

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des sciences

Département de sciences Agronomiques



Filière : Sciences Agronomique

Option : Amélioration des plantes

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Amélioration des plantes

Thème :

Création d'une unité de valorisation des déchets de l'huilerie d'olive

Présenté le :

- Oussama Bouaita
- Berrou Saleh
- Belkehla Islem

Membre de Jury:

Mm Guerrad chahrazed	(MCB)	Présidente	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mm Larbi Damila	(MAA)	Examineur	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mm Brakchi Souad	(MCB)	Promoteur	Université du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire : 2023-2024

Table des matières

Liste des tableaux.	
Liste des figures	
Résumé.	
Introduction.	1
Chapitre 1: Généralités sur les déchets d'huile d'olive.	
1. L'industrie oléicole.	2
2. L'industrie oléicole et l'orientation vers les sources renouvelables.	2
2.1. Au niveau du monde.	2
2.2. Dans L'Algérie.	3
3. Modes d'extraction de l'huile d'olive.	4
3.1. Système d'extraction discontinue par presse	4
3.2. Système d'extraction continue par centrifugation	5
4. Généralités sur les déchets d'huile d'olive.	7
4.1. Grignons d'olive.	7
4.1.1. Composition physique.	8
4.1.2. Composition chimique.	8
4.2. Les margines.	9
4.2.1. Composition physique.	10
4.2.2. Composition chimique.	10
4.3. Les produits de la taille de l'olivier	10
5. Impact des déchets d'olive sur l'environnement.	11
Chapitre 2: La production des bio fertilisants et l'extraction de polyphénols à partir des déchets d'olive	
1. Les bio fertilisants	13

1.1. Généralités	13
2. Compostage	14
2.1. Définition	14
3. Compost	14
4. Phases du compostage.	15
5. Principaux paramètres de compostage	16
6. L'évaluation d'un compost mur	18
7. Les déchets d'huile d'olive comme fertilisants	19
8. Compostage des déchets d'olive	20
8.1. Phases de compostage, température et durée	20
8.2. Dégradation de la matière organique.	21
8.2. C/N ratio.	22
9. Production de compost	23
2. Les polyphénols	26
1. Generalities.	26
2. Les classes principales des polyphénols	27
3. Sources des polyphénols.	29
4. Composés phénoliques des déchets d'olives.	30

5. Bioactivité des composés phénoliques des déchets d'olive.	32
5.1. Polyphénols comme biopesticides.	32
6. Processus d'extraction de polyphénols de polyphénols (méthode de Supercritical Fluid Extraction (SFE))	35
7. la diversifiée de bioactivités de polyphémold de déchets de l'olive.	37
Chapitre 3: Transformation des dechets d'huile d'olive en biocarburant.	
1. Le biocarburant	39
• Définition	39
2. Types des biocarburants	39
2.1. Biogaz	39
2. 2. Production de biogaz à partir des grignons d'olive	39
2.3. Liquide	43
2.3. 1. Le biodiesel	43
• Procédés de production de biodiesel	44
2.3.2. Le bioéthanol	46
• Production de bioéthanol.	47
2.4. Solide	48
2.4.1. Charbon actif	49
2.4.2. Le biochar	49
• La production du biochar	49
A. Méthode de Pyrolyse	49
➤ Pyrolyse lente	51
➤ Pyrolyse rapide	51
B. Autres méthodes .	51

➤ Carbonisation hydrothermale.	51
➤ Carbonisation a la flamme.	52
➤ Micro-ondes et autres technologies dans différents contextes agricoles	52
3. L'utilisation des biocarburants produits à partir de déchets d'olive	52
3.1. Biogaz	52
3.2. Biodiesel	53
3.3. Bioethanol	53
3.4. Biochar	54
Conclusion	
Bibliographie	
Résumé	r

Liste de tableaux

Tableau	page
Tableau 1. Quantités de sous-produits par tonne d'huile d'olive produite	7
Tableau 2. Composition chimique indicative des différents types de grignons	9
Tableau 3. Composition physico-chimique moyenne des margines brutes et filtrées	10
Tableau 4. Caractéristiques physico-chimique des grignons d'olives brutes et de leurs composts	20
Tableau 5. la teneur totale en phénols et les principaux composés phénoliques du grignon d'olive.	31
Tableau 6. Composition du biogaz	39

Liste de figures

Figure	page
Figure 1. Carte oléicole d'Algérie	4
Figure 2 : Système d'extraction discontinue par presse	5
Figure 3. Procédés d'extraction de l'huile d'olive à deux phases (A) et à trois phases (B)	6
Figure 4 . Les grignons en sortie de moulin	8
Figure 5. La margine jetée dans un lac	9
Figure 6. Processus de compostage	15
Figure 7. L'équilibre nécessaire pour le Compostage	18
Figure 8. Tas de compost	24
Figure 9. Produit final de compostage	25
Figure 10. Représentation schématique du procédé de compostage	25
Figure 11. Principales classes de polyphénols : flavonoïdes, non-flavonoïdes (acides phénoliques, lignanes, stilbènes) et tanins	27
Figure 12. Graphique abstract de bioactivité des polyphénols de margin.	35
Figure 13. gauche:machine de Supercritical Fluid Extraction (SFE), droite:(SFE) diagram.	37
Figure 14. Produit final (polyphenol poudre)	37
Figure 15. Illustration de la digestion anaérobie	40
Figure 16. Graphique illustratif de la digestion anaérobie.	43
Figure 17 . Biodiesel	44
Figure 18. Le processus de production de biodiesel .	46
Figure 19. Bioéthanol	47

Figure 20. Le processus de production de bioéthanol.	48
Figure 21. Biochar	49
Figure 22. Production de biochar.	51

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, nous remercions notre encadreur Mdm, Souad Brakchi pour son encadrement précieux, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce travail. Son expertise et son encouragement ont été essentiels pour mener à bien cette mémoire.

Nous souhaitons également remercier les membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire. Leurs commentaires constructifs et leurs remarques pertinentes ont grandement enrichi notre travail.

Nous tenons également à remercier nos familles, en particulier nos parents, pour leur amour inconditionnel, leur patience et leur soutien indéfectible. Leur croyance en nos capacités nous a donné la force de persévérer.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, que ce soit par leurs encouragements, leurs conseils ou leur aide pratique.

À tous, merci infiniment.

Introduction générale

Introduction générale

L'industrie oléicole, pilier économique et agricole, se trouve confrontée à un défi environnemental majeur lié à la gestion de ses déchets. La production importante de déchets par cette industrie exerce un impact significatif sur les environnements terrestres et aquatiques, ainsi que sur les écosystèmes locaux.

Dans ce contexte, la transformation des déchets issus de la production d'huile d'olive en produits à haute valeur ajoutée est devenue un sujet d'intérêt croissant dans les domaines de l'agriculture durable et des énergies renouvelables. La valorisation de ces déchets, tels que les grignons d'olive, les margines et les résidus de taille des oliviers, permet non seulement de réduire leur impact environnemental, mais aussi de créer de nouvelles opportunités économiques (**Aliakbarian et al., 2011**).

Pour répondre à ces défis et opportunités, la création d'une unité de valorisation des déchets d'olive est envisagée. Cette unité se consacrerait à transformer ces résidus en biocarburants, biofertilisants et biopesticides, intégrant des technologies innovantes pour optimiser l'utilisation des ressources tout en réduisant l'impact environnemental.

L'unité de valorisation joue un rôle central dans la transformation des déchets de l'huilerie d'olive en divers types de biocarburants tels que le biodiesel, exploitant les huiles résiduelles des grignons d'olive pour une alternative renouvelable aux combustibles fossiles. De même, le bioéthanol obtenu par fermentation des sucres présents dans les résidus lignocellulosiques de grignons. Elle génère également du biogaz par la digestion anaérobie des déchets organiques, contribuant ainsi à la production d'énergie renouvelable et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, tout en produisant du biochar par pyrolyse des résidus d'olive, améliorant la qualité des sols comme amendement carboné.

Parallèlement, cette unité transforme ces déchets en biofertilisants et biopesticides, notamment par la production de composts enrichissant les sols en matière organique et en nutriments essentiels pour accroître la productivité agricole. De plus, elle extrait des molécules bioactives telles que les polyphénols des résidus d'olive, créant ainsi des biopesticides naturels qui diminuent l'impact environnemental des pratiques agricoles.

Cette unité de valorisation des déchets de l'huilerie d'olive constitue une initiative stratégique visant à transformer les défis environnementaux en opportunités durables. En intégrant des technologies avancées, elle promeut non seulement la réduction de l'impact environnemental des déchets, mais aussi la création de nouvelles avenues économiques dans les secteurs des biocarburants, des biofertilisants et des biopesticides.

Le présent travail est structuré en trois chapitres dont le premier chapitre est consacré aux généralités sur les déchets d'huile d'olive, suivi du deuxième Chapitre qui traite la production des bio fertilisants et l'extraction de polyphénols à partir des déchets d'olive, clôturé par un troisième chapitre qui expose la transformation des déchets d'huile d'olive en biocarburant.

Chapitre 1

Généralités sur les déchets d'huile d'olive

Chapitre 1

1. L'industrie oléicole.

L'industrie oléicole a une riche histoire qui remonte à des milliers d'années, originaire de la région méditerranéenne où la culture de l'olive et la production d'huile d'olive étaient des aspects vitaux des civilisations anciennes telles que les **Grecs**, les **Romains**, les anciens **Carthaginois**, et plus tard les **Berbères** en Afrique du Nord.

Aujourd'hui, la région méditerranéenne abrite l'oliveraie du monde. Les pays du sud de l'Europe, en particulier l'**Espagne**, l'**Italie**, la **Grèce** et la **Turquie**, ainsi que l'Afrique du Nord (**Algérie**, **Tunisie** et **Maroc**) et le sud-est de la Méditerranée (**Palestine**, **Syrie** et **Liban**) produisent collectivement la majorité de l'huile d'olive du monde (**Lachibi, 2019.,Kapellakis et al., 2007**).

En Algérie, les oliveraies couvrent une vaste étendue de **431,634** hectares et abritent **300,000** oliviers disséminés dans diverses régions, en particulier dans des zones comme la Kabylie, **Tizi Ouzou** et **Bejaia** représentant **54%** du verger national avec la zone orientale. Les régions de **Jijel**, **Mila**, **Skikda**, **Guelma** et La zone occidentale qui représente **18%**.

L'industrie algérienne de l'huile d'olive s'est modernisée en utilisant un système de production dualiste qui combine des méthodes traditionnelles et modernes, et aussi s'est développée au cours des **20 dernières années**, augmentant de **117,5%** par rapport à **2010** et d'un incroyable **263%** en **2019** (**MARD, 2021**), L'industrie de l'huile d'olive en Algérie joue un rôle crucial dans le secteur agricole et l'économie du pays.

2. L'industrie oléicole et l'orientation vers les sources renouvelables.

2.1. Au niveau du monde.

L'industrie oléicole mondiale reconnaît de plus en plus le potentiel inexploité de leur déchets. Par conséquent, le passage à l'utilisation de ces déchets comme sources renouvelables gagne du terrain dans le monde entier, marquant une approche transformatrice de la durabilité.

En **Europe** et en **Afrique**, le secteur oléicole constitue un défi spécifique. d'énormes quantités de **sous-produits** et de **déchets** sont générées pendant la production d'huile d'olive, ces déchets ont des **coûts d'élimination élevés** et proviennent principalement de **petites entreprises** qui ont des ressources financières limitées pour les **traiter** correctement avant de les **rejeter dans l'environnement**, ce qui entraîne de **graves problèmes** (**Khdaïr & Abu-Rumman, 2020**).

Les **préoccupations environnementales** croissantes et les **progrès technologiques** ont stimulé une réorientation au sein de l'industrie. **Les déchets d'olives, autrefois considérés**

Chapitre 1

comme un fardeau, sont maintenant considérés comme une ressource précieuse avec de multiples applications.

Les pays producteurs d'huile d'olive ont développé des stratégies innovantes de gestion des déchets axées sur le **recyclage** et la **réutilisation**.

Comme **l'Italie**, par exemple, a été le pionnier de l'extraction de composés pharmaceutiques, nutraceutiques et cosmétiques (**Abbattista et al., 2021**), **l'Espagne** et **la Grèce** se sont concentrées sur la production de **biocarburants** (**García-Martín et al., 2020 ; Ntaikou et al., 2020**).

Simultanément, les **pays d'Afrique du Nord** ont également **exploré** ce potentiel de **durabilité** où, ces dernières années, ils ont commencé à **capitaliser**, en mettant en œuvre diverses stratégies pour réutiliser les déchets d'olive à **des fins environnementales et économiques** (**Khdair & Abu-Rumman, 2020**).

2.2. Dans L'Algérie.

En Algérie, l'industrie de l'olive s'engage de plus en plus dans le développement de ressources renouvelables. Récemment, **le gouvernement** a intégré **la bioénergie** dans son **programme de développement des énergies renouvelables**, reconnaissant ainsi le potentiel de l'olive dans la production **d'énergie propre**.

Des initiatives ont été lancées pour convertir les déchets d'olive en sources d'énergie renouvelable, contribuant ainsi à **diversifier le mix énergétique** du pays (**Akbi et al., 2017**).

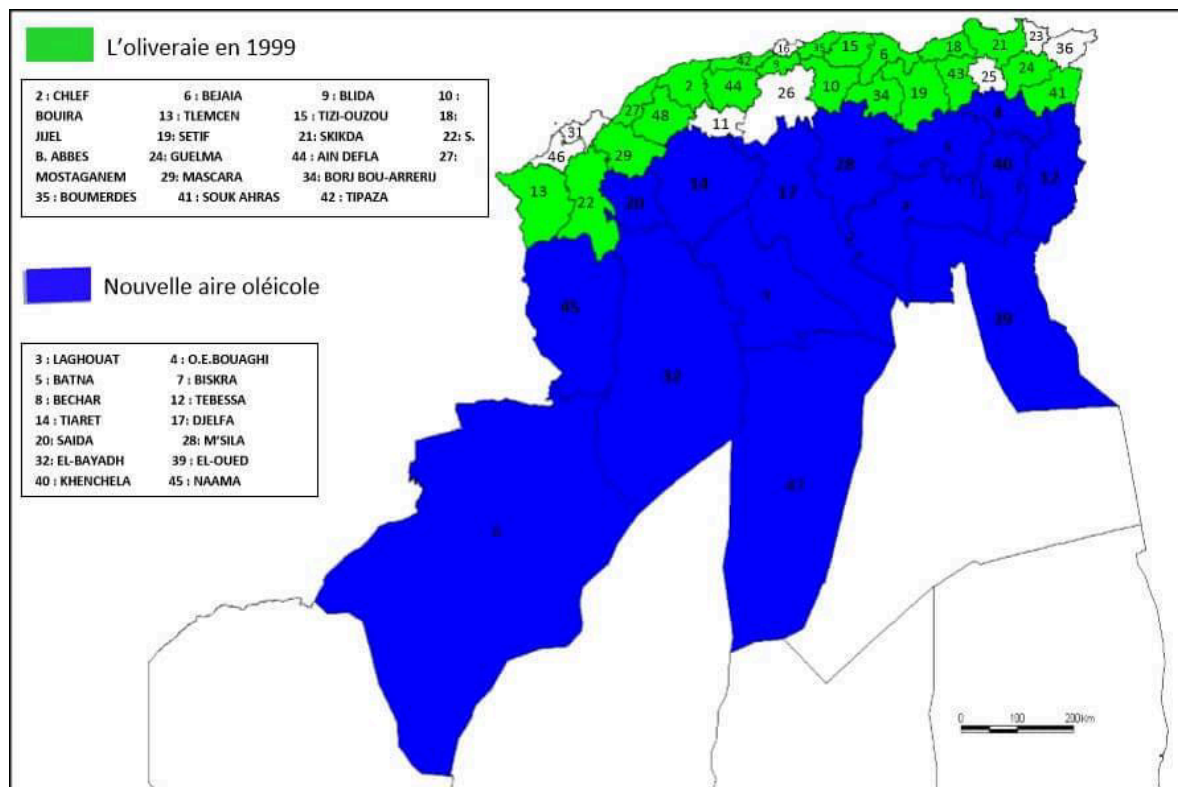


Figure 1. Carte oléicole d'Algérie (ITAF., 2008).

3. Modes d'extraction de l'huile d'olive.

On peut distinguer trois types de systèmes d'extraction de l'huile d'olive : le système presse ou traditionnel (discontinu), le système continu à trois phases et le système continu à deux phases (centrifugation).

3.1. Système d'extraction discontinue par presse

Il s'agit du système le plus vieux. Cette méthode consiste à exercer une pression intense sur la pâte, ce qui provoquera la séparation des différentes phases.

La pâte est étalée de manière uniforme sur des courtins en fibre végétale ou en plastique, permettant ainsi une armature et une filtration lors de la pression. On empile ces disques les uns sur les autres pour les presser ensuite.

Deux phases sont obtenues, une phase liquide (huile/eau de végétation) qui se distingue d'une phase solide (les grignons) qui se trouve entre les courtins.

Chapitre 1

La séparation entre le liquide et le liquide (huile et eau) est réalisée par décantation naturelle en raison de la disparité de densité et de miscibilité des composants du jus d'olive. L'huile, l'eau et les fragments de matières solides sont séparés dans les bacs à décantation.

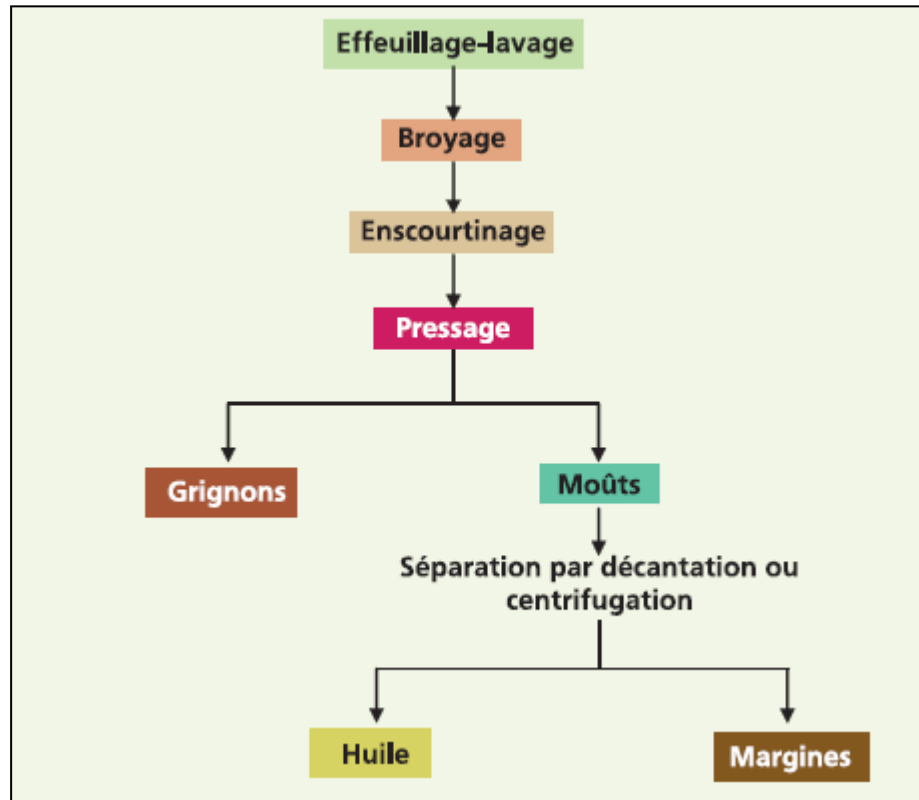


Figure 2 : Système d'extraction discontinue par presse (Chimi., 2006)

3.2. Système d'extraction continue par centrifugation

Le procédé d'extraction continue se divise en deux catégories : le système par centrifugation à trois phases et le système par centrifugation à deux phases.

a) - Système d'extraction par centrifugation à trois phases

Il y a trois étapes : l'huile, les marges et les grignons. Grâce à l'introduction de ces installations "continues", les coûts de transformation et la durée de stockage des olives ont été réduits, ce qui a entraîné une production oléicole plus acide.

Chapitre 1

Cependant, ce système comporte les désavantages suivants:

- Les niveaux élevés d'eau chaude (40 à 60 % du poids de la pâte) entraînent une diminution de la teneur en composés aromatiques et phénoliques de l'huile extraite, ce qui entraîne une résistance plus faible à l'oxydation.

Ces composés se déplacent en partie dans les marges. Ce système entraîne également des grignons avec une humidité élevée (45 à 55%).

- Une forte demande en eau et en énergie thermique.

b) - Système d'extraction par centrifugation à deux phases :

L'effeuillage, l'épierrage, le lavage et le broyage, le malaxage et la décantation des olives sont les mêmes que dans le système précédent à trois phases.

Toutefois, cette méthode d'extraction d'huile d'olive actuelle utilise un nouveau décanteur qui utilise une centrifugation à deux phases (huile et grignons d'olives humides), ce qui évite l'ajout d'eau pour séparer les phases huileuses et solides contenant des grignons et des margines.

Ce décanteur à deux étapes offre des rendements en huile légèrement supérieurs à ceux obtenus par le décanteur traditionnel à trois étapes et le système de presse. De plus, il ne fait pas augmenter le volume des marges.

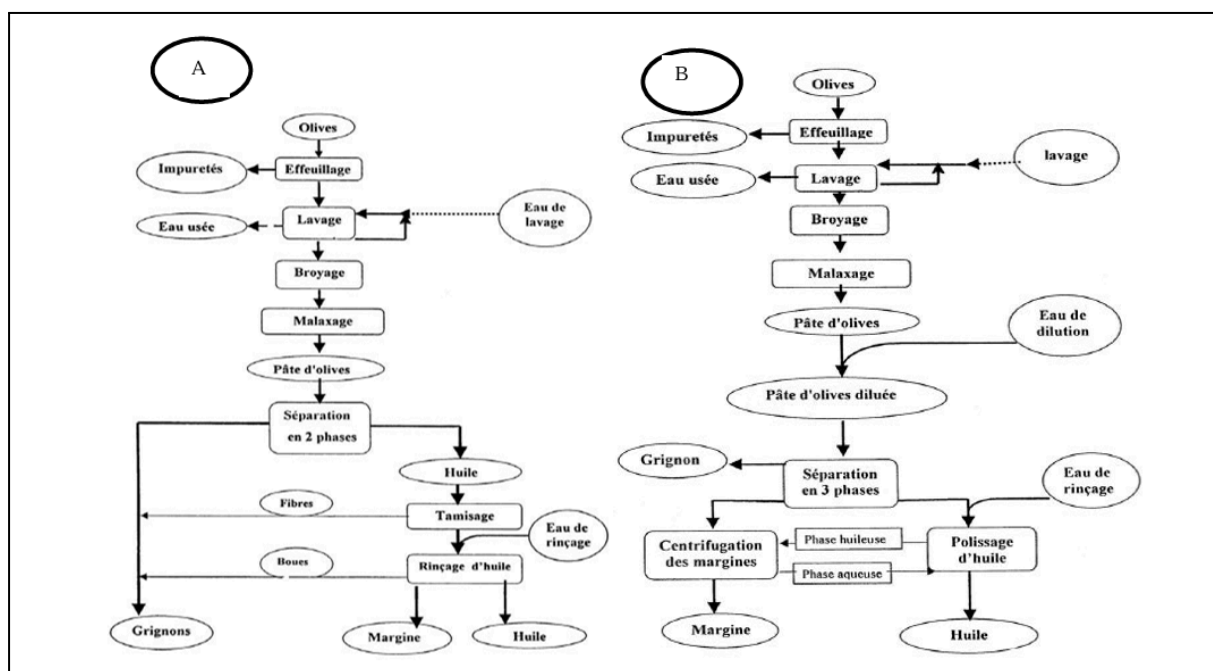


Figure 3. Procédés d'extraction de l'huile d'olive à deux phases (A) et à trois phases (B)

Chapitre 1

4. Généralités sur les déchets d'huile d'olive.

Les déchets d'huile d'olive, sont de deux types : produits par la **taille** des arbres (bois, feuilles et branches) caractérisés comme **déchets** et par la **production d'huile d'olive** définies comme des **sous-produits (Donner et al., 2022)**.

Les sous produits comprennent des **résidus solides** du pressage des olives, ainsi que des **résidus liquides**.

Le type des sous produits varie selon la technique de trituration, dans un procédé traditionnel d'extraction. **Presse ou discontinue** , les déchets sont constitués des résidus solides, connus sous le nom **de grignons**, et les résidus liquides: **les margines**.

En revanche, une méthode d'extraction **biphasique ou triphasique (continue)** produit **une pâte visqueuse épaisse** appelée « **les margions** », qui est un mélange de grignons et de margines (Akbi et al., 2017).

Tableau 1. Quantités de sous-produits par tonne d'huile d'olive produite (Akbi et al., 2017).

Systèmes	Sous-produits	Quantités
Presse	Marc d'olive (26 % d'eau, 7 % d'huile).	2–3 t
	Eaux végétales (88 % d'eau).	2000–3000 l
3 phases	Marc d'olive (40 % d'eau, 4 % d'huile).	2,5 3 t.
	Eaux végétales (94 % eau, 1 % huile).	5 000 à 6 000 l.
2 phases	Marc d'olive humide (60% d'eau, 3% d'huile)	4 t.

4.1. Grignons d'olive.

Les grignons ou résidus solides, issus de la première pression. Ils sont formés de **la pulpe** et **noyaux** d'olives. Le poids des grignons représente environ un **tiers** du poids des olives fraîches triturées (Benyahia et al. 2003).



Figure 4. Les grignons en sortie de moulin (google.com)

4.1.1. Composition physique.

Le grignon d'olive renferme la plus grande partie de la matière sèche de l'olive et une certaine quantité d'eau de margines, ces déchets contiennent en moyenne **28,5% d'eau**, **41,5% de coque**, **21,5% de pulpe**, donc une grande quantité des fibres alimentaires, et **8,5% d'huile**. Leur niveau d'humidité oscille entre **25 et 40%** selon le procédé d'extraction employé (Benyahia et al. 2003).

4.1.2. Composition chimique.

Les grignons d'olive, en tant que **matériaux lignocellulosiques**, se composent principalement de **cellulose**, **d'hémicelluloses** et de **lignine**, qui constituent leur structure chimique fondamentale. Outre ces composants, ils renferment également **des résidus d'huile d'olive**, **des protéines**, ainsi que divers autres composés tels que des **acides aminés**, des **sucres simples**, des **polyphénols** et des **composés phénoliques** (Ducom et al., 2019).

Chapitre 1

Tableau 2. Composition chimique indicative des différents types de grignons (**Bouzaida & Bouhicha, 2021**)

Type	Matière Sèche	Matières minérales	Matières Azotée totales (%)	Cellulose brute	Matières Grasses
Grignon brut	75–80	3-5	5-10	35-50	8-15
Gr. gras part. dénoyauté	80–95	6-7	9-12	20-30	15-30
Grignon épuisé	85–90	7-10	8-10	35-40	4-6
Gr. épuisé part. Denoyauté	85–90	6-8	9-14	15-35	4-6
Pulpe grasse	35–40	5-8	9-13	16-25	26-33

4.2. Les margines.

L'extraction de l'huile d'olive génère des déchets liquides appelés margines, qui sont séparés de l'huile par centrifugation ou sédimentation après le pressage. Ces margines, parfois appelées **eaux de végétation**, sont souvent un **liquide visqueux** avec une **odeur désagréable** et une **couleur** allant du **brun** au **noir** (**Gaime-Perraud et al., 2009**).



Figure 5. La marge jetée dans un lac (**Younsi, 2023**)

Chapitre 1

4.2.1. Composition chimique.

Sa composition varie qualitativement et quantitativement selon la variété d'olive, les conditions climatiques, les pratiques culturales, le temps de stockage des olives et le processus d'extraction des olives.

Il est composé de **83 à 92 % d'eau**, de **4 à 16 % de matière organique** et de **1 à 2 % de minéraux**, Abondantes en **substances organiques** et en **polyphénols** résistants à la biodégradation, ces eaux présentent une conductivité d'environ **10 mS.cm⁻¹** principalement attribuable aux ions **potassium, chlorure, calcium et magnésium** (Dritan et al 2014).

Tableau 3. Composition physico-chimique moyenne des margines brutes et filtrées (Jeddi et al 2016)

Paramètres	unités	Valeurs moyennes				Quelques résultats cités dans la littérature
		Margines brute		Margines filtrées		
		Tra	3ph	Tra	3ph	
PH		4.41	4.7	4.7	5	[4.5 et 5.9][13]
Matières sèches (MS)	(g.l ⁻¹)	179.1	169.7	173.45	186.25	
Matières en suspension(MES)	(g.l ⁻¹)	156.35	97.4	-	-	
Matières Organique (MO)	(g.l ⁻¹)	128.6	108.15	107.6	105.15	
Matières Minerale (MM)	(g.l ⁻¹)	50.5	61.55	78.65	51.3	
Demande Biochimique en Oxygène (DBO)	(g d'O ₂ ⁻¹)	36	38	-	-	[12 - 30g d'O ₂ /l] [14]
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	(gd'O ₂ ⁻¹)	165.5	158.24	154.6	150.88	[50 à 220 g/l] [15]
Polyphénols Totaux (PPT)	(gd'acide caféique ⁻¹)	-	-	12.75	8.6	[5-80 g/l] [13] [16]
Sucres Totaux	(g.l ⁻¹)	0.10	0.08	0.12	0.10	
Matière Grasse	(%)	13.2	4.5	11	0.7	
Conductivité	(mS/cm)	16.15	13.34	-	-	[16]
Salinité (‰)	(‰)	6.8	7.4	-	-	

4.3. Les produits de la taille de l'olivier

L'olivier peut avoir une taille annuelle, bisannuelle ou de rajeunissement. Selon les études tunisiennes (Nefzaoui et al. 1983) et espagnoles (Alibès et Berge, 1983), un olivier produirait en moyenne 22 kg de feuilles et de rameaux dont le diamètre est inférieur à 4 cm.

Les feuilles et les brindilles sont composées de divers éléments chimiques : variété, conditions climatiques, époque de taille, proportion de bois, âge des plantations.

Chapitre 1

Cependant, en général, la quantité de matières grasses est plus élevée que celle des fourrages et varie entre 5 et 7%, tandis que celle des composants pariétaux, notamment de la lignine, est toujours élevée (18 à 20%).

Effectivement, en comparaison avec la paille et le foin, les feuilles et les rameaux d'olivier contiennent moins de cellulose et d'hémicellulose (une fraction relativement digestible par les ruminants) et plus de lignine (une fraction totalement inaccessible aux animaux).

À la différence des autres résidus de l'olivier, les études de recherche sur les résidus de la taille sont délimitées. L'accent a été mis sur les aspects liés à l'utilisation de ces produits en tant que combustible ou en tant qu'apport nutritionnel à l'alimentation animale (**Zoiopoulos, 1983**). Mais d'autres usages peuvent être faits.

Mais en règle générale, la teneur en matières grasses est supérieure à celle des fourrages et oscille entre 5 et 7 %, tandis que celle des composants pariétaux, en particulier de la lignine, reste élevée (18 à 20 %).

En effet, les feuilles et les rameaux d'olivier, par rapport à la paille et au foin, sont moins riches en cellulose et en hémicellulose (fraction relativement digestible par les ruminants) et en lignine (fraction totalement inaccessible aux animaux).

Contrairement aux autres résidus de l'olivier, les recherches sur les résidus de taille sont séparées. **Selon Zoiopoulos (1983)**, l'accent a été mis sur les aspects liés à l'utilisation de ces produits comme combustible ou comme apport nutritionnel à l'alimentation animale. Cependant, il existe d'autres utilisations.

5. Impact des déchets d'olive sur l'environnement.

Le processus de production d'huile d'olive génère de grands volumes de marc d'olive qui peuvent contenir des niveaux élevés de polluants. leur élimination peut entraîner la pollution du sol, de l'air et de l'eau.

A- Impact sur les eaux

le margine se caractérise par une **charge organique** et une **COD** inerte élevée, un **pH faible** et des **substances toxiques**. Ses substances organiques complexes sont généralement résistantes à la biodégradation, ce qui peut avoir des effets néfastes sur l'environnement et la vie aquatique.

De plus, les **polyphénols** présents dans le margine ont la capacité d'inhiber **les récepteurs des neurotransmetteurs** et **les enzymes**, ce qui peut affecter **la reproduction des poissons** et **l'activité enzymatique** ce qui entraîne une réduction notable de la **biodiversité de l'écosystème.**(**Dritan et al 2014**).

Chapitre 1

B- Impact sur les sols :

D'autre part, ils provoquent également la **contamination du sol**, les substances toxiques contenues dans les déchets d'olives se lient au sol. Certaines de ces substances telles que les **phénols** peuvent inhiber l'**activité microbienne** du sol (**Benyahia et Zien., 2003**).

Selon **Dritan et al 2014**, le margine présente une charge élevée de polluants biologiques et chimiques (**DBO dans la gamme 23 - 100 g/L**). La DBO est **25 - 80** fois plus grande que le niveau de pollution des eaux usées municipales communes.

C- Impact sur l'air.

En général, cela est causé par la dégradation de ces déchets. Les margines présentent une teneur élevée en sels (200 fois supérieure aux eaux urbaines), une charge organique élevée et une acidité élevée, ce qui entraîne une sursaturation des milieux récepteurs et crée des conditions d'anaérobiose propices à la production d'hydrogène sulfureux (H₂S) lors de la fermentation (**Yahyaoui, 2012**).

Chapitre 2

La production des bio fertilisants et l'extraction des Polyphénols à partir des déchets d'olive

Chapitre 2

1. Les bio fertilisants

1.1. Généralités

Les biofertilisants, définis comme des formulations contenant des micro-organismes vivants, jouent un rôle crucial dans la promotion de la croissance des plantes par divers mécanismes d'action biologiques.

Lorsqu'ils sont appliqués aux graines, aux surfaces des plantes ou directement au sol, ces micro-organismes colonisent la rhizosphère – la zone racinaire – et améliorent la disponibilité des nutriments essentiels, tels que l'azote, le phosphore et le potassium, nécessaires à la croissance des plantes.

Les biofertilisants sont une alternative durable et écologique aux engrais chimiques, contribuant ainsi à une agriculture plus respectueuse de l'environnement et à la préservation de la santé des écosystèmes (**Kumar et al., 2018**).

Les différents types de biofertilisants incluent des bactéries fixatrices d'azote, des champignons mycorhiziens, des bactéries solubilisatrices de phosphore, et des bactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPB).

Les bactéries fixatrices d'azote, telles que les *Rhizobium*, *Azotobacter* et *Azospirillum*, convertissent l'azote atmosphérique en ammoniac, une forme d'azote assimilable par les plantes.

Les champignons mycorhiziens, comme les *Glomus*, forment des symbioses avec les racines des plantes, augmentant l'absorption des nutriments, particulièrement le phosphore, et améliorant la résistance des plantes aux stress abiotiques et biotiques.

Les bactéries solubilisatrices de phosphore, telles que les *Bacillus* et *Pseudomonas*, libèrent du phosphore minéral et organique immobilisé dans le sol, le rendant disponible pour les plantes (**Kumar & Kumar, 2019**).

Chapitre 2

2. Compostage

2.1. Définition

Le compostage est une méthode naturelle qui permet aux micro-organismes de « dégrader » ou de décomposer la matière organique dans des conditions aérobies.

Une fois le processus de compostage terminé, il est possible d'utiliser des matières premières organiques comme les résidus de culture, les déchets alimentaires, les restes animaux, certains déchets urbains et les déchets industriels appropriés comme fertilisant pour les sols **(MISRA et al., 2005)**.

3. Compost

Le compostage consiste à dégrader aérobiement et biochimiquement les déchets organiques. Dans des conditions adéquates, le processus de compostage comprend trois étapes successives, a) la première phase d'activation b) une phase thermophile qui se distingue par une augmentation brusque de la température. c) une phase mésophile où les matières organiques se refroidissent à la température ambiante **(Ryckeboer et al., 2003a)**.

La chaleur produite par les activités métaboliques microbiennes entraîne des modifications physicochimiques de la matière organique en biomasse, en CO₂ et en produits finis de type humus, ce qui entraîne la formation d'un mélange complexe stable et riche en humus à la fin du processus **(Cooperband, 2002)**.

Les activités enzymatiques de populations microbiennes spécialisées sont responsables de la transformation de la matière organique **(Chowdhury et al., 2013)**.

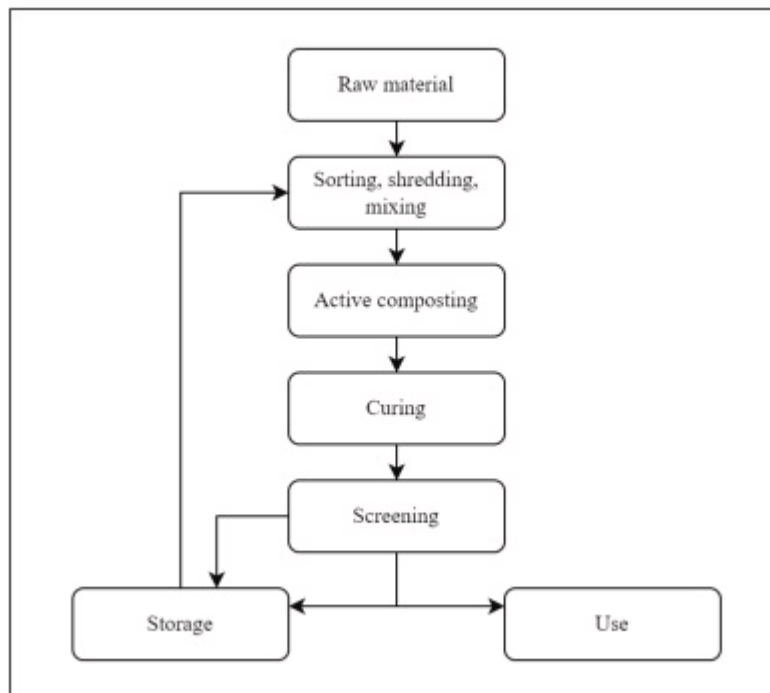


Figure 6. Processus de compostage

4. Phases du compostage.

Le compostage se déroule en quatre étapes selon l'évolution de la température observée.

4.2. Phase mésophile

Il s'agit de la première étape du compostage. Au début, la présence de matières organiques biodégradables (sucres, glucides, lipides) suscite une activité microbienne intense qui provoque une hausse rapide de la température à l'intérieur du compost.

Chapitre 2

4.3. Phase thermophile.

Il y a une augmentation de la température de 60°C à 75°C. Les bactéries sont les seules à pouvoir survivre à ces températures. La majeure partie de la matière organique se décompose en CO₂ et H₂O.

4.5. Phase de refroidissement

Sa particularité réside dans une réduction de la quantité de matières organiques facilement dégradables, ce qui entraîne un ralentissement de l'activité des microbes. Cela permet de refroidir le compost.

4.6. Phase de maturation

Il y a une prédominance des processus d'humification et une dégradation lente des composés résistants. Cette étape de maturation se poursuit jusqu'à ce que le compost soit utilisé.

5. Principaux paramètres de compostage

Les principaux paramètres de compostage sont :

5.1. Rapport C/N

Il joue un rôle essentiel dans l'activité biologique. Selon **MUSTIN (1987)**, les bactéries se servent du carbone comme énergie et de l'azote comme source de protéines. Afin d'assurer un compostage optimal, il est nécessaire d'avoir un rapport Carbone/Azote optimal compris entre 30 et 50.

5.2. PH

La phase acidité modérée du composte est due à l'activité microbienne. Les paramètres de base du compost (composition, humidité) et les conditions atmosphériques peuvent influencer la durée de cette phase. Un compost acide est un compost très jeune qui n'est pas encore à maturité dans des conditions optimales.

Chapitre 2

5.3. La température

Ce critère témoigne de la capacité des substrats à se composer. Elle se développe jusqu'à une température de 60-80°C, et cette évaluation est attribuable à une activité bactérienne intense. La hausse de température revêt une importance capitale car elle a un impact sur l'assainissement du compost.

5.4. L'oxygène

Tout processus de fermentation aérobie nécessite l'utilisation d'oxygène pour oxyder les substances. Au début, ce besoin est le plus élevé et diminue progressivement au fil du temps.

5.5. L'humidité

Il joue un rôle essentiel dans la dégradation des substrats, il ne doit pas être inférieur à 20% et ne dépasser pas 70%. Le taux optimal est compris entre 40 % et 60 % (RICHARD et al., 2002).

5.6. Granulométrie,

La granulométrie joue un rôle essentiel dans la vitesse de dégradation biologique. En augmentant la surface spécifique du substrat, la zone de contact entre le substrat et les micro-organismes se développera davantage et la fermentation sera améliorée. Une granulométrie trop mince entraîne une réduction de l'espace poral et réduit l'accès et la circulation de l'air, ce qui entraîne un "étouffement" du compost. À la différence de l'élévée granulométrie, les apports d'oxygène vont dépasser les niveaux optimaux, asséchant le compost, et la montée en température sera difficile.

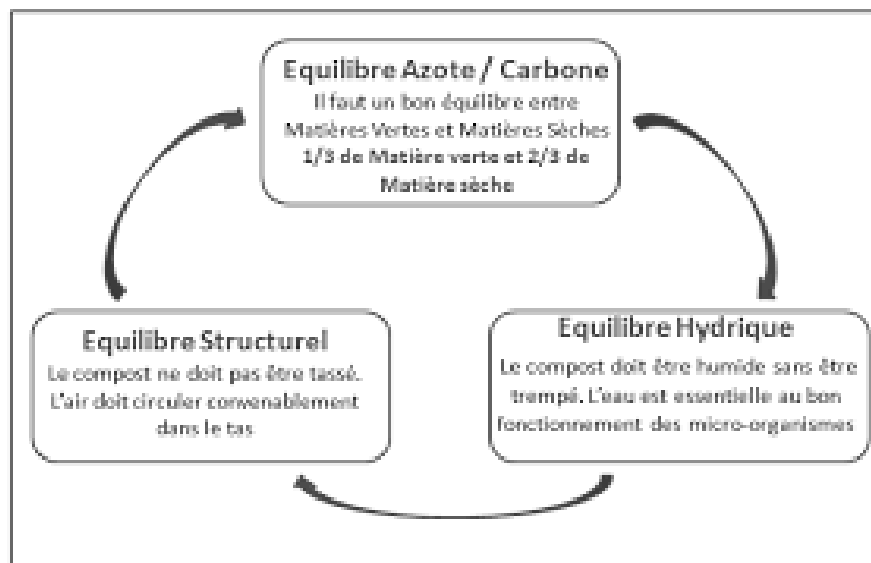


Figure 7. L'équilibre nécessaire pour le Compostage

6. L'évaluation d'un compost mur

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

6.1. La couleur

Un compost mûr à une couleur brune ou noire selon les matières organiques utilisées pour sa fabrication. Un compost brun clair ou verdâtre devra être laissé encore quelques temps tranquille avant de l'utiliser.

6.2. L'odeur

Un compost mûr doit sentir l'humus forestier. Si l'odeur reconnus est de fientes de volailles, de fumier de bovins ou de grignons d'olives attendez encore avant de le récolter.

6.3. L'apparence

S'il reste des bouts dans le compost, c'est que tous n'a pas été dégradé.

Chapitre 2

7. Les déchets d'huile d'olive comme fertilisants

Les déchets d'huile d'olive, notamment le grignon d'olive et les margines, contiennent une richesse en matières organiques et en nutriments essentiels qui peuvent être valorisés en agriculture (**Nogales et al., 2011**).

Les grignons d'olive, résidus solides obtenus après l'extraction de l'huile, sont riches en matière organique, en potassium, en phosphore et en oligo-éléments. Lorsqu'ils sont compostés correctement, ils peuvent être transformés en un amendement organique de haute qualité.

Ce processus de compostage implique l'aération et le retournement des tas de grignons pour favoriser la décomposition microbienne, réduisant ainsi la teneur en phénols toxiques et en composés organiques volatils

Le compost obtenu améliore la structure du sol, augmente sa capacité de rétention d'eau et fournit des nutriments essentiels pour la croissance des plantes (**Fernández-Hernández et al., 2014**).

Des études ont démontré que l'application de compost de grignons d'olive peut avoir des effets positifs sur diverses cultures agricoles. Par exemple, l'ajout de compost de grignons au sol a montré une amélioration significative de la croissance et du rendement des cultures de tomates et de poivrons (**Doula et al., 2017**).

Chapitre 2

Tableau 4. Caractéristiques physico-chimique des grignons d'olives brutes et de leurs compost

Les paramètres de mesures	Les grignons d'olives	Le compost des grignons d'olives
pH	5.28 ± 0.05	8.61 ± 0.03
Conductivité électrique en mS/cm	1.88 ± 0.56	2.06 ± 0.22
Humidité en %	80.34 ± 0.07	30.4 ± 0.14
Matière Organique en %	77.02 ± 0.08	38.4 ± 0.76
Carbon Organique Total en %	49.72 ± 0.21	22.32 ± 0.89
L'Azote Total de Kjeldhal en %	0.861 ± 2.19	1.3 ± 1.89
Phosphore Assimilable en %	0.015 ± 0.002	0.42 ± 0.86
Rapport C/N	57.74	17.16

8. Compostage des déchets d'olive

Le compostage des déchets de moulin à huile d'olive, tels que les grignons, est une méthode écologique pour gérer ces sous-produits tout en améliorant la fertilité des sols.

Ce processus consiste à décomposer la matière organique sous l'action de micro-organismes, transformant les résidus en compost riche en nutriments.

Des recherches récentes montrent que le compostage dépend de facteurs comme la température, le pH, l'humidité, la taille des particules, et l'apport en oxygène.

Ces éléments régulent la croissance des microbes et la décomposition de la matière organique. Les facteurs influençant le compostage se divisent en deux catégories : la

préparation du mélange (pH, taille des particules, humidité initiale) et la gestion du processus (humidité, température, aération) (Chowdhury et al., 2013).

8.1. Phases de compostage, température et durée

Le compostage du grignon d'olive, un processus en trois phases distinctes, commence par la phase mésophile caractérisée par une activité bactérienne intense à des températures modérées.

Chapitre 2

Cette étape est suivie de la phase thermophile, où la température augmente significativement, favorisant la dégradation accélérée de la matière organique par des micro-organismes thermophiles.

Enfin, la phase de maturation permet le refroidissement progressif du compost, accompagné de la dégradation finale des composés organiques résistants par des champignons et des actinomycètes. Ce processus aboutit à la formation d'un compost stabilisé, riche en nutriments et prêt à être utilisé comme amendement pour améliorer la fertilité des sols agricoles.

la température des tas de compost est essentielle pour la biodégradation des matières organiques. Elle est influencée par des paramètres comme le volume du tas, l'aération, la porosité et l'humidité du compost.

De Bertoldi et al. (1983) expliquent que la température montre l'activité microbienne et impacte le processus de compostage. Idéalement, pendant la phase thermophile, la température doit être entre 40 et 65 °C, et dépasser 55 °C pour tuer les pathogènes. **Miller (1992)** recommande une plage de 52 à 60 °C. Des températures trop élevées nuisent aux microbes thermophiles (**Chowdhury et al., 2013**).

8.2. dégradation de la matière organique

Selon **Keener et al. (2000)**, différents microbes participent au compostage selon la température. Les bactéries dominent au début, tandis que les champignons sont actifs lorsque

l'humidité est inférieure à 35 % et inactifs au-dessus de 60°C (Bernal et al., 2009). Pendant la phase de maturation, les actinomycètes et les champignons dégradent les polymères résistants. La matière organique (MO) est influencée par sa composition.

Haug (1993) explique que les composés organiques simples sont dégradés rapidement au début, tandis que les composés plus résistants comme la cellulose se dégradent lentement. La teneur en MO du compost dépend des matériaux utilisés et de l'activité microbienne.

Chapitre 2

Durant le compostage, la perte de MO varie entre 55 et 68 % selon les matériaux. Les composés stables comme les lipides et la lignine se dégradent moins.

Les champignons thermophiles à 50°C dégradent la lignine, et la durée de la phase thermophile est cruciale pour cette dégradation (Tuomela et al., 2000). Le retournement mécanique prolonge cette phase et augmente la dégradation de la lignine et la perte d'azote.

Lors du compostage des déchets de moulin à huile d'olive, la dégradation de la matière organique augmente les sucres solubles dans l'eau (WSC) à cause des microbes et de la libération de composés comme les phénols et les sucres.

En fin de compostage, les WSC diminuent, indiquant la maturité du compost. Certains chercheurs estiment qu'un compost est mûr quand les WSC sont inférieurs à 1%.

La composition initiale du compost influence cette valeur finale. Les graisses, présentes en grande quantité au début, diminuent fortement à la fin du compostage. La dégradation des graisses n'est pas affectée par l'aération (**Chowdhury et al., 2013**).

8.3. C/N ratio

Le rapport carbone-azote (C/N) idéal pour le compostage efficace varie généralement entre 25 et 35. Ce ratio assure aux microbes suffisamment de carbone par rapport à l'azote pour une décomposition efficace (Bishop et Godfrey, 1983).

Les ratios élevés retardent le compostage en raison d'un excès de carbone par rapport à l'azote, tandis que les ratios bas entraînent des pertes d'azote par volatilisation de l'ammoniac ou lixiviation. L'ajout d'un agent de structuration riche en carbone organique peut corriger les ratios bas en fournissant du matériel décomposable supplémentaire (**Rynk, 1992; Cayuela et al., 2004**).

Chapitre 2

Divers matériaux ont été utilisés comme agents de structuration dans le compostage, tels que les déchets animaux riches en azote par rapport aux matières végétales comme les sources vertes ou ligneuses (**Cooperband, 2002**).

La complexité des composés carbonés influence également les taux de décomposition, les glucides simples se décomposant plus facilement que les composés complexes comme la lignine (**Cooperband, 2002**).

Dans le compostage des déchets de moulin à huile d'olive, une variété de matériaux tels que les fumiers, les résidus de taille, les pailles et les sous-produits agricoles ont été utilisés comme agents de structuration.

Ces matériaux améliorent la porosité du compost, réduisent les substances phytotoxiques et maintiennent des ratios C/N optimaux pour une activité microbienne efficace et la rétention des nutriments (**Chowdhury et al., 2013**).

9. Production de compost (Thomson et al., 2022).

La production de compost se fait en plusieurs étapes :

A. Prétraitement des déchets oléicoles

Avant le compostage, les déchets oléicoles sont préalablement séchés et broyés pour faciliter le processus de décomposition.

B. Mélange avec d'autres matières organiques

Les résidus sont mélangés à des matières organiques vertes, telles que les excréments de volaille et le fumier de bétail, à l'aide de chargeurs frontaux. Ce mélange équilibre le rapport carbone/azote (C/N), essentiel pour un compostage efficace.

Chapitre 2

C. Formation des tas de compost

Les matériaux mélangés sont disposés en piles dans une zone de compostage spacieuse, construites à une hauteur d'environ 1,2 à 1,8 mètre et disposées en rangées longitudinales. Chaque tas de compostage mesure généralement entre 15 et 30 mètres de long, avec une distance de 3 à 4,5 mètres entre chaque tas pour optimiser l'utilisation de l'espace et faciliter la gestion des matériaux.



Figure 8. Tas de compost

D. Gestion de l'aération

Les tas de compost sont régulièrement retournés à l'aide d'un retourneur de compost pour assurer une aération adéquate, stimulant ainsi l'activité microbienne et la décomposition.

E. Surveillance de la température et de l'humidité

La température des tas de compost est surveillée avec un thermomètre pour maintenir une plage optimale de 50 à 70°C, favorisant une décomposition rapide et la destruction des pathogènes. L'humidité est également contrôlée pour maintenir un niveau optimal entre 40% et 60%.

Chapitre 2

F. Maturation du compost

Après la phase thermophile, le compost passe par une phase de maturation où il refroidit et continue à se décomposer lentement, atteignant finalement une stabilité biologique.



Figure 9. Produit final de compostage

G. Contrôle de qualité

Le compost est soumis à des tests de qualité pour évaluer ses nutriments, son pH et la présence éventuelle de contaminants, assurant ainsi sa conformité avec les normes de compostage.

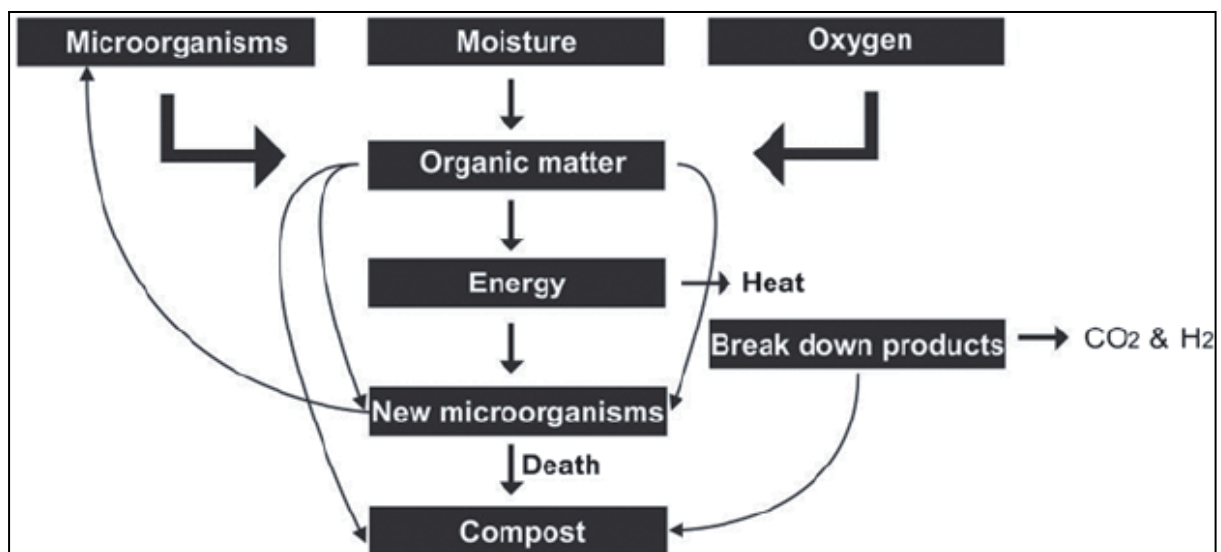


Figure 10. Représentation schématique du procédé de compostage(Maheshwari et al.,2014).

Chapitre 2

2. Les polyphénols

1. Generalities

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires qui représentent l'un des groupes les plus répandus dans le monde végétal avec plus de 8000 structures phénoliques disponibles (**Launay, 2017**). Ils sont essentiels pour le développement, la reproduction et la pigmentation, participent aussi à la défense des plantes contre les agressions environnementales (**Gee et Johnson, 2001**).

On les retrouve dans une grande variété d'aliments végétaux, notamment les fruits, les légumes, le thé, le café, le vin rouge et l'huile d'olive.

Selon **Faller et Fialho (2010)**, la qualité et la quantité des polyphénols présents dans les plantes varient considérablement en fonction de divers facteurs intrinsèques et externes tels que le génotype des plantes, la composition du sol, le degré de maturité et l'état des cultures.

Ces composés ont une large gamme de structures complexes. Le monomère de base dans les polyphénols est l'anneau phénolique et généralement ce sont des acides asphénoliques classés et des alcools phénoliques.

Selon la force du cycle phénolique, les polyphénols peuvent être classés dans de nombreuses classes, mais les principales classes des polyphénols sont les acides phénoliques, les flavonoïdes, les stiblines, les alcools phénoliques et les lignanes (**Abbas et al., 2016**).

Les polyphénols, réputés pour leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, offrent divers bienfaits au-delà de la santé. La recherche suggère leur potentiel en tant qu'agents antifongiques et insecticides naturels, avec des applications dans l'agriculture et l'industrie (**El-Abbassi et al., 2017**). De plus, dans les secteurs alimentaire et cosmétique, les

Chapitre 2

polyphénols servent de conservateurs naturels et de protecteurs de la peau contre le stress oxydatif (Abbas et al., 2016).

2. Les classes principales des polyphénols.

Les polyphénols peuvent être classés de diverses façons. Manach et al. (2004) ont classé les polyphénols par le nombre des anneaux de phénol présents et par les composants structurels qui lient ces anneaux ensemble, différenciant les molécules en **acides phénoliques**, **flavonoïdes**, **stilbènes**, **lignanes** et **tanins**.

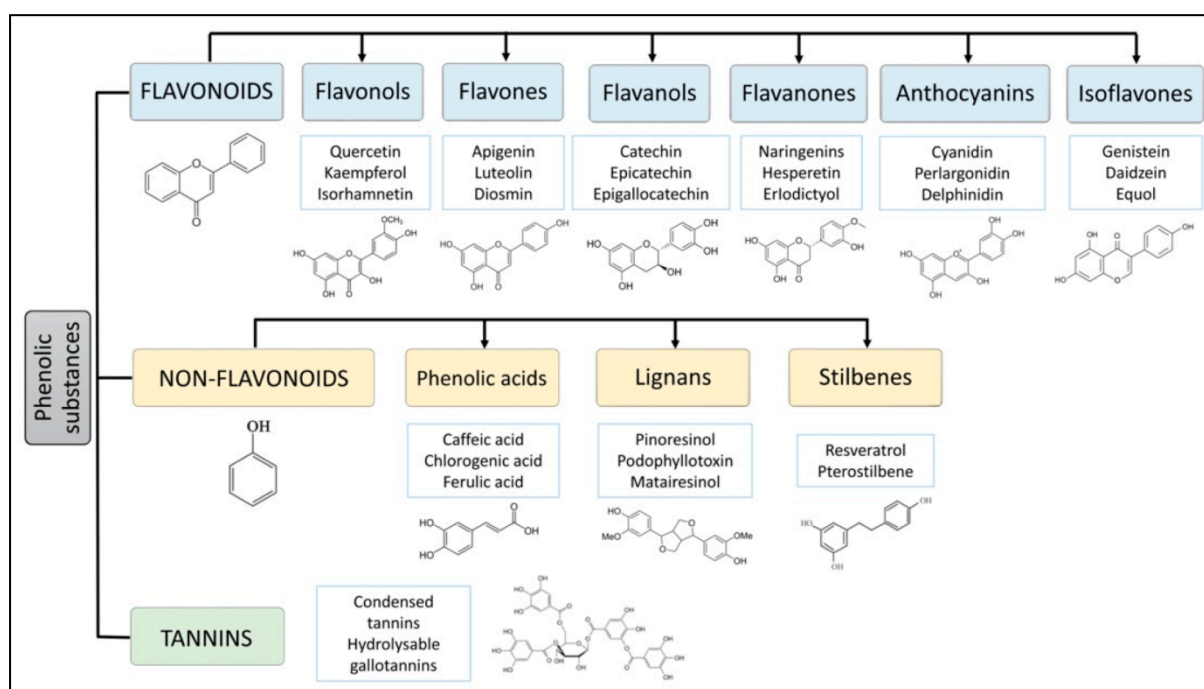


Figure 11. Principales classes de polyphénols : flavonoïdes, non-flavonoïdes (acides phénoliques, lignanes, stilbènes) et tanins (Serra et al., 2021).

2.1. Les acides phénoliques.

Les acides phénoliques sont la classe la plus importante de produits chimiques bioactifs regroupés sous des composés phénoliques présents dans diverses sources végétales telles que les fruits, les légumes, les épices, les céréales et les boissons, qui sont distribués dans

Chapitre 2

différentes parties des plantes. Ils sont le secondaire aromatique métabolites conférant couleur, saveur, astringence et dureté, qui contribuent aux caractéristiques organoleptiques typiques des aliments.

Ces composés existent principalement sous forme **d'acides hydroxybenzoïques** et **d'acides hydroxycinnamiques (Rashmi & Negi, 2020)**.

2.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes appartiennent à un groupe de substances naturelles avec des structures phénoliques variables et se trouvent dans les fruits, les légumes, les céréales, l'écorce, les racines, les tiges, les fleurs, le thé et le vin (**Middleton, 1998**).

Ces produits naturels étaient connus pour leurs effets bénéfiques sur la santé bien avant que les flavonoïdes ne soient isolés comme composés efficaces.

Plus de 4000 variétés de flavonoïdes ont été identifiées, dont beaucoup sont responsables des couleurs attrayantes des fleurs, des fruits et des feuilles (**De Groot & Rauen, 1998**). Ils sont divisés en plusieurs sous-classes, flavones, flavonols, flavanones, flavanols, isoflavones et anthocyanines (**Rufino et al., 2020**)

2.3. Les tanins

Les tanins sont les principaux métabolites secondaires polyphénoliques largement distribués dans la gamme de 5 à 10% des matières végétales vasculaires sèches (**Barbehenn et Constabel, 2011**).

Les tanins sont également disponibles dans les aliments, c'est-à-dire les raisins, les mûres, les fraises, les noix de cajou, les noisettes, les mangues et le thé (**Clifford et Scalbert, 2000**).

Chapitre 2

Les tanins agissent comme agents de défense des plantes, protègent les arbres des champignons, des agents pathogènes, des insectes et des animaux herbivores (**De Bruyne et al., 1999; Sharma, 2019**).

Ils se divisent principalement en deux sous-groupes **Tanins hydrolysables** et **Tanins condensés**.

2.4. Les stilbènes

Les stilbènes sont une petite famille de métabolites secondaires polyphénoliques qui peuvent être trouvés dans plusieurs espèces végétales éloignées.

Ces composés agissent comme des phytoalexines, jouant un rôle crucial dans la défense des plantes contre les phytopathogènes, ainsi que d'être impliqué dans l'adaptation des plantes aux facteurs environnementaux abiotiques (**Valletta et al., 2021**).

2.5. Les lignines

La lignine est une macromolécule phénolique naturelle. Dans les cellules végétales, la lignine aide à améliorer la dureté et la résistance des tissus du xylème, à prévenir les dommages microbiens et hydriques.

Les polyphénols de lignine ont des propriétés antioxydantes, antibactériennes, anticancéreuses, anti-inflammatoires, immunostimulantes, etc. (**Barapatre et al., 2016, Hussain et al., 2020**).

2. Sources des polyphénols.

Les polyphénols se trouvent dans de nombreuses plantes et boissons comme le thé et le vin. Les flavonoïdes, acides phénoliques et stilbènes sont présents dans les oignons, le café et le vin rouge. Les lignanes, la curcumine et l'acide ellagique se trouvent dans les graines de lin, le curcuma et les grenades (**Abbas et al., 2016**).

D'autre part, les olives sont une source significative de polyphénols, L'huile d'olive est réputée pour sa diversité de composés phénoliques, y compris les phénols hydrophiles tels que l'hydroxytyrosol, l'oleuropéine (OL) et le tyrosol.

Chapitre 2

Actuellement, près de 36 composés phénoliques ont été isolés de L'huile d'olive extra vierge et identifiés, qui sont présents à une large gamme de concentrations (0,02 à 600 mg/kg) comme les acides phénoliques (acide vanillique, acide syringique, acide gallique, etc.), les flavonoïdes (eriodictyol, apigenin, lutéoline, etc.) **(Robles-Almazan et al., 2018)**.

3. Composés phénoliques des déchets d'olives.

4.1. Les feuilles d'olive.

Les feuilles d'*Olea europaea L.* contiennent plus de composés phénoliques que le fruit ou l'huile d'olive vierge : 1450 mg/100 g de feuilles fraîches **(Silva et al., 2006)**, contre 110 mg/100 g de fruits **(Kountouri et al., 2007)**, et 23 mg/100 mL d'huile d'olive extra vierge **(Owen et al., 2000)**.

Les feuilles d'olivier contiennent des composés phénoliques, notamment des secoiridoïdes et des flavonoïdes, qui sont des métabolites secondaires importants. Parmi les secoiridoïdes présents, les oléosides sont spécifiques aux oliviers et sont estérifiés à la partie phénolique.

Les principaux phénols bioactifs dans les feuilles d'olivier, l'oleuropéine (Ole) et le ligstroside, sont des glucosides secoiridoïdes qui leur confèrent des propriétés organoleptiques distinctives **(Hassen et al., 2015)**.

4.2. Le margine.

Les phénols d'olive sont plus solubles dans l'eau que dans l'huile, seulement 1 à 2 % de la teneur phénolique totale du fruit de l'olive se trouve dans l'huile selon la variété d'olive. Cependant, le reste est perdu dans OMW ($\approx 53\%$) et le gâteau aux olives ($\approx 45\%$).

Chapitre 2

Les classes couramment identifiées et quantifiées de composés phénoliques hydrophiles dans le margine sont les acides phénoliques, les alcools phénoliques, les flavonoïdes, les secoiridoïdes et les lignanes.

Le margine contient un groupe de polyphénols issus de l'acide cinnamique : acide cinnamique, acide p-coumarique, acide caféique et acide férulique.

Un autre groupe de composés phénoliques est dérivé de l'acide benzoïque: l'acide benzoïque, l'acide p-hydroxybenzoïque, l'acide protocatéchuicique, l'acide vanillique, l'acide véatricique, l'acide gallique, l'acide syringique et les dérivés β -3,4-dihydroxyphényléthanol, comme le tyrosol, l'hydroxytyrosol et le 3,4-dihydroxyphénylglycol. **(El-Abbassi et al., 2012).**

En plus des acides phénoliques, le margine contient des flavonoïdes (l'apigénine, la lutéoline, la quercétine et la rutine) ainsi que des secoiridoïdes (oleuropéine).

Parmi tous les polyphénols d'olive, l'hydroxytyrosol est considéré comme le principal composé phénolique dans le margine. et pourrait représenter jusqu'à 70 % des composés phénoliques monocycliques présents .Il a été un centre de recherche important depuis sa découverte et a été associé à un spectre de bioactivités intéressantes .**(Ragazzi & Veronese, 1973).**

4.3. Le grignons.

Les grignons d'olive contiennent également des composés phénoliques importants. tableau (2) présente la teneur totale en phénols et les principaux composés phénoliques du grignon d'olive **(Chanioti et al., 2021)**

Chapitre 2

Tableau 5. la teneur totale en phénols et les principaux composés phénoliques du grignon d'olive.

Contenu phénolique total (mg d'acide gallique (GA)/g de poids sec (PS))	Référence
10,2 à 40,0	(Seçmeler et al., 2018)
Principaux composés phénoliques (mg/g PS)	
Hydroxytyrosol	0,61–8,70
Oleuropein	1,22–13,50
Vanilline	0,92–3,64
Apigénine	0,41–0,60
Rutine	0,21–1,70
Lutéoline	0,02–0,14

5. Bioactivité des composés phénoliques des déchets d'olive.

5.1. Polyphénols comme biopesticides.

5.1.1. Contre les bactéries phytopathogènes

L'effet antibactérien de **marginine** et d'autres sous-produits riches en phénols a été étudié par les chercheurs sur différentes **bactéries phytopathogènes**. L'action antimicrobienne phénolique des eaux usées a permis d'inhiber totalement la croissance d'*Agrobacterium tumefaciens* à des doses supérieures à **0,5%**.

Elles ont aussi prouvé leur aptitude à inhiber plusieurs bactéries phytopathogènes, notamment en **diminuant** les populations d'*Erwinia amylovora* et de *Pseudomonas syringae* (Yangui et al., 2008).

Les activités bactéricides puissantes de marginine riche en **hydroxytyrosol** ont également été démontrées contre *Pseudomonas syringae* pv tomate et *Xanthomonas campestris*, avec des concentrations d'inhibition minimales allant de **7,18 à 14,4 mg/L** (Yangui et al., 2009).

Chapitre 2

Globalement, le margine et son composé phénolique principal, l'hydroxytyrosol, sont efficaces contre diverses maladies bactériennes rencontrées chez les plantes, telles que la **galle de la couronne**, le **feu bactérien**, le **flétrissement bactérien** et le **chancre de la tomate**.

5.1.2. Contre les champignons.

Le verticillium flétri, provoqué par *Verticillium dahliae* Kleb., est l'une des maladies végétales les plus destructrices à l'échelle mondiale et représente un défi pour les producteurs de trouver des solutions efficaces pour la combattre.

Certains chercheurs ont été invités à intégrer du margine dans le sol comme une alternative écologique aux fumigants afin de préserver les cultures contre *V. dahlia* (Yangui et al., 2011).

Les applications à forte dose du margine peuvent également inhiber la croissance de *Rhizoctonia solani* (Vagelas et al., 2009).

En outre, l'utilisation de la marge filtrée sur les fruits et légumes peut empêcher la sporulation de *Botrytis* et de *Penicillium spp.*, ainsi que la croissance du mycélium des pathogènes du sol *Fusarium oxysporum f. sp.* et lycopersici sur les plants de tomates (Kistner et al., 2004).

Selon Lykas et ses collègues (2014), il a été rapporté que le margine empêche la croissance du mycélium d'*Aspergillus*, *Botrytis*, *Fusarium* et *Penicillium* in vitro.

La présence d'hydroxytyrosol dans les extraits du margine montre une activité fongicide efficace contre les phytopathogènes, avec une concentration minimale d'inhibition de **7,18 à 57,4 mg/L** (Vagelas et al., 2009 ; Yangui et al., 2010).

En outre, Yangui et ses collègues (2010) ont rapporté une réduction de la viabilité des spores de *B. cinerea* par les unités logarithmiques N4 seulement après **30 min** de temps de contact

Chapitre 2

avec un margin riche en **hydroxytyrosol (1,25%; w/v)**. Les eaux usées provenant du traitement des olives ont aussi la capacité de lutter contre les agents pathogènes transmis par les graines.

5.1.3. Contre les mauvaises herbes.

Plusieurs recherches ont démontré que les composés phénoliques sont les principaux agents responsables de la toxicité phytotoxicité de margine, car ils impactent les mécanismes physiologiques des plantes tels que la perméabilité membranaire, la respiration, la production de protéines et les déchets d'activité enzymatique (**DellaGreca et al., 2001; Fiorentino et al., 2003; Isidori et al., 2005**).

Chapitre 2

Selon **Boz et al. (2009)**, l'ajout de déchets solides de moulin à olives dans le sol avant l'ensemencement a réduit la croissance de quatre mauvaises herbes à travers le monde (*Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Solanum nigrum* et *Sorghum halepense*) à une vitesse de 10 à 20 tonnes par hectare, sans avoir d'impact négatif sur les cultures, il ont aussi

observé que le marc d'olivier permettait un contrôle modéré de la purslane commune (*P. oleracea*), de l'amarante élancée (*A. viridis*) et de la queue de renard (*S. verticillata*).

L'étude de **Boz et al. (2010)** a également examiné l'impact du marc d'olive séché au soleil sur l'avoine sauvage (*Avena*), l'avoine stérile (*Avena sterilis*), l'herbe noire (*Alopecurus myosuroides*) et l'asclépiade à racines rouges et démontrer que le marc d'olive peut être employé afin de prévenir la croissance de tous les types de mauvaises herbes examinés.

5.1.4. Contre les nématodes, mollusques et arthropodes.

Chitwood (2002) a démontré que les composés phénoliques et les dérivés d'acides gras faisaient partie des composés phytochimiques ayant une capacité nématocide, tandis que **Cayuela et al. (2008)** ont signalé une forte inhibition de l'éclosion des œufs et de la motilité juvénile de deuxième stade (J2) de *Meloidogyne incognita*, le nématode des racines, à l'aide d'extraits d'eau stérile provenant de déchets d'olive en deux phases.

Cette découverte confirme la présence de composés bioactifs capables de traverser la coquille d'œuf du nématode et de supprimer la pénétration des racines par J2, perturbant ainsi le cycle de vie du nématode.

Les extraits de polyphénols du margine ont montré une activité molluscicide importante contre *Isidorella newcombi* avec des valeurs DL50 comprises entre 424 et 541 ppm (**Obied et al., 2007**).

De plus, **Kubo et Matsumoto (1984)** ont découvert que des extraits bruts de méthanol provenant de fruits d'olives amères présentaient une activité molluscicide contre l'escargot d'Amérique du Sud (*Biomphalaria glabrata*).

Chapitre 2

Lors du fractionnement et de l'isolement, l'oleuropéine et le ligstroside ont été identifiés comme composants actifs, avec des valeurs de DL50 de 250 et 100 ppm, respectivement.

Larif et al. (2012) ont évalué une préparation riche en hydroxytyrosol de l'OMW comme spray insecticide contre le psyllide d'olive (*Euphyllura olivina*).

La PRH a montré une forte activité à 2 g/L et a affecté la survie des larves et des adultes d'*E. olivina* et d'*A. citricola*, avec des concentrations de CL50 et de CL99 allant de 4 à 19 g/L et de 98 à 226 g/L, respectivement.

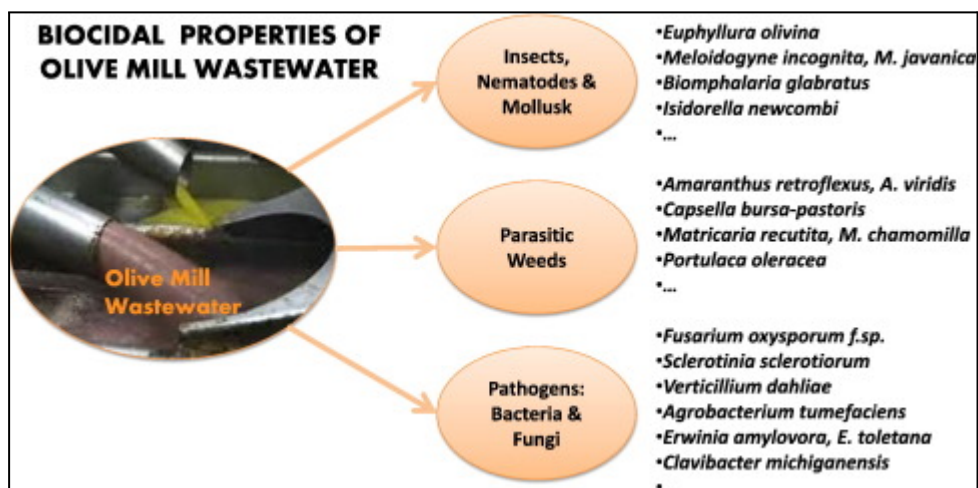


Figure 12. Graphique abstrait de bioactivité des polyphénols de margin.

6. Processus d'extraction de polyphénols des polyphénols (méthode de supercritical fluid extraction (SFE))(Caballero et al., 2019).

1. Collecte et préparation des matières premières (grignons et feuilles d'olivier).

A. Séchage.

Les résidus sont laissés sécher à périodes de temps jusqu'à leur niveau d'humidité inférieur à 10 %.

B. Broyage.

Chapitre 2

Les feuilles d'olivier et les résidus solides sont broyés en une poudre fine à l'aide d'un **broyeur à marteaux**. Une poudre aussi homogène que possible est recherchée pour augmenter l'efficacité de l'extraction.

2. Chargement de la matière première.

La poudre de feuilles d'olivier et de résidus solides est placée dans l'unité d'extraction du système SFE (**la réacteur d'extraction ou extracteur**).

- Les conditions opérationnelles sont réglées, **pression : 200 à 300 bars** et la **Température : 40 à 80 degrés Celsius**.

3. Extraction

_ Le processus d'extraction est démarré en activant la pompe à CO₂, Le fluide est refroidi avant le pompage pour maintenir les conditions liquides on utilise un **refroidisseur**, pour les extractions à grande échelle **les pompes à membrane** sont les plus courantes.

_ Le fluide est ensuite chauffé dans des conditions supercritiques. Il passe ensuite dans le récipient d'extraction, où il se diffuse rapidement dans la matrice solide et dissout les polyphénols.

_ Les polyphénols dissous est balayé de la cellule d'extraction dans un **séparateur** à basse pression, et sont se dépose sous forme liquide concentrée.

_ Le CO₂ peut ensuite être refroidi, compressé et recyclé on utilise un **condenseur**.

4. Séchage des polyphénols.

Pour obtenir les polyphénols sous forme de poudre, l'extrait liquide est soumis à un processus de séchage par le **séchage sous vide**.

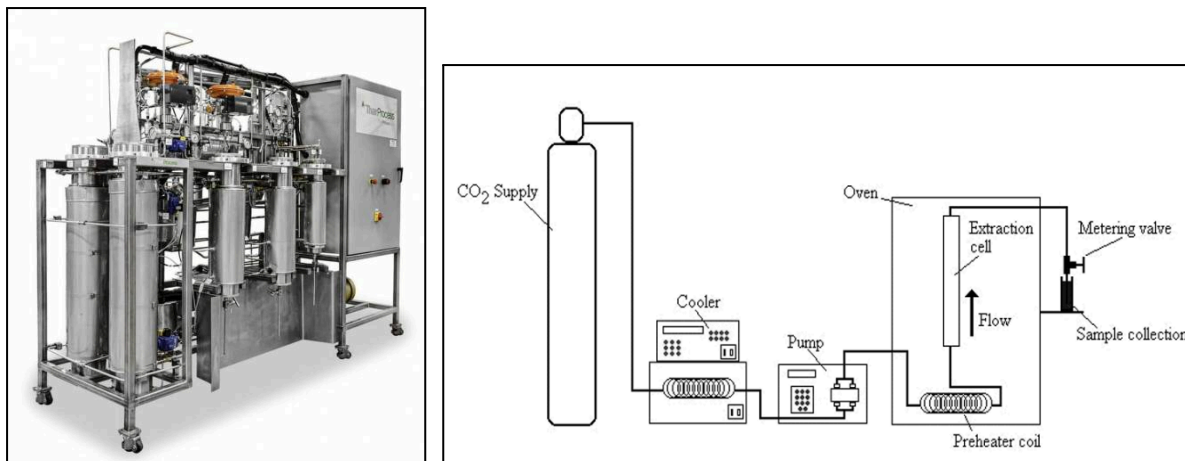


Figure 13. Gauche:machine de Supercritical Fluid Extraction (SFE), droite:(SFE) diagram.



Figure 14. Produit final (polyphenol poudre)

7. la diversifiée de bioactivités de polyphenol de déchets de l'olive.

S'étendant au-delà de leur bioactivité reconnue dans le secteur agricole, les composés phénoliques des déchets d'olives présentent un potentiel significatif dans d'autres domaines.

Ces composés, dont l'hydroxytyrosol, l'oleuropéine, la vanilline, l'apigénine, la rutine et la lutéoline, présentent des propriétés bioactives remarquables qui s'étendent au-delà de l'agriculture. De leurs capacités antioxydantes et anti-inflammatoires à leurs effets antimicrobiens, ces composés phénoliques sont prometteurs pour diverses applications dans

Chapitre 2

des domaines tels que les produits pharmaceutiques, les cosmétiques et les industries alimentaires (**Torrecilla & Cancilla, 2021**).

Leur gamme diversifiée de bioactivités suggère un large éventail d'avantages potentiels, ouvrant la voie à une exploration et une utilisation plus poussées dans les autres secteurs

Chapitre 3
Transformation des déchets d'huile d'olive en
biocarburant

Chapitre 3

1. Le biocarburant

- **Définition**

Les biocarburants sont des sources énergétiques issues des matériaux biologiques qu'ils distinguent des autres sources d'énergie non fossiles, à l'instar de l'énergie des vagues, et l'éolienne.

De plus, quel que soit la forme des biocarburants (solide, liquide, ou gazeuse), il est clair que c'est une énergie durable, et renouvelable puisqu'elle est d'origine végétal et animale et donc elle peut être remplacée après une courte période (**Ruan et al., 2019**)

2. Types des biocarburants

2.1. Biogaz

Le biogaz est un sous-produit d'un lieu d'enfouissement et il provient de la décomposition anaérobie des matières organiques par divers microorganismes (compostage) (**Kougias & Angelidaki, 2018**).

La composition du biogaz peut varier dans des limites assez larges suivant la nature des déchets traités. Pour une composition moyenne de biogaz, on peut retenir les chiffres suivants :

Tableau 6. Composition du biogaz (**Kougias & Angelidaki, 2018**).

composition du biogaz	%
Méthane	40 à 60
Gaz carbonique (CO ₂)	35 à 45
Azote (N ₂)	0 à 3
Hydrogène sulfuré (SH ₂)	0 à 1
Hydrogène (H ₂)	0 à 1
Oxygène (O ₂)	0 à 1

Chapitre 3

2. 2. Production de biogaz à partir des grignons d'olive (Alonso-Fariñas et al., 2020).

Dans les récentes années, plusieurs études ont été menées sur l'utilisation des grignons d'olive pour la production de biocarburants, notamment le biogaz, en raison de leur haute teneur en matière organique.

Selon les recherches, le rendement en biogaz des grignons d'olive peut atteindre environ 0,35 m³ par kilogramme de matière sèche, avec une teneur en méthane de 50% à 70 %.

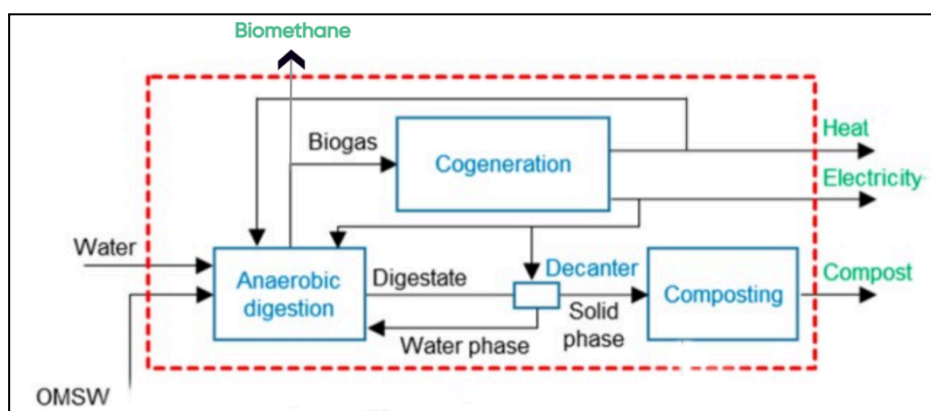


Figure 15. Illustration de la digestion anaérobie (Alonso-Fariñas et al., 2020)

La production de biogaz à partir des grignons d'olive et le même avec d'autres déchets agricoles implique plusieurs étapes pour convertir les déchets organiques en énergie renouvelable.

Les principales étapes de cette transformation sont :

A. Collecte des déchets organiques

La première étape de la production de biogaz consiste en la collecte systématique des déchets organiques provenant de diverses sources.

Ces déchets servent de matière première pour l'ensemble du processus.

B. Broyage et réduction de taille

Pour optimiser l'efficacité du processus de digestion ultérieur, les déchets organiques collectés sont soumis à un broyage mécanique.

Chapitre 3

Ce processus réduit la taille des particules des déchets, augmentant ainsi la surface disponible pour l'activité microbienne.

En augmentant la surface, le taux de décomposition microbienne est considérablement amélioré, ce qui conduit à un processus de digestion plus efficace.

C. Dilution et préparation

Les déchets broyés sont ensuite dilués, où de l'eau est ajoutée pour atteindre une concentration optimale de solides.

Cette étape est cruciale pour maintenir la fluidité et l'homogénéité du substrat, conditions essentielles pour une digestion microbienne efficace.

Généralement, la concentration cible de matière sèche est maintenue entre 10 % et 15 %.

D. Digestion anaérobie

La digestion anaérobie est le processus central de la production de biogaz.

À cette étape, le substrat préparé est introduit dans un digesteur anaérobie, un environnement dépourvu d'oxygène.

Ici, un consortium de micro-organismes décompose la matière organique à travers une série de réactions biochimiques.

Les principaux produits de cette décomposition anaérobie sont le méthane (CH_4) et le dioxyde de carbone (CO_2).

- **Activité microbienne** : Le digesteur anaérobie abrite une communauté microbienne diversifiée qui facilite la décomposition des composés organiques complexes.
- Le processus se déroule en plusieurs étapes, notamment l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse.

Chaque étape est médiée par des groupes spécifiques de micro-organismes qui travaillent en synergie pour convertir la matière organique en biogaz.

- **Agitation et contrôle de la température** : Pour garantir une activité microbienne uniforme, le digesteur est équipé de mécanismes d'agitation continue.

Cela empêche la formation de zones mortes et maintient un environnement constant dans tout le digesteur.

Chapitre 3

De plus, la régulation de la température est cruciale pour optimiser l'activité microbienne.

Des conditions mésophiles, autour de 30°C, sont généralement maintenues pour maximiser la production de biogaz.

E. Collecte et utilisation du biogaz

Le biogaz produit dans le digesteur anaérobie est capté et collecté grâce à un système de capture du biogaz.

Le biogaz collecté peut ensuite être purifié et utilisé dans diverses applications :

- **Purification** : La purification du biogaz élimine les impuretés, le rendant apte à être utilisé comme substitut au gaz naturel.
- **Cogénération** : Le biogaz peut également être utilisé dans des systèmes de cogénération pour produire à la fois de la chaleur et de l'électricité.

Cette double utilisation du biogaz améliore l'efficacité énergétique globale du processus de production.

F. Gestion du digestat

Le processus de digestion anaérobie produit un sous-produit appelé digestat, qui comprend une phase solide et une phase liquide.

- **Phase solide (digestat)** : Le digestat solide est riche en nutriments et peut être transformé en compost, fournissant un fertilisant organique précieux.
- **Phase liquide** : La fraction liquide est souvent recirculée dans le digesteur, réduisant le besoin en eau fraîche et maintenant l'efficacité du système.

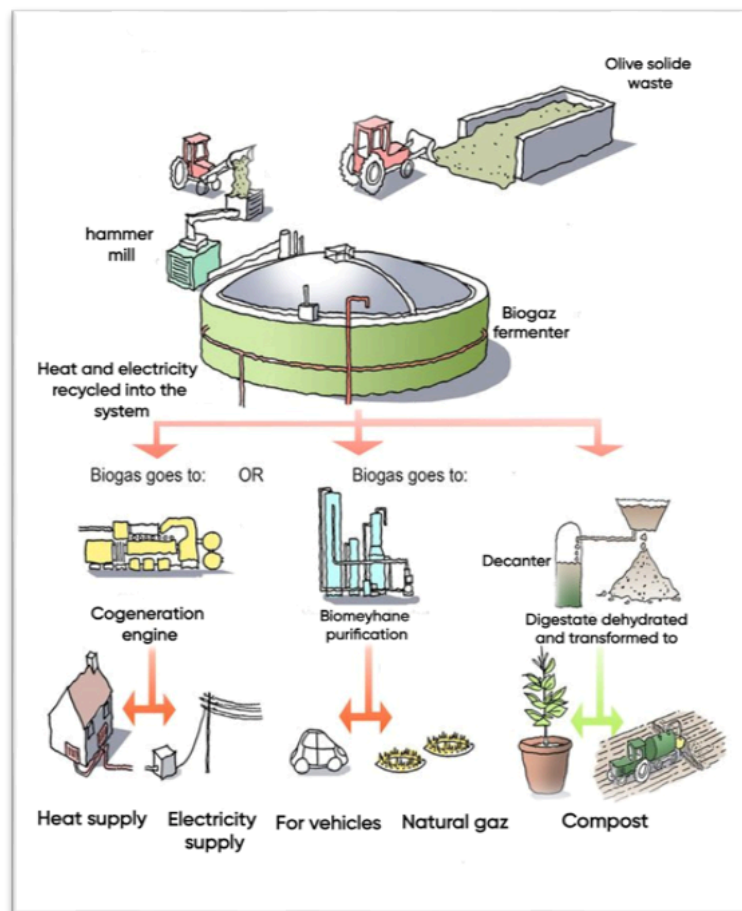


Figure 16. Graphique illustratif de la digestion anaérobie.

2.3. Liquide

Le biocarburant liquide est un type de biocarburant qui se présente sous forme liquide, généralement utilisé comme carburant pour les véhicules. Les biocarburants liquides les plus courants sont :

2.3. 1. Le biodiesel

Il est obtenu à partir de plantes oléagineuses (colza, tournesol, soja...) ou de graisses animales ou d'huiles alimentaires usagées .

Chapitre 3

Il est obtenu par l'estérification, c'est-à-dire la transformation des corps gras en esters méthyliques d'acides gras (EMAG) par une réaction chimique de transestérification en présence d'un catalyseur.

Cette technologie permet de produire à partir d'une tonne d'huile et 110 kg de méthanol, 970 kg de biodiesel et 108 kg de glycérine (Ma & Hanna, 1999).



Figure 17 . Biodiesel (google.com)

- **Procédés de production de biodiesel (Ma & Hanna, 1999).**

Les étapes générales du processus de production sont les suivantes :

A. Collecte et préparation des déchets organiques

La première étape consiste à collecter les déchets organiques sur le site de production.

Cette étape vise à rassembler les matières premières nécessaires pour le processus de production de biodiesel.

B. Extraction d'huile

Dans cette étape, l'huile est extraite des déchets organiques à l'aide d'une presse.

Ce processus permet de séparer l'huile des matières solides restantes, fournissant ainsi la matière première nécessaire à la production de biodiesel.

Chapitre 3

C. Processus de Transestérification

L'étape suivante est la transestérification, où l'huile extraite est mélangée avec un alcool (tel que le méthanol) et un catalyseur (comme l'hydroxyde de sodium) dans un réacteur de transestérification.

Cette réaction chimique transforme les lipides présents dans l'huile en biodiesel et en glycérol. Cette étape est cruciale pour la conversion des matières grasses en un carburant utilisable.

D. Séparation

Après la transestérification, cette étape consiste à séparer le biodiesel du glycérol.

Cette séparation est effectuée par décantation ou centrifugation, permettant de recueillir le biodiesel d'un côté et le glycérol de l'autre.

E. Purification

Le biodiesel brut obtenu après séparation contient encore des impuretés.

Cette étape consiste à purifier le biodiesel en le lavant avec de l'eau pour éliminer les impuretés résiduelles.

Le biodiesel est ensuite séché pour enlever toute trace d'eau, assurant ainsi une qualité optimale du produit final.

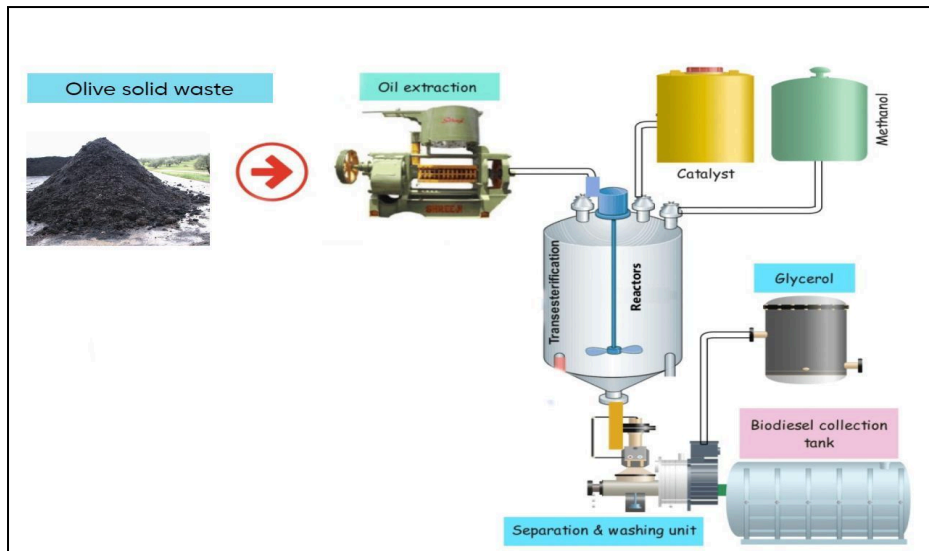


Figure 18. Le processus de production de biodiesel .

2.3.2. Le bioéthanol

Il est obtenu à partir de plantes sucrières ou de céréales . Il est utilisé en mélange dans les essences :

- Soit de manière systématique dans les supercarburants SP95-E10 (jusqu'à 10% en volume) , SP95 et SP98(jusqu'à 5% en volume).
- Soit à haute teneur dans le carburant super éthanol E85, qui contient entre 65 et 85% en volume d'éthanol.

Ce carburant est disponible en station-service depuis 2007 et est destiné à des véhicules dédiés, appelés véhicules à carburant modulable.

L'éthanol carburant a surtout été développé dans deux pays; le Brésil et les États-Unis (Gray et al., 2006).



Figure 19. Bioéthanol

- **Production de bioéthanol.**

1. Collection et prétraitement des déchets d'huile d'olive

Les déchets d'huile d'olive, sont collectés après l'extraction de l'huile et donc sont broyés à l'aide d'un broyeur à marteau.

2. Saccharification (hydrolysis).

Les déchets broyés sont mélangés avec de l'eau et des enzymes dans **un réacteur d'hydrolyse** pour décomposer la matière végétale en sucres fermentescibles.

Des enzymes cellulases, telles que la cellulase et l'hémicellulase, sont utilisées pour dégrader la cellulose et l'hémicellulose en sucres simples comme le glucose.

3. Fermentation.

Le mélange hydrolysé est fermenté par des levures dans **cuve de fermentation** pour convertir les sucres en bioéthanol.

Chapitre 3

Des souches de levures telles que **Saccharomyces cerevisiae (levure de boulangerie)** sont couramment utilisées en raison de leur capacité à fermenter efficacement le glucose en éthanol et en dioxyde de carbone.

4. Distillation.

Le moût de fermentation est distillé dans des colonnes de distillation pour séparer l'éthanol de l'eau.

6. Déshydratation (Séchage).

L'éthanol est déshydraté dans un unité de déshydratation pour atteindre le degré de pureté requis.

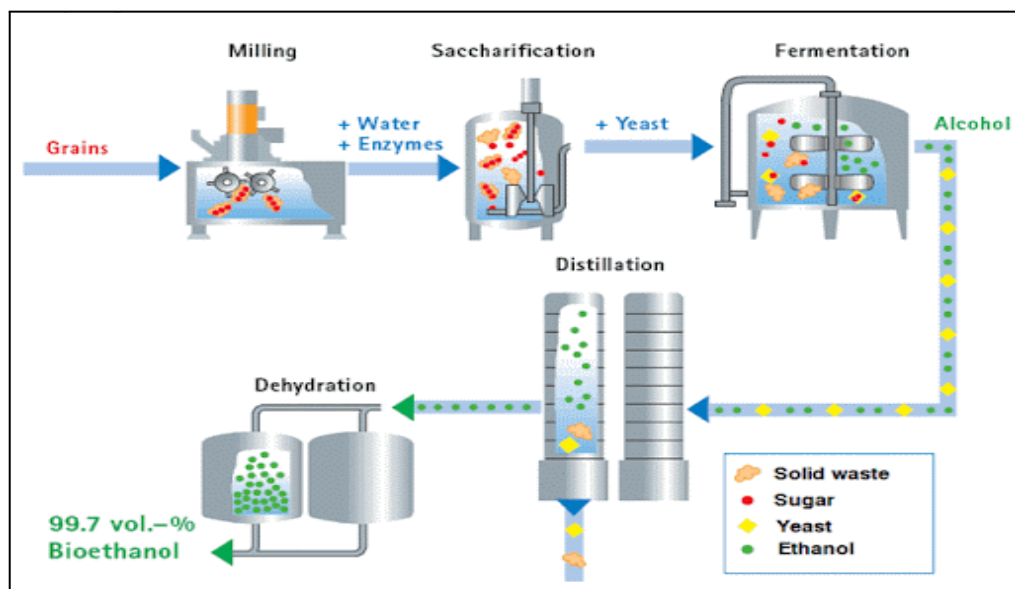


Figure 20. Le processus de production de bioéthanol.

2.4. Solide

Le biocarburant solide est un type de biocarburant qui se présente sous forme solide, généralement utilisé pour la production de chaleur et d'électricité.

Les biocarburants solides les plus courants sont :

Chapitre 3

2.4.1. Charbon actif

Le principal adsorbant utilisé en pratique est le charbon actif. Il est obtenu à partir de matières organiques (bois, tourbe) carbonisées, puis avivées .

Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre avec des pores de quelques de dimension, soit sous forme de grain.

Il possède à un haut degré la propriété de fixer et de retenir les fluides amenés à son contact (Shafeeyan et al., 2010).

2.4.2. Le biochar

Le biochar est le sous-produit de la pyrolyse, une décomposition thermochimique de la matière organique qui se réalise quand la biomasse est exposé à des températures supérieures à 350°C en l'absence ou très basse concentration d'oxygène (LEHMANN et JOSEPH, 2009).

Ces conditions sont similaires à celles de la production du charbon de bois lors d'un feu de forêt ou de champs ou lors de la carbonisation dans les charbonnières traditionnelles (SCHMIDT et NOACK, 2000).



Figure 21. Biochar (google.com)

- La production du biochar

A. Méthode de Pyrolyse

Chapitre 3

La pyrolyse consiste en une décomposition chimique des composés organiques induite par la chaleur.

Contrairement à l'incinération, la pyrolyse se produit en l'absence presque complète d'oxygène (en quantité d'oxygène inférieure à la stœchiométrie d'une réaction de combustion).

Ce traitement transforme les composé organique en gaz (gaz de synthèse), en petites quantité de liquides et en un résidu solide (la coke) qui contient du carbone et de la cendre.

Le traitement par pyrolyse ne produit pas de gaz toxique provenant du processus de combustion; le gaz de synthèse produit est généralement composé de monoxyde de carbone, d'hydrogène, de méthane et autres hydrocarbures.

Toutefois, les émission gazeuses doivent être traitées avant d'être relâchées dans l'atmosphère. Le procédé de traitement des effluents gazeux peut consister en une adsorption sur charbon activé granulaire, une condensation ou une oxydation thermique.

La productivité du traitement peut varier de moins de 5 à 10 tonnes métriques jusqu'à environ 50 tonnes métrique à l'heure, selon le type de sol et l'équipement de traitement.

Les contaminants visés par la technique de pyrolyse sont les composés organiques semi-volatils et les pesticides.

Ce procédé est applicable au traitement d'une variété de composés organiques dérivé des résidus de raffineries pétrochimiques, les résidus de cokeries et d'usines aux charbons, les résidus de bois traités , les sols contaminés à la créosote et aux hydrocarbures, les résidus de la production de caoutchouc synthétique et de peinture.

Le processus de pyrolyse se fait typiquement sous pression et à des températures de plus de 430°C.

Il existe plusieurs procédés de pyrolyse tel que le four ou la fournaise rotative, le réacteur à lit fluidisé et le procédé de pyrolyse avec lit de sel en fusion (**Cha et al., 2016**)

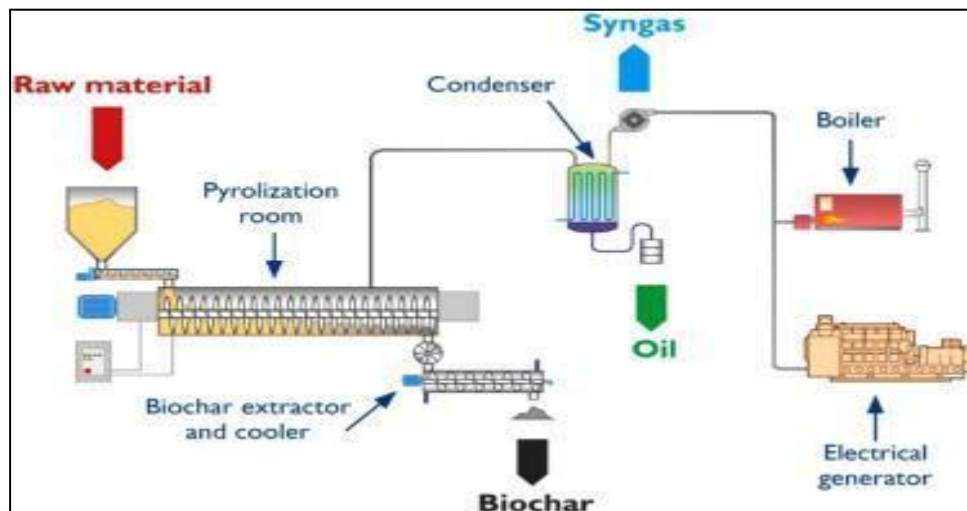


Figure 22. Production de biochar.

➤ Pyrolyse lente

C'est le type conventionnel de pyrolyse qui se caractérise par un taux de chauffage lent et un temps de séjour long. La biomasse est pyrolysée jusqu'à une température de l'ordre de 400 à 500 °C avec un taux de chauffage d'environ 0,1 à 1°C pendant une durée comprise entre 5 et 30 min (Lu et al., 2020).

➤ Pyrolyse rapide

Dans la pyrolyse rapide, la biomasse est chauffée jusqu'à une température de 850-1250°C avec un taux de chauffage de 10 à 200°C pendant une courte période variant entre 1 et 10 secondes.

Une pyrolyse rapide produit 60 -75% de produit liquide, 15 à 25 % du bio charbon et 10 à 20 % de produits gazeux non condensables (Bridgwater, 2000).

B. Autres méthodes (Yaashikaa et al., 2020).

➤ Carbonisation hydrothermale.

Chapitre 3

Cette méthode consiste à chauffer la matière organique en présence d'eau à des températures modérées, elle produit un type de biochar appelé hydrochar.

Les avantages comprennent une réduction des émissions de CO₂ par rapport à la pyrolyse traditionnelle, mais les exigences en eau et en énergie peuvent être plus élevées.

➤ **Carbonisation à la flamme.**

Cette méthode implique une combustion complète de la matière organique, produisant du biochar tout en générant de la chaleur et des gaz.

Les considérations ici concernent la gestion des émissions gazeuses et contrôle de la combustion pour éviter la production de cendres indésirables.

➤ **Micro-ondes et autres technologies dans différents contextes agricoles**

De nouvelles technologies, telles que la carbonisation par micro-ondes sont en développement pour produire du biochar de manière plus efficace et contrôlée. Cependant,

Ces méthodes peuvent être coûteuses et nécessitent une infrastructure spécifique.

3. L'utilisation des biocarburants produits à partir de déchets d'olive

3.1. Biogaz (Awe et al., 2017).

Dans le contexte de la production de biogaz à partir de grignons d'olive, plusieurs utilisations diversifiées sont envisageables, contribuant à une approche intégrée de gestion des déchets et de production d'énergie renouvelable.

Le biogaz produit peut être valorisé de plusieurs manières significatives :

Le biogaz peut servir comme source de chaleur pour divers processus industriels, tels que la distillation, le séchage ou la pasteurisation, contribuant ainsi à réduire la dépendance aux combustibles fossiles dans ces applications.

De plus, l'électricité générée à partir du biogaz peut être utilisée localement pour répondre aux besoins énergétiques des installations industrielles ou des communautés locales, ou bien être injectée dans le réseau électrique national, soutenant ainsi la production d'énergie renouvelable à grande échelle.

Le biogaz peut également être purifié pour être utilisé comme carburant dans les véhicules.

Chapitre 3

Cette utilisation contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant du secteur des transports et favorise l'adoption de carburants alternatifs plus durables.

Enfin, l'injection du biogaz dans le réseau de gaz naturel existant permet une utilisation domestique ou industrielle directe, réduisant ainsi la consommation de gaz naturel fossile et augmentant la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique global.

3.2. Biodiesel (Hajjari et al., 2017).

Plusieurs applications clés contribuent à son rôle dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à sa diversification dans le secteur des transports et de l'industrie :

1. Utilisé comme carburant pour les véhicules diesel, réduisant les émissions de gaz à effet de serre par rapport aux carburants fossiles.
2. Employé comme source d'énergie pour les générateurs et les équipements industriels, favorisant des pratiques industrielles plus durables
3. Utilisé comme additif pour améliorer les propriétés de combustion des carburants diesel traditionnels, réduisant les émissions de particules et améliorant l'efficacité énergétique des moteurs.

3.3. Bioéthanol (Zabochnicka-Świątek & Sławik, 2010).

Le bioéthanol joue un rôle essentiel dans divers secteurs grâce à ses applications variées. Utilisé comme carburant dans les véhicules à essence, il permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre par rapport à l'essence fossile.

En tant qu'additif dans les carburants, il améliore l'indice d'octane et la performance des moteurs, favorisant des applications industrielles plus efficaces et durables.

De plus, le bioéthanol est utilisé comme matière première dans la production de produits chimiques et solvants, contribuant ainsi à une chimie plus durable.

En biotechnologie, il est exploité pour la fabrication de bioplastiques et comme source de carbone dans divers processus fermentaires, soutenant l'innovation dans les technologies biotechnologiques respectueuses de l'environnement.

Chapitre 3

3.4. Biochar (Cha et al., 2016).

Le biochar peut s'utiliser comme amendement.

- **Sur sol neutre** : 500 g pour 1m² de sol (une couche de 2,5 cm d'épaisseur de biochar) à incorporer.

- **Sur sol acide et dégradé** : 1 kg pour 1 m² (une couche de 5 cm d'épaisseur) à incorporer.

Il peut être également incorporé au pied des arbres fruitiers et d'ornement, des plantes potagères, au moment de la plantation , ou dans le substrat des plantes en pot.

Selon le procédé de fabrication utilisé et la nature des matières premières transformées.

les biochars obtenus peuvent être différents par leur texture (plus ou moins grossière) et leur composition. Pour une utilisation « jardin et potes », il est conseillé d'utiliser, de préférence, un biochar fin (Cha et al., 2016).

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

La valorisation des déchets issus de la production d'huile d'olive en biocarburants, biofertilisants et biopesticides représente une avancée significative pour la durabilité environnementale et économique. Ce processus s'inscrit dans une approche d'économie circulaire, où les déchets agricoles sont transformés en ressources précieuses, minimisant ainsi les impacts négatifs sur l'environnement tout en créant des produits de haute valeur ajoutée.

Les différentes méthodes de conversion explorées dans cette étude montrent un potentiel considérable pour l'optimisation des résidus d'olive. La production de biodiesel à partir des huiles résiduelles des grignons d'olive offre une alternative renouvelable aux combustibles fossiles, contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la dépendance énergétique. Le bioéthanol, produit par fermentation des sucres présents dans les résidus lignocellulosiques, représente une autre source de carburant renouvelable, avec des applications potentielles dans le secteur des transports.

Le biogaz, généré par digestion anaérobie des déchets organiques, non seulement produit de l'énergie renouvelable mais contribue également à la gestion efficace des déchets organiques, réduisant ainsi les risques de pollution et les problèmes d'enfouissement. Le biochar, quant à lui, est un matériau carboné produit par pyrolyse des résidus d'olive. Utilisé comme amendement du sol, le biochar améliore la rétention d'eau et de nutriments, favorise la séquestration du carbone et contribue à la remédiation des sols contaminés.

Parallèlement à la production de biocarburants, la transformation des résidus d'olive en biofertilisants et biopesticides offre des avantages agronomiques et environnementaux significatifs. Les composts issus des grignons d'olive et des margines enrichissent les sols en matière organique et en nutriments essentiels, améliorant ainsi la fertilité des sols et la productivité des cultures. L'utilisation de biofertilisants permet de réduire la dépendance aux engrais chimiques, contribuant ainsi à la santé des sols et à la biodiversité.

L'extraction de molécules bioactives telles que les polyphénols à partir des résidus d'olive donne naissance à des biopesticides naturels. Ces biopesticides offrent une alternative écologique aux pesticides chimiques, réduisant ainsi les résidus toxiques dans l'environnement et les risques pour la santé humaine. En intégrant ces produits dans les pratiques agricoles, les agriculteurs peuvent adopter des méthodes plus durables et respectueuses de l'environnement.

Les résultats de cette recherche démontrent clairement que la valorisation des déchets d'olive peut jouer un rôle crucial dans la transition vers des systèmes agricoles et énergétiques plus durables. Toutefois, la mise en œuvre à grande échelle de ces technologies nécessite des investissements en recherche et développement, ainsi que des politiques de soutien et des

Conclusion générale

incitations économiques pour encourager les agriculteurs et les entreprises à adopter ces pratiques innovantes.

En conclusion, la transformation des déchets d'olive en biocarburants, biofertilisants et biopesticides représente une opportunité exceptionnelle pour promouvoir la durabilité environnementale, réduire les impacts négatifs des déchets agricoles et créer des produits de haute valeur ajoutée. En adoptant une approche intégrée et en favorisant la collaboration entre les chercheurs, les agriculteurs, les entreprises et les décideurs politiques, il est possible de réaliser des progrès significatifs vers un avenir plus durable et résilient.

Bibliographie

Bibliographie

Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., Ishtiaq, A., Hussain, S., & Suleria, H. A. R. (2016a). Natural polyphenols : An overview. *International Journal Of Food Properties*, 20(8), 1689-1699.

<https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1220393>

Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., Ishtiaq, A., Hussain, S., & Suleria, H. A. R. (2016b). Natural polyphenols : An overview. *International Journal Of Food Properties*, 20(8), 1689-1699.

<https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1220393>

Abbattista, R., Ventura, G., Calvano, C. D., Cataldi, T. R. I., & Losito, I. (2021). Bioactive Compounds in Waste By-Products from Olive Oil Production : Applications and Structural Characterization by Mass Spectrometry Techniques. *Foods*, 10(6), 1236.

<https://doi.org/10.3390/foods10061236>

Akbi, A., Saber, M., Aziza, M., & Yassaa, N. (2017). An overview of sustainable bioenergy potential in Algeria. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 72, 240-245.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.072>

Aliakbarian, B., Casazza, A. A., & Perego, P. (2011). Valorization of olive oil solid waste using high pressure–high temperature reactor. *Food Chemistry*, 128(3), 704-710.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.092>

Alonso-Fariñas, B., Oliva, A., Rodríguez-Galán, M., Esposito, G., García-Martín, J. F., Rodríguez-Gutiérrez, G., Serrano, A., & Famoso, F. G. (2020). Environmental Assessment of Olive Mill Solid Waste Valorization via Anaerobic Digestion Versus Olive Pomace Oil Extraction. *Processes*, 8(5), 626. <https://doi.org/10.3390/pr8050626>

Ameziane, H., Nounah, A., Khamar, M., & Zouahri, A. (2020a). *Composting olive pomace : evolution of organic matter and compost quality*.

<https://dspace.emu.ee/items/65711157-ceb7-4ecd-a759-1ddf9f9dabda>

Ameziane, H., Nounah, A., Khamar, M., & Zouahri, A. (2020b). *Composting olive pomace : evolution of organic matter and compost quality*.

<https://dspace.emu.ee/items/65711157-ceb7-4ecd-a759-1ddf9f9dabda>

Awe, O. W., Zhao, Y., Nzihou, A., Minh, D. P., & Lyczko, N. (2017). A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies. *Waste And Biomass Valorization*, 8(2), 267-283. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9826-4>

Bibliographie

- Azim, K., Souidi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., & Alami, I. T. (2017). Composting parameters and compost quality : a literature review. *Organic Agriculture*, 8(2), 141-158. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>
- Barapatre, A., Meena, A. S., Mekala, S., Das, A., & Jha, H. (2016). In vitro evaluation of antioxidant and cytotoxic activities of lignin fractions extracted from *Acacia nilotica*. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 86, 443-453. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.109>
- Barbehenn, R. V., & Constabel, C. P. (2011). Tannins in plant–herbivore interactions. *Phytochemistry*, 72(13), 1551-1565. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.040>
- Bouzaida, R., & Bouhicha, K. (2021). *Valorisation des déchets d'huileries d'olive (Margines et Grignons) dans la fabrication des blocs multi-nutritionnels pour l'alimentation des ruminants, dans la région de Ghardaïa*. <https://dspace.univ-ghardaia.edu.dz/jspui/handle/123456789/660>
- Boz, Ö., Ögüt, D., & Doğan, M. N. (2010). The phytotoxicity potential of olive processing waste on selected weeds and crop plants. *Phytoparasitica*, 38(3), 291-298. <https://doi.org/10.1007/s12600-010-0100-1>
- Boz, O., Ogüt, D., Kır, K., & Doğan, M. N. (2009). Olive Processing Waste as a Method of Weed Control for Okra, Faba Bean, and Onion. *Weed Technology*, 23(4), 569-573. <https://doi.org/10.1614/wt-08-126.1>
- Bridgwater, A. (2000). Fast pyrolysis processes for biomass. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 4(1), 1-73. [https://doi.org/10.1016/s1364-0321\(99\)00007-6](https://doi.org/10.1016/s1364-0321(99)00007-6)
- Caballero, A. S., Romero-García, J. M., Castro, E., & Cardona, C. A. (2019). Supercritical fluid extraction for enhancing polyphenolic compounds production from olive waste extracts. *Journal Of Chemical Technology And Biotechnology/Journal Of Chemical Technology & Biotechnology*, 95(2), 356-362. <https://doi.org/10.1002/jctb.5907>
- Cayuela, M., Millner, P., Meyer, S., & Roig, A. (2008). Potential of olive mill waste and compost as biobased pesticides against weeds, fungi, and nematodes. *Science Of The Total Environment*, 399(1-3), 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.031>
- Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S., Ryu, C., Jeon, J., Shin, M., & Park, Y. (2016a). Production and utilization of biochar : A review. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry/Journal Of Industrial And Engineering Chemistry - Korean Society Of Industrial And Engineering Chemistry*, 40, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>
- Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S., Ryu, C., Jeon, J., Shin, M., & Park, Y. (2016b). Production and utilization of biochar : A review. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry/Journal Of Industrial And Engineering Chemistry - Korean Society Of Industrial And Engineering Chemistry*, 40, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>

Bibliographie

Chanioti, S., Katsouli, M., & Tzia, C. (2021). Novel Processes for the Extraction of Phenolic Compounds from Olive Pomace and Their Protection by Encapsulation. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual*, 26(6), 1781. <https://doi.org/10.3390/molecules26061781>

Chanioti, S., & Tzia, C. (2018). Extraction of phenolic compounds from olive pomace by using natural deep eutectic solvents and innovative extraction techniques. *Innovative Food Science And Emerging Technologies/Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 228-239. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.001>

Chitwood, D. J. (2002). PHYTOCHEMICALBASEDSTRATEGIES FORNEMATODECONTROL. *Annual Review Of Phytopathology*, 40(1), 221-249. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.032602.130045>

Chowdhury, A. K. M. M. B., Akkratos, C. S., Vayenas, D. V., & Pavlou, S. (2013a). Olive mill waste composting : A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 108-119. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.06.019>

Chowdhury, A. K. M. M. B., Akkratos, C. S., Vayenas, D. V., & Pavlou, S. (2013b). Olive mill waste composting : A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 108-119. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.06.019>

Cioffi, G., Pesca, M. S., De Caprariis, P., Braca, A., Severino, L., & De Tommasi, N. (2010). Phenolic compounds in olive oil and olive pomace from Cilento (Campania, Italy) and their antioxidant activity. *Food Chemistry*, 121(1), 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.013>

Clifford, M. N., & Scalbert, A. (2000). Ellagitannins - nature, occurrence and dietary burden. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture/Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 80(7), 1118-1125. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0010\(20000515\)80:7](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0010(20000515)80:7)

De Bruyne, T., Pieters, L., Deelstra, H., & Vlietinck, A. (1999). Condensed vegetable tannins : Biodiversity in structure and biological activities. *Biochemical Systematics And Ecology*, 27(4), 445-459. [https://doi.org/10.1016/s0305-1978\(98\)00101-x](https://doi.org/10.1016/s0305-1978(98)00101-x)

De Groot, H., & Rauen, U. (1998). Tissue injury by reactive oxygen species and the protective effects of flavonoids. *Fundamental & Clinical Pharmacology*, 12(3), 249-255. <https://doi.org/10.1111/j.1472-8206.1998.tb00951.x>

DellaGreca, M., Monaco, P., Pinto, G., Pollio, A., Previtiera, L., & Temussi, F. (2001). Phytotoxicity of Low-Molecular-Weight Phenols from Olive Mill Waste Waters. *Bulletin Of Environmental Contamination And Toxicology*, 67(3), 352-359. <https://doi.org/10.1007/s001280132>

Bibliographie

- Donner, M., Radić, I., Erraach, Y., & Hadad-Gauthier, F. E. (2022). Implementation of Circular Business Models for Olive Oil Waste and By-Product Valorization. *Resources*, 11(7), 68. <https://doi.org/10.3390/resources11070068>
- Doula, M. K., Moreno-Ortego, J. L., Tinivella, F., Inglezakis, V. J., Sarris, A., & Komnitsas, K. (2017). Olive mill waste : recent advances for the sustainable development of olive oil industry. Dans *Elsevier eBooks* (p. 29-56). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805314-0.00002-9>
- Ducom, G., Gautier, M., Pietraccini, M., Tagutchou, J., Lebouil, D., Dumont, N., & Gourdon, R. (2019). Caractérisation de grignons d'olives en vue d'une valorisation thermo-chimique par gazéification. *Environnement, Ingénierie & Développement*, N°82-décembre 2019. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.4227>
- El-Abbassi, A., Kiai, H., & Hafidi, A. (2012). Phenolic profile and antioxidant activities of olive mill wastewater. *Food Chemistry*, 132(1), 406-412. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.013>
- El-Abbassi, A., Saadaoui, N., Kiai, H., Raiti, J., & Hafidi, A. (2017). Potential applications of olive mill wastewater as biopesticide for crops protection. *Science Of The Total Environment*, 576, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.032>
- Faller, A., & Fialho, E. (2010). Polyphenol content and antioxidant capacity in organic and conventional plant foods. *Journal Of Food Composition And Analysis*, 23(6), 561-568. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.01.003>
- Fernandes, M. C., Torrado, I., Carvalheiro, F., Dores, V., Guerra, V., Lourenço, P. M. L., & Duarte, L. C. (2016). Bioethanol production from extracted olive pomace : dilute acid hydrolysis. *Bioethanol*, 2(1). <https://doi.org/10.1515/bioeth-2016-0007>
- Fernández-Hernández, A., Roig, A., Serramiá, N., Civantos, C. G., & Sánchez-Monedero, M. A. (2014). Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove : Effects on soil, olive fruit and olive oil quality. *Waste Management*, 34(7), 1139-1147. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.027>
- Fiorentino, A., Gentili, A., Isidori, M., Monaco, P., Nardelli, A., Parrella, A., & Temussi, F. (2003). Environmental Effects Caused by Olive Mill Wastewaters : Toxicity Comparison of Low-Molecular-Weight Phenol Components. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 51(4), 1005-1009. <https://doi.org/10.1021/jf020887d>
- García-Martín, J. F., Cuevas, M. B., Feng, C., Mateos, P. Á., García, M. T., & Sánchez, S. (2020). Energetic Valorisation of Olive Biomass : Olive-Tree Pruning, Olive Stones and Pomaces. *Processes*, 8(5), 511. <https://doi.org/10.3390/pr8050511>

Bibliographie

Gee, J. M., & Johnson, I. T. (2001). Polyphenolic Compounds : Interactions with the Gut and Implications for Human Health. *Current Medicinal Chemistry*, 8(11), 1245-1255.

<https://doi.org/10.2174/0929867013372256>

Gray, K. A., Zhao, L., & Emptage, M. (2006). Bioethanol. *Current Opinion In Chemical Biology*, 10(2), 141-146. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.02.035>

Hajjari, M., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., & Ghanavati, H. (2017). A review on the prospects of sustainable biodiesel production : A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 72, 445-464.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.034>

Hassen, I., Casabianca, H., & Hosni, K. (2015). Biological activities of the natural antioxidant oleuropein : Exceeding the expectation – A mini-review. *Journal Of Functional Foods*, 18, 926-940. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.09.001>

Hussain, M. I., Farooq, M., & Syed, Q. A. (2020). Nutritional and biological characteristics of the date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.) – A review. *Food Bioscience*, 34, 100509.

<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100509>

Isidori, M., Lavorgna, M., Nardelli, A., & Parrella, A. (2005). Model Study on the Effect of 15 Phenolic Olive Mill Wastewater Constituents on Seed Germination and *Vibrio fischeri* Metabolism. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 53(21), 8414-8417.

<https://doi.org/10.1021/jf0511695>

Kapellakis, I., Tsagarakis, K. P., & Crowther, J. R. (2007). Olive oil history, production and by-product management. *Reviews In Environmental Science And Bio-technology/Reviews In Environmental Science And Bio/Technology*, 7(1), 1-26.

<https://doi.org/10.1007/s11157-007-9120-9>

Khdair, A. I., & Abu-Rumman, G. (2020). Sustainable Environmental Management and Valorization Options for Olive Mill Byproducts in the Middle East and North Africa (MENA) Region. *Processes*, 8(6), 671. <https://doi.org/10.3390/pr8060671>

Kostas, E. T., Durán-Jiménez, G., Shepherd, B. J., Meredith, W., Stevens, L. A., Williams, O. S., Lye, G. J., & Robinson, J. P. (2020). Microwave pyrolysis of olive pomace for bio-oil and bio-char production. *Chemical Engineering Journal*, 387, 123404.

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123404>

Kougias, P. G., & Angelidaki, I. (2018). Biogas and its opportunities—A review. *Frontiers Of Environmental Science & Engineering*, 12(3). <https://doi.org/10.1007/s11783-018-1037-8>

Kountouri, A., Mylona, A., Kaliora, A., & Andrikopoulos, N. (2007). Bioavailability of the phenolic compounds of the fruits (drupes) of *Olea europaea* (olives) : Impact on plasma

Bibliographie

antioxidant status in humans. *Phytomedicine*, 14(10), 659-667.

<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2007.06.001>

Kubo, I., & Matsumoto, A. (1984). Molluscicides from olive *Olea europaea* and their efficient isolation by counter-current chromatographies. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 32(3), 687-688. <https://doi.org/10.1021/jf00123a067>

Kumar, M., & Kumar, K. (2019). Role of Bio-fertilizers in vegetables production : A review. *www.phytojournal.com*.

<https://www.phytojournal.com/archives/2019.v8.i1.6752/role-of-bio-fertilizers-in-vegetables-production-a-review>

Kumar, M. S., Reddy, G. C., Phogat, M., & Korav, S. (2018). Role of bio-fertilizers towards sustainable agricultural development : A review. *www.phytojournal.com*.

<https://www.phytojournal.com/archives?year=2018&vol=7&issue=6&ArticleId=6494&si=false>

Lachibi, M. (2019, 3 novembre). *Analyse des formes de Valorisation des potentialités oléicoles nationales*. <http://dSPACE.ensa.dz:8080/jspui/handle/123456789/2219>

Lama-Muñoz, A., Álvarez-Mateos, P., Rodríguez-Gutiérrez, G., Durán-Barrantes, M. M., & Fernández-Bolaños, J. (2014). Biodiesel production from olive-pomace oil of steam-treated alperujo. *Biomass & Bioenergy*, 67, 443-450. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.05.023>

Larif, M., Zarrouk, A., Soulaymani, A., & Elmidaoui, A. (2012). New innovation in order to recover the polyphenols of olive mill wastewater extracts for use as a biopesticide against the *Euphyllura olivina* and *Aphis citricola*. *Research On Chemical Intermediates*, 39(9), 4303-4313. <https://doi.org/10.1007/s11164-012-0947-5>

Launay, A. (2017). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales — cinquième édition* J. Bruneton, Éditions Lavoisier Tec & Doc, 2016, 1 488 p, 195,00 € .

<https://www.semanticscholar.org/paper/Pharmacognosie%2C-phytochimie%2C-plantes-m%C3%A9dicinales-%E2%80%94-Launay/a8e1dacaf73ef44b45483c59aec1968825070d92>

Lehmann, J. and Joseph, S. (2009) *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscan, London. - References - Scientific Research Publishing. (s. d.).

<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1396653>

Lu, J., Chang, Y., Poon, C., & Lee, D. (2020). Slow pyrolysis of municipal solid waste (MSW) : A review. *Bioresource Technology*, 312, 123615.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123615>

Bibliographie

Lykas, C., Vagelas, I., & Gougoulas, N. (2014). Effect of olive mill wastewater on growth and bulb production of tulip plants infected by bulb diseases. *Spanish Journal Of Agricultural Research*, 12(1), 233. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014121-4662>

Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production : a review | Journal Series # 12109, Agricultural Research Division, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska–Lincoln.1. *Bioresource Technology*, 70(1), 1-15. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(99)00025-5)

MADR – Ministère de l'agriculture et du développement rural. (2021).

Maheshwari, D. K., Dheeman, S., & Agarwal, M. (2014). Decomposition of Organic Materials into High Value Compost for Sustainable Crop Productivity. Dans *Sustainable development and biodiversity* (p. 245-267). https://doi.org/10.1007/978-3-319-08004-8_12

Mesure des niveaux d'humidité pendant la production de biométhane. (s. d.). <https://www.processensing.com/fr-fr/blog/mesure-de-lhumidite-dans-le-biomethane.htm>

Middleton, E. (1998). Effect of Plant Flavonoids on Immune and Inflammatory Cell Function. Dans *Advances in experimental medicine and biology* (p. 175-182). https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5335-9_13

Nogales, R., Delgado, G., Quirantes, M., Romero, M., Romero, E., & Molina-Alcaide, E. (2011). Characterization of Olive Waste Ashes as Fertilizers. Dans *Springer eBooks* (p. 57-68). https://doi.org/10.1007/978-3-642-19354-5_5

Obied, H., Bedgood, Prenzler, P., & Robards, K. (2007). Bioscreening of Australian olive mill waste extracts : Biophenol content, antioxidant, antimicrobial and molluscicidal activities. *Food And Chemical Toxicology*, 45(7), 1238-1248. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.01.004>

Owen, R. W., Mier, W., Giacosa, A., Hull, W. E., Spiegelhalder, B., & Bartsch, H. (2000). Identification of Lignans as Major Components in the Phenolic Fraction of Olive Oil. *Clinical Chemistry*, 46(7), 976-988. <https://doi.org/10.1093/clinchem/46.7.976>

Ragazzi, E., & Veronese, G. (1973a). Quantitative analysis of phenolic compounds after thin-layer chromatographic separation. *Journal Of Chromatography A/Journal Of Chromatography*, 77(2), 369-375. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(00\)92204-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(00)92204-0)

Ragazzi, E., & Veronese, G. (1973b). Quantitative analysis of phenolic compounds after thin-layer chromatographic separation. *Journal Of Chromatography A/Journal Of Chromatography*, 77(2), 369-375. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(00\)92204-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(00)92204-0)

Bibliographie

- Rashmi, H. B., & Negi, P. S. (2020a). Phenolic acids from vegetables : A review on processing stability and health benefits. *Food Research International*, 136, 109298. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109298>
- Rashmi, H. B., & Negi, P. S. (2020b). Phenolic acids from vegetables : A review on processing stability and health benefits. *Food Research International*, 136, 109298. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109298>
- Robles-Almazan, M., Pulido-Moran, M., Moreno-Fernandez, J., Ramirez-Tortosa, C., Rodriguez-Garcia, C., Quiles, J. L., & Ramirez-Tortosa, M. (2018). Hydroxytyrosol : Bioavailability, toxicity, and clinical applications. *Food Research International*, 105, 654-667. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.053>
- Ruan, R., Zhang, Y., Chen, P., Liu, S., Fan, L., Zhou, N., Ding, K., Peng, P., Addy, M., Cheng, Y., Anderson, E., Wang, Y., Liu, Y., Lei, H., & Li, B. (2019). Biofuels : Introduction. Dans *Elsevier eBooks* (p. 3-43). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816856-1.00001-4>
- Rufino, A. T., Costa, V. M., Carvalho, F., & Fernandes, E. (2020). Flavonoids as antiobesity agents : A review. *Medicinal Research Reviews*, 41(1), 556-585. <https://doi.org/10.1002/med.21740>
- Rynk, R., Van de Kamp, M., Willson, G. B., & Brinton, W. (1992). On-Farm Composting Handbook. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/238283750_On-Farm_Composting_Handbook
- Schmidt, M. W. I., & Noack, A. G. (2000). Black carbon in soils and sediments : Analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles*, 14(3), 777-793. <https://doi.org/10.1029/1999gb001208>
- Seçmeler, Ö., Üstündağ, Ö. G., Fernández-Bolaños, J., & Rodríguez-Gutiérrez, G. (2018). Effect of subcritical water and steam explosion pretreatments on the recovery of sterols, phenols and oil from olive pomace. *Food Chemistry*, 265, 298-307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.088>
- Serra, V., Salvatori, G., & Pastorelli, G. (2021). Dietary Polyphenol Supplementation in Food Producing Animals : Effects on the Quality of Derived Products. *Animals*, 11(2), 401. <https://doi.org/10.3390/ani11020401>
- Shafeeyan, M. S., Daud, W. M. A. W., Houshmand, A., & Shamiri, A. (2010). A review on surface modification of activated carbon for carbon dioxide adsorption. *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, 89(2), 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2010.07.006>

Bibliographie

- Sharma, K. P. (2019). Tannin degradation by phytopathogen's tannase : A Plant's defense perspective. *Biocatalysis And Agricultural Biotechnology*, 21, 101342. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101342>
- Silva, S., Gomes, L., Leitão, F., Coelho, A. V., & Boas, L. V. (2006). Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of *Olea europaea* L. Fruits and Leaves. *Food Science And Technology International*, 12(5), 385-395. <https://doi.org/10.1177/1082013206070166>
- Tekin, A. R., & Dalgıç, A. (2000). Biogas production from olive pomace. *Resources, Conservation And Recycling*, 30(4), 301-313. [https://doi.org/10.1016/s0921-3449\(00\)00067-7](https://doi.org/10.1016/s0921-3449(00)00067-7)
- Thomson, A., Price, G., Arnold, P., Dixon, M., & Graham, T. (2022). Review of the potential for recycling CO₂ from organic waste composting into plant production under controlled environment agriculture. *Journal Of Cleaner Production*, 333, 130051. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130051>
- Topi, D., Beqiraj, I., Seiti, B., & Halimi, E. (2014). Environmental impact from olive mills waste disposal, chemical analysis of solid wastes and wastewaters. *Journal Of Hygienic Engineering And Design*, 7, 44-48. <http://www.jhed.mk/filemanager/JHED%20Vol.%207/02.%20FQS/02.%20Dritan%20Topi.pdf>
- Torrecilla, J. S., & Cancilla, J. C. (2021). Phenolic compounds in olive oil mill wastewater. Dans *Elsevier eBooks* (p. 693-700). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819528-4.00051-1>
- Vagelas, I., Kalorizou, H., Papachatzis, A., & Botu, M. (2009). Bioactivity of Olive Oil Mill Wastewater Against Plant Pathogens and Post-Harvest Diseases. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23(2), 1217-1219. <https://doi.org/10.1080/13102818.2009.10817641>
- Valletta, A., Iozia, L. M., & Leonelli, F. (2021). Impact of Environmental Factors on Stilbene Biosynthesis. *Plants*, 10(1), 90. <https://doi.org/10.3390/plants10010090>
- Yaashikaa, P., Kumar, P. S., Varjani, S., & Saravanan, A. (2020a). A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. *Biotechnology Reports*, 28, e00570. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>
- Yaashikaa, P., Kumar, P. S., Varjani, S., & Saravanan, A. (2020b). A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. *Biotechnology Reports*, 28, e00570. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>
- Yangui, T., Dhouib, A., Rhouma, A., & Sayadi, S. (2009). Potential of hydroxytyrosol-rich composition from olive mill wastewater as a natural disinfectant and its effect on seeds vigour response. *Food Chemistry*, 117(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.069>

Bibliographie

Yangui, T., Rhouma, A., Gargouri, K., Triki, M. A., & Bouzid, J. (2008). Efficacy of olive mill waste water and its derivatives in the suppression of crown gall disease of bitter almond. *European Journal Of Plant Pathology*, 122(4), 495-504.

<https://doi.org/10.1007/s10658-008-9317-y>

Yangui, T., Sayadi, S., Chakroun, H., & Dhouib, A. (2011). Effect of hydroxytyrosol-rich preparations on phenolic-linked antioxidant activity of seeds. *Engineering In Life Sciences*, 11(5), 511-516. <https://doi.org/10.1002/elsc.201000176>

Yangui, T., Sayadi, S., Gargoubi, A., & Dhouib, A. (2010). Fungicidal effect of hydroxytyrosol-rich preparations from olive mill wastewater against *Verticillium dahliae*. *Crop Protection*, 29(10), 1208-1213. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.04.016>

Zabochnicka-Świątek, M., & Sławik, L. (2010). *Bioethanol - Production and Utilization*. <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BWM4-0030-0046>

Ntaikou, I., Antonopoulou, G., Vayenas, D., & Lyberatos, G. (2020). Assessment of electrocoagulation as a pretreatment method of olive mill wastewater towards alternative processes for biofuels production. *Renewable Energy*, 154, 1252–1262.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.108>

Titre : Création d'une unité de valorisation des déchets de l'huilerie d'olive.

Résumé :

La valorisation des déchets issus de la production d'huile d'olive en biocarburants, biofertilisants et biopesticides représente une avancée majeure vers une agriculture durable et une économie circulaire. Cette étude examine en détail les méthodes de conversion des résidus d'olive, tels que les grignons d'olive et les margines, en divers biocarburants : le biodiesel, obtenu à partir des huiles résiduelles ; le bioéthanol, produit par fermentation des sucres présents dans les résidus lignocellulosiques ; le biogaz, généré par digestion anaérobie des déchets organiques ; et le biochar, produit par pyrolyse. En parallèle, l'étude explore l'utilisation de ces résidus comme biofertilisants, capables d'enrichir les sols en matière organique et en nutriments essentiels, et comme biopesticides, dérivés de l'extraction de molécules bioactives telles que les polyphénols. Les résultats montrent que ces procédés peuvent non seulement réduire l'impact environnemental des déchets d'olive, mais aussi créer des produits de haute valeur ajoutée, contribuant ainsi à la durabilité environnementale et économique.

العربية

تمثل عملية تحويل النفايات الناتجة عن إنتاج زيت الزيتون إلى وقود حيوي وأسمدة حيوية ومبيدات حيوية تقدماً كبيراً نحو الزراعة المستدامة والاقتصاد الدائري. تبحث هذه الدراسة بشكل مفصل في طرق تحويل مخلفات الزيتون، مثل نفل الزيتون والمياه العادمة، إلى أنواع مختلفة من الوقود الحيوي: الديزل الحيوي، المستخرج من الزيوت المتبقية؛ والإيثانول الحيوي، الناتج عن تخمير السكريات الموجودة في المخلفات الليجنوسليلوزية؛ والغاز الحيوي، المتولد من الهضم اللاهوائي للنفايات العضوية؛ والفحم الحيوي، المنتج عن طريق التحلل الحراري. بالإضافة إلى ذلك، تستكشف الدراسة استخدام هذه المخلفات كأسمدة حيوية، قادرة على إثراء التربة بالمادة العضوية والعناصر الغذائية الأساسية، وكما أنها مبيدات حيوية مستخلصة من الجزيئات النشطة بيولوجياً مثل البوليفينولات. تظهر النتائج أن هذه العمليات يمكن أن تقلل من الأثر البيئي لنفايات الزيتون مع خلق منتجات ذات قيمة مضافة عالية، مما يسهم في الاستدامة البيئية والاقتصادية.

Anglais

The valorization of waste from olive oil production into biofuels, biofertilizers, and biopesticides represents a significant advancement towards sustainable agriculture and a circular economy. This study examines in detail the methods for converting olive residues, such as olive pomace and wastewater, into various biofuels: biodiesel, obtained from residual oils; bioethanol, produced by fermenting sugars present in lignocellulosic residues; biogas, generated through anaerobic digestion of organic waste; and biochar, produced through pyrolysis. Additionally, the study explores the use of these residues as biofertilizers, capable of enriching soils with organic matter and essential nutrients, and as biopesticides, derived from the extraction of bioactive molecules such as polyphenols. The results show that these processes can not only reduce the environmental impact of olive waste but also create high-value products, thereby contributing to environmental and economic sustainability.

Mots clés : Valorisation, D'échets d'huile d'olive, Biocarburants, Biofertilisants, Polyphenols, Biopesticides, Énergie renouvelable, Agriculture durable.

