36-43.
- Cadillon M., Lacassin J.C. 1991.** La valorisation agronomique des margines. Société du Canal de Provence et d'Aménagement de la Région Provençal, France, 1991, 10 p.
- Cadillon M., Lacassin J.C. 2002.** La valorisation agronomique des margines. Société du Canal de Provence, 2002.
- Capasso R., Evidente A.A., Schivo L., Orru G., Marcialis M.A., Cristinzio G. 1995.** Antibacteria polyphenols from olive oil mill wastewaters, *J. Appl. Bacteriol*, 79, 1995, 393-398.
- Della greca M., Monaco P., Pinto G., Pollio A., Previtera L., Temussi F. 2001.** *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67, 2001, 352-359.
- Direction de la Production Végétale (DPV). 2009.** département lié au ministère de l'agriculture, Rabat, Maroc, 2009.
- El Hachmi C. 2010.** Effet des différent modes de séchage sur la stabilité des qualités nutritionnelles et microbiologiques du grignon d'olive durant 3 mois de stockage, Mémoire de Magister en Biologie, Université d'Oran Es-Senia, Algérie, 2010, 18-20.
- Eroglu E., Eroglu I., Gündüz U., Yücel M. 2008.** Effect of clay pretreatment on photo fermentative hydrogen production from olive mill wastewater", *Bioresource Technology*, 99, 2008, 6799-6808.
- Fiestas ros de ursinos J.A. 1981.** Différente utilisation des margines: Recherche en cours, résultats et applications, Séminaire International sur la Valorisation des Sous-produits de l'Olivier, *PNUD/FAO*, Monastir, Tunisie, 1981, 93-95
- Fiestas J.A., Borja R. 1992.** Use and treatment of olive mill wastewater: current situation and prospects in Spain. *Grasas y Aceites*, 43, 1992, 101-106.
- Fox R.H. Myers R.J.K., Vallis I. 1990.** The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents, *Plant Soil*, 129, 1990, 251-259.
- García-Gómez A., Roig A., Bernal M.P. 2003.** Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity, *Bioresource Technol*, 86, 2003, 59-64.

- Godden B. 1986.** Etude du processus de compostage du fumier de bovin, Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université Libre de Bruxelles, Belgique, 1986, 136 p.
- Golueke C.G. 1977.** Biological Reclamation of Solid Wastes», *Emmaus*, PA: Rodale Press, 1977.
- Goyal S., Dhull S.K., Kapoor K.K. 2005.** Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity, *Bioresource Technol*, 96 (14), 2005, 1584-1591.
- Hachicha S., Sellami F., Medhioub K., Hachicha R., Ammar E. 2008.** Quality assessment of composts prepared with olive mill wastewater and agricultural wastes, *Waste Manage*, 28 (12), 2008, 2593-603.
- Hamdi M., Ellouz R. 1993.** Treatment of detoxified olive mill wastewaters by anaerobic filter and aerobic fluidized bed processes. *Environmental Technology*, 14, 1993, 183-188.
- Iannotti D.A., Grebus M.E., Toth B.L., Madden L.V., Hoitik H.A.J. 1994.** Oxygen respirometric method to assess stability and maturity of composted municipal, solid waste, *J. Environ. Qual*, 23, 1994, 1177-1183.
- Khoufi S., Aloui F., Sayadi S. 2000.** Anaerobic digestion of olive mill waste water after Ca(OH)<sub>2</sub> pretreatment and reuse adapted, *Proc Internat Conf on waste water treatment and reuse adapted to Mediterranean area (WATRAMA)*, 2000, 85-89.
- Mennane Z., Tada S., Aki I., Faïd M., Hassani S., Salmaoui S. 2010.** Physicochemical and microbiological characterization of the olive residue of 26 traditional oil mills in Beni Mellal, *Technologies de Laboratoire*, 5 (19), 2010, 4-9.
- Mounif M., Tamoh S., Faïd M., Chkari-begdouri A.A. 1993.** A study of chemical and microbiological characteristics of olive mill waste water in Morocco, *Grasas y Aceites*, 44, 1993, 335-338.
- Mouton R. 2011.** Grignons d'olives et compost, Chambre Régionale d'Agriculture Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Centre Technique de l'Olivier, France, 2011, 4 p.
- Mustin M. 1987.** Le Compost : Gestion de la Matière Organique”, *Dubusc F*, Paris, 954 p.
- Nefzaoui A. 1984.** Importance de la production oléicole et des sous-produits de l'olivier. In : Étude de l'utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale en Tunisie, Étude FAO production et santé animales, Rome, 43, 1984.
- Nefzaoui A. 1985.** Valuation of lignocellulosic residues in the diet of ruminants by treatment with alkali, Application to pomace oil, PhD Dr, Ing, Faculty of Science, Catholic University of Leuven, Belgique, 1985, 345 p.
- Nefzaoui A. 1987.** Contribution à la rentabilité de l'oléiculture par la valorisation optimale des sous-produits, Séminaire sur l'économie de l'olivier, *CEE. CIHEAM, Tunisie*, 19, 1987, 17-21.
- Palm C.A., Sánchez P.A. 1991.** Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents, *Soil Biol. Biochem*, 23, 1991, 83-88.
- Palm C.A., Gachengo C.N., Delve R.J., Cadisch G., Giller K.E. 2001.** Organic inputs for soil fertility management in tropical agro ecosystems: application of an organic resource data base, *Agr. Ecosyst. Environ*, 83, 2001, 27-42.
- Papadimitriou E.K., Chatjipa I., Balis C. 1997.** Application of composting to olive mill wastewater treatment”, *Environmental technology*, 18, 1997, 101-107.
- Papaioannou E.H., Patsios S.I., Karabelas A.J., Philippopoulos N.A. 2013.** *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1, 2013, 831-837.
- Paredes C., Cegarra J., Bernal M.P., Roig A. 2005.** Influence of olive mill wastewaters in composting and impact of the compost on a Swiss chard crop and soil properties, *Environment International*, 31, 2005, 305-312.
- Paraskeva P., Diamadopoulos E. 2006.** Technologies for olive mill wastewaters (OMW) treatment, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81, 2006, 1475-1485.
- Pascual J.A., Ayuso M., García C., Hernández T. 1997.** Characterization of urban wastes according to fertility and phytotoxicity parameters, *Waste Manage, Res*, 15, 1997, 103-112.
- Pauwels J.M., Vanrust E., Verloo M., Mvoudo Z.E. 1992.** Manuel de laboratoire de pédologie : Méthodes d'analyses des sols et des plantes. Publications Agricoles, 28, 265 p.
- Rana G., Rinaldi M., Introna M. 2003.** *Ecosystems and Environment*, 96, 2003, 49-58.
- Ranalli A. 1991.** L'effluent des huiles d'olives : propositions en vue de son utilisation et son épuration. Références aux normes italiennes en la matière, *Olivae*, 39, 1991, 18-34.
- Rodier J. 1996.** L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 8<sup>ème</sup> édition. *DUNOD* Paris, 1996, 1384 p.
- Roig A., Cayuela M.L., Sánchez-Monedero M.A. 2006.** An overview on olive mill wastes and their valorization methods, *Waste Management*, 26, 2006, 960-969.
- Sancoucy R. 1984.** Utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale dans le bassin Méditerranéen, Etude FAO Production et santé animales, Synthèse *FAO Pub*, 43.
- Sbai G., Loukili M. 2015.** Traitement des margines par un procédé couplant la coagulation-floculation et la voie électrochimique, *European Scientific Journal (ESJ)*, 11 (9), 2015, 1857- 7431.

**Servais P., Billen G. (sd)**. Note sur le calcul des apports ponctuels à prendre en compte dans les modèles Prose et Sénèque à partir des données disponibles sur les rejets de STEP, 10 p.

**Sierra J., Marti E., Garau A.M., Cruanas R. 2007**. Effects of the agronomic use of olive oil mill wastewaters: Field experiment, *Science of the total Environment*, 378, 2007, 90-94.

**Trigui A. 2008**. Étude en vue de l'Elaboration d'un Plan d'Action pour l'utilisation énergétique des sous-produits de l'oliveraie en Tunisie. Consultation auprès du PNUD Tunisie, 2008, ANME (33/2008), Projet 00058135, 121 p.

**Zenjari B., El Hajjouji H., Baddi G.A., Bailly J.R., Revel J.C., Nejmeddine A., Hafidi M. 2006**. Eliminating toxic compounds by composting olive mill wastewaters-straw mixtures. *Journal of Hazardous Materials*, 138, 2006, 433-437.