

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la  
Vie  
Département : Microbiologie Appliquée  
et Sciences Alimentaires



كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم: الميكروبيولوجيا التطبيقية  
و علوم التغذية

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Biologie**  
**Filière : Sciences Alimentaires**

**Option : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité**

Thème

*État de l'art de l'enrichissement des huiles d'olives sur la qualité  
nutritionnelle et les propriétés biologiques*

### Membres de Jury

Président : Dr. BOUDJERDA D.  
Examinatrice : M<sup>me</sup> BENHAMADA N.  
Encadrant: Dr. DAIRI S.

### Présenté par :

M<sup>elle</sup> BOUMAIZA Khadidja  
M<sup>elle</sup> GUENDOUDI Bouchra

Année Universitaire 2019-2020

Numéro d'ordre (bibliothèque) : .....

## **Remerciement**

*En premier lieu Nous remercions ALLAH. Le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la santé pour réaliser ce travail*

*Nous remercions aussi Nos parents qui ont tout sacrifié pour Nous faire grandir et instruire avec beaucoup d'amours et d'encouragements.*

*Nous tenons à remercier notre encadreur et enseignant Dr DAIRI SOFIANE*

*Nous avons l'honneur d'être parmi vos étudiants et de bénéficier de votre riche enseignement. Vos qualités pédagogiques et humaines sont pour nous un modèle.*

*Votre gentillesse, et votre disponibilité permanente ont toujours suscité notre admiration.*

*Veillez bien monsieur recevoir notre remerciement pour le grand honneur que vous nous avez fait d'accepter l'encadrement de ce travail.*

*Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité notre profond respect.*

*Nous vous remercions pour votre accueil et vos conseils. Veuillez trouver ici, l'expression de nos gratitude et de nos grandes estimations.*

*Nous garderons toujours le souvenir de votre enseignement et de votre humanité*

*On a l'immense plaisir d'adresser nos plus sincères remerciements :*

*A Monsieur BOUDJERDA J, pour nous avoir fait l'honneur de présider notre jury.*

*Qu'il soit assuré de nos respectueuses et vives reconnaissances.*

*A Madame BENHAMADA N, pour avoir accepté d'examiner notre travail et de faire partie du jury. Quelle trouve ici l'expression de nos sincères remerciements.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement, tous nos proches et tous ceux qui, de près ou de loin, ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce Travail.*

**Bouchra, Khadidja**

**Sommaire****Liste des tableaux****Liste des figures****Liste des abréviations****Introduction ..... 1*****Chapitre I : Olivier et huile d'olive*****I.1. Historique de l'olivier et sa culture ..... 3****I.2. Étude botanique des olives..... 3****I.2.1. Systématique ..... 3****I.2.2. Répartition géographique ..... 4****I.2.3. Morphologie de l'olivier ..... 4****I.2.3.1. Système racinaire..... 5****I.2.3.2. Tronc..... 5****I.2.3.3. Feuille ..... 5****I.2.3.4. Fleur..... 5****I.2.3.5. Fruit ..... 5****I.2.3.6. Bois..... 6****I.2.3.7. Écorce ..... 6****I.3. Huile d'olive ..... 7****I.3.1. Définition ..... 7****I.3.2. Production mondiale ..... 7****I.3.3. Classification de l'huile d'olive ..... 8****I.3.3.1. Huile d'olive vierges ..... 8****I.3.3.2. Huile d'olive raffinée ..... 9****I.3.3.3. Huile de grignons d'olive..... 9****I.3.4. Technologie d'extraction..... 10****I.3.4.1. Récolte des olives ..... 10**

I.3.4.2. Transport, réception et stockage des olives .....	11
I.3.4.3. Lavage, broyage, malaxage .....	11
I.3.4.4. Filtration sélective .....	11
I.3.4.5. Extraction .....	12
I.3.4.6. Conditionnement et étiquetage .....	13
I.3.5. Composition de l'huile d'olive .....	14
I.3.5.1. Fraction saponifiable .....	15
I.3.5.2. Fraction insaponifiable .....	16
I.3.6. Qualité d'huile d'olive.....	21
I.3.6.1. Critères d'évaluation de la qualité d'huile d'olive .....	21
I.3.7. Bienfaits de l'huile d'olive.....	24

## ***Chapitre II : Enrichissement de l'huile d'olive***

II.1. Généralités .....	26
II.2. Types d'enrichissement .....	26
II.2.1. Enrichissement endogène.....	26
II.2.1.1. Technologies d'enrichissement endogènes .....	26
II.2.1.2. Facteurs qui limitent la teneur des composés phénoliques .....	34
II.2.2. Enrichissement exogène.....	36
II.3. Techniques d'enrichissement .....	37
II.3.1. Techniques conventionnelles d'enrichissement.....	37
II.3.1.1. Infusion .....	37
II.3.1.2. Extraction et enrichissement .....	38
II.3.1.3. Extraction par solvant pressurisé .....	41
II.3.1.4. Co-traitement.....	43
II.3.2. Techniques alternatives.....	44
II.3.2.1. Extraction assistée par ultrasons .....	44
II.3.2.2. Extraction assistée par microondes .....	47

***Chapitre III : L'effet d'enrichissement sur la qualité d'huile d'olive***

III.1. Effet sur la qualité, l'activité antioxydante et la stabilité oxydative .....	50
III.2. Effet sur quelques activités biologiques.....	61
<b>Conclusion .....</b>	<b>68</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>70</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Classification générale de l'huile d'olive .....	10
<b>Tableau 02</b> : Composition en acide gras d'une huile d'olive.....	16
<b>Tableau 03</b> : Teneur en composés phénoliques des huiles d'olive obtenues des olives irrigués avec la pluie et avec eau saline modérée .....	27
<b>Tableau 04</b> : Composés phénoliques totaux (mg kg <sup>-1</sup> d'huile) de l'huile d'olive vierge extra traitée et non traités avec SE .....	28
<b>Tableau 05</b> : Paramètres standard de l'huile d'olive vierge .....	33
<b>Tableau 06</b> : Composition phénolique (mg kg <sup>-1</sup> ) d'huile d'olive.....	33
<b>Tableau 07</b> : Teneur en aldéhydes (µg kg <sup>-1</sup> ) évalués dans les huiles d'olive .....	33
<b>Tableau 08</b> : Caractérisation de huile d olive vierge, huile d'olive vierge enrichie selon la méthode conventionnelle, huile d'olive vierge enrichie par ultrasons .....	50
<b>Tableau 09</b> : Paramètres de qualité, analyse sensorielle, composition, bioactivité et stabilité de l'huile d'olive avant l'ajout de différentes épices.....	52
<b>Tableau 10</b> : Effet de l'ajout de différentes épices à l'huile d'olive sur les paramètres de qualité.....	53
<b>Tableau 11</b> : Profil d'acides gras (%) des huiles d'olive aromatisées avec différentes épices .	53
<b>Tableau 12</b> : Activité de piégeage des radicaux (DPPH et ABTSol, mmol / L), teneur totale en phénols (mg équivalent acide caféique / kg d'huile d'olive) et stabilité à l'oxydation (heures) des huiles d'olive aromatisées avec différentes épices .....	53
<b>Tableau 13</b> : Évolution des paramètres de stabilité de l'huile d'olive avant et après leur enrichissement en extrait de feuille d'olivier dans les conditions optimales.....	56
<b>Tableau 14</b> : Contenu (mg / 100 ml, valeurs moyennes ± écart-type, n = 3) de dipalmitate de lutéine, de β-carotène et de zéaxanthine dans huile d'olive extra vierge et huile d'olive extra vierge enrichie en caroténoïdes pendant le stockage .....	60
<b>Tableau 15</b> : Résumé des travaux récents sur l'effet d'enrichissement d'huile d'olive.....	67

## Listes des figures

<b>Figure 01</b> : Répartition géographique de l'oléiculture .....	4
<b>Figure 02</b> : Aspect morphologique de la plante <i>Olea europaea</i> L. et leurs parties.....	6
<b>Figure 03</b> : Section transversale de l'olive .....	6
<b>Figure 04</b> : répartition des zones géographiques de l'oléiculture algérienne.....	8
<b>Figure 05</b> : systèmes d'extraction moderne .....	12
<b>Figure 06</b> : Extraction par presse .....	13
<b>Figure 07</b> : une molécule de triglycérides .....	15
<b>Figure 08</b> : Structure de Squalène .....	18
<b>Figure 09</b> : Structure chimique du $\beta$ -carotène.....	19
<b>Figure 10</b> : structure des Flavonoides .....	19
<b>Figure 11</b> : principaux composés phénoliques de l'huile d'olive.....	20
<b>Figure 12</b> : Les sécoïridoïdes de l'olive, des feuilles et de l'huile .....	20
<b>Figure 13</b> : structure générale d'un tocophérol .....	21
<b>Figure 14</b> : Diagramme de flux des procédures de traitement .....	30
<b>Figure 15</b> : Schéma des principales étapes ayant lieu lors de l'opération d'extraction solide-liquide .....	39
<b>Figure :16</b> : Hydro distillation traditionnelle .....	40
<b>Figure 17</b> : schéma d'un système d'extraction par solvant pressurisé .....	41
<b>Figure 18</b> : fréquences des ondes sonores et leur application .....	45
<b>Figure 19</b> : Représentation schématique de la croissance et de l'implosion d'une bulle de cavitation .....	45
<b>Figure 20</b> : Evolution d'une bulle de cavitation à proximité d'une surface solide .....	46
<b>Figure 21</b> : Représentation du spectre électromagnétique et positionnement des micro-ondes domestiques.....	47
<b>Figure 22</b> : représentation graphique d'un champ électromagnétique .....	47

<b>Figure 23</b> : principes du chauffage classique et assisté par micro-ondes.....	<b>49</b>
<b>Figure 24</b> : Évolution de la teneur en hydroxytyrosol et en tyrosol pendant le chauffage du four à 180 °C pour huile d olive extra vierge et huile d olive extra vierge enrichie en myrte.....	<b>51</b>
<b>Figure 25</b> : La teneur en $\alpha$ -tocophérol (mg / 100 ml, valeurs moyennes) d'huile d'olive extra vierge et d'olive extra vierge et huile d'olive extra vierge enrichie en caroténoïdes pendant le stockage à long terme. ....	<b>55</b>
<b>Figure 26</b> : La teneur en $\alpha$ -tocophérol (mg / 100 ml, valeurs moyennes) d'huile d'olive extra vierge et d'olive extra vierge et huile d'olive extra vierge enrichie en caroténoïdes pendant le stockage à long terme.....	<b>60</b>
<b>Figure 27</b> : Modulation du LDLR sur la surface des cellules HepG2 et absorption du LDL environnemental, (A) taux de protéines LDLR sur la surface des cellules HepG2, (B) absorption de LDL fluorescent de l'environnement par les cellules HepG2.....	<b>61</b>
<b>Figure 28</b> : Courbe de croissance sur lignée cellulaire HepG2 .....	<b>65</b>
<b>Figure 29</b> : Courbe de croissance sur lignée cellulaire Huh7.....	<b>65</b>



## Liste des abréviations

### Caractères

**ABTS** : 2,2'-azino-bis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)

**ADN** : Acide Désoxyribose Nucléique

**APPH** : 2,20 -azobis (2-aminopropane) hydrochloride

**ARP** : Pouvoir antiradical

**BHT** : butylhydroxytoluène

**CE** : extraction conventionnelle

**CE<sub>50</sub>** : estimation d'activité antioxydante en DPPH

**CEE** : communauté économique européenne

**CRP** : protéine C réactive

**COI** : conseil oléicole international

**CYP 27A1** : Cholestérol 7 $\alpha$ -hydroxylase

**DPPH** : diphenyl-1-picrylhydrazyl

**EAU** : extraction assistée par Ultra-sons

**EFSA** : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (European Food Safety Authority)

**FA** : Acides Gras

**HDL** : lipoprotéines de haute densité (High Density Lipoprotein)

**h** : heure

**HOV** : huile d'olive vierge

**HPU** : ultrasons à haute puissance

**IRH** : Hyperémie Réactive Ischémique

**IGA** : Immunoglobuline A

**LDL** : lipoprotéines de petite densité (Low Density Lipoprotein)

**LDLR** : récepteurs de lipoprotéines de faible densité

**LOX** : lipoxygénase

**MAE** : extraction assistée par micro-ondes

**MS** : Méga sons

**MS** : Microondes

**O<sub>2</sub>** : dioxygène

**OA** : oléalonique

**OOL** : la dioléolinoléine

**OOO** : la trioléine

**ORAC** : capacité d'absorption des radicaux oxygène

**PAL** : L-phenylalanine Ammonia-Lyase

**PEF** : technologie de champ électrique pulsé

**PEF** : Technologie de champs électriques pulsés

**POL** : la palmitooléolinoleine

**POO** : la dioléopalmitine

**PV** : indice de peroxyde

**ROS** : espèces intracellulaires réactives d'oxygène

**RSA** : activité de récupération radicalaire

**Se** : Sélénium

**SOO** : la dioléostéarine

**TCP** : contenu phénolique total

**TNF $\alpha$**  : facteur de nécrose tumorale  $\alpha$

**TPM** : matériaux polaires totaux

**US** : Ultra-sons

**US-HOV** : huile d'olive vierge traitée à ultra-sons

**V/V** : volume par volume

### Unités

°C : degré Celsius

**µg Eq GAE / g** : microgramme Equivalent acide gallique par gramme

**µg/kg** : microgramme/kilogramme

**ATM** : atmosphère

**g** : gramme

**GHz** : gigahertz

**Kg** : kilogramme

**mEq** : milliéquivalent

**mg Eq CAE / g** : microgramme Equivalent acide gallique par gramme

**mg/kg** : milligramme/kilogramme

**mg** : milligramme

**MHz** : mégahertz

**min** : minute

**mmol /L** : millimole sur litre

# *Introduction générale*

Dans la culture arabo-musulmane, l'olivier est un arbre sacré et particulier, il fait partie des arbres cités dans le Coran sourate EL-NOOR aya : 35. L'olivier *Olea europaea* L. a été cultivé depuis l'antiquité dans la région méditerranéenne pour produire les olives de table, huile d'olive et des extraits de ces feuilles. Les produits de l'olivier ont été utilisés pendant des siècles comme nourriture, conservateurs naturels et dans la médecine populaire (**Himour ép chemier et Yahia, 2018**).

L'huile d'olive vierge est une huile comestible de grande production obtenue par des méthodes physiques à partir du fruit *Olea europaea* L (**Manai et al., 2008**), En fait, le régime méditerranéen se caractérise par un apport élevé en composés phénoliques alimentaires exogènes, conséquence d'un apport élevé en huile d'olive vierge, l'apport phénolique plus élevé du régime méditerranéen était associé à une incidence plus faible de maladies cardiovasculaires, de syndrome métabolique, de cancer et de déclin cognitif lié à l'âge (**Rodríguez-Rejón et al., 2014 ; Casas et al., 2014**).

Néanmoins, l'apport quotidien des composés phénoliques de l'huile d'olive est faible par rapport à celui obtenu à partir d'autres sources phénoliques (**Rubió et al., 2012**), Par conséquent, une bonne stratégie pour assurer un apport optimal en polyphénols par le biais d'un régime alimentaire habituel serait de produire de l'huile d'olive enrichie en poly phénols bioactifs bien connus (**Rosenblat et al., 2008**), pour améliorer la capacité oxydante et également le profil nutritionnel de l'huile d'olive (**Rubió et al., 2012**), et pour le développement d'un nouvel aliment fonctionnel depuis l'enrichissement des aliments lipidiques par un antioxydant naturel (**Artajo et al., 2006**). Différentes sources de substances actives biologiques naturelles peuvent être potentiellement utilisé pour enrichir l'huile d'olive vierge (par exemple, les matières premières dérivées du même olivier, principalement des feuilles et des marcs d'olivier, et / ou d'autres composés de plantes et de légumes, principalement des herbes et épices) (**Reboredo-Rodriguez et al., 2017**), Ces dernières années, différents procédés ont été proposés pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle de l'huile d'olive, entre autres l'enrichissement endogène en améliorant les conditions du procédé lui-même, et il y a aussi l'enrichissement exogène par l'incorporation de matières végétales (**Sawadogo et al., 2015**).

L'objectif de notre travail est l'étude de l'impact d'enrichissement sur la qualité nutritionnelle et les propriétés biologiques de l'huile d'olive vierge et comment ces huiles d'olive enrichies peuvent aider à la prévention des maladies chroniques et améliorent la qualité de vie de nombreux consommateurs en réduisant les coûts des soins de santé.

Notre travail a été réalisé par une recherche bibliographique devisée en trois chapitres, le premier chapitre qui passe en revue l'essentiel de la bibliographie sur l'olivier et l'huile d'olive, les critères de qualité d'huile d'olive et ses bienfaits sur la santé puis, un deuxième chapitre qui est réservée à la description des types d'enrichissement et de l'ensembles des approches et techniques utilisés pour réaliser l'enrichissement d'huile d'olive. Enfin, on termine par l'exploitation et l'explication des résultats qui ont été déjà publiés par des chercheurs sur l'impact de l'enrichissement sur la qualité nutritionnelle et les propriétés biologiques de l'huile d'olive.

*Chapitre I :*  
*Olivier et huile d'olive*

### I.1. Historique de l'olivier et sa culture

Depuis cinq mille ans, l'olivier est cultivé sur la rive orientale de la Méditerranée et les olives sont pressées pour extraire l'huile. La Phénicie, l'Égypte et la Crète sont les pays producteurs à l'origine du commerce de l'huile d'olive, qui dès le VI<sup>e</sup> siècle avant notre ère, touchait des pays septentrionaux puisqu'on en trouve trace dans la civilisation scythe des grandes steppes russes. L'expansion des oliveraies vers l'ouest est allée de pair avec l'implantation des civilisations grecques et romaines. A la Renaissance, les explorateurs implantèrent l'olivier dans le Nouveau Monde, puis ce fut le tour de l'Afrique du Sud et de l'Australie (**Selaimia, 2018**).

Il est connu chez les Phéniciens depuis la Haute Antiquité ; il est désigné par le mot « Zeitoun » et l'huile tirée de ce fruit par « zit ». Ces deux mots sont couramment employés dans le vocabulaire Amazigh (**Kebbabi et Aggoune, 2014**).

### I.2. Étude botanique des olives

#### I.2.1. Systématique

La famille des oléacées (Oleaceae), de la division des magnoliacées (Magnoliophyta), de la classe des Magnoliopsida et de l'ordre des scrofulariacées (Scrophulariales), comporte sept arbres : le frêne, l'olivier, le troène, le Phillyrea, le jasmin, le lilas et le forsythia (**Papanikolaou et al., 2005**).

L'olivier appartient à la famille des Oléacées, genre *Olea*. Elle comprend une trentaine de genres, et plus de 600 espèces, elle présente la classification suivante :

- Règne : Plantae
- Sous-règne : Tracheobionta
- Embranchement : Spermaphytes (Phanérogames)
- Sous Embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones (ouThérébinthales)
- Sous-classe : Astéridées (ou Gomopétales)
- Ordre : Gentianales (ou Lingustrales)
- Famille : Oléacées
- Genre : *Olea*
- Espèce : *Olea europaea* .L (**Himour ép cherrier et Yahia, 2018**).



Certaines classifications distinguent deux sous-espèces :

- L'olivier cultivé : *Olea europaea* Linné variété *saliva*, il est constitué par un grand nombre de variétés améliorées, multipliées par bouturage.
- L'olivier sauvage, encore appelé oléastre : *Olea europaea* Linné variété *oleaster* ou *silvestris*, l'oléastre se différencie de l'olivier cultivé par ces caractères : c'est un arbrisseau, il possède des rameaux épineux et quadrangulaires, ses fruits sont petits et nombreux et son huile est peu abondante (Henry, 2003).

### I.2.2. Répartition géographique

Depuis des temps reculés, on cultive l'olivier dans le bassin méditerranéen pour sa capacité à résister à la sécheresse, sa tolérance au sel et à fournir des fruits et une huile de qualité (Gigon et Le Jeune, 2010).

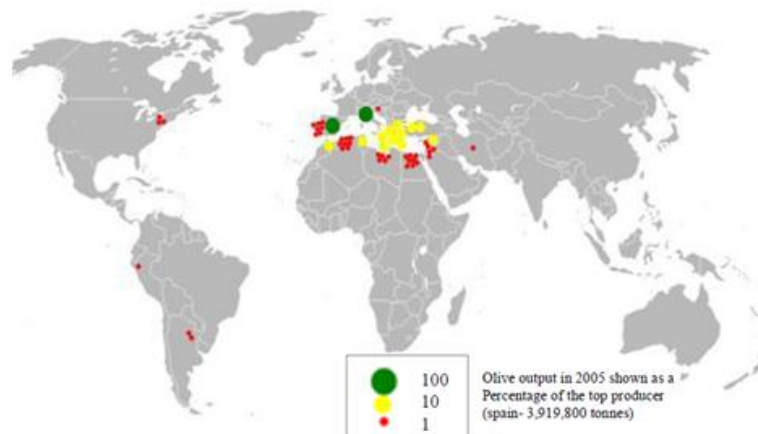


Figure 01 : Répartition géographique de l'oléiculture (Bisset, 2018).

### I.2.3. Morphologie de l'olivier

*Olea europea* est ordinairement un arbre 3 à 5 mètres, (parfois un arbrisseau de 1.5 à 2 mètres, plus rarement un arbre pouvant atteindre 10 à 15 mètres selon les sols et les climats (Belhoucine, 2003 ; Henry, 2003). Il se reconnaît facilement à l'aspect tortueux de son tronc, à ses feuilles de forme oblongues à ovales-lancéolées et à ses fleurs regroupées en petites inflorescences en forme de grappes dressées (Arab et al., 2013).

### **I.2.3.1. Système racinaire**

Il est puissant, fasciculé après sa solide implantation issue des nodosités qui se forment à la base du tronc organisme jouant un rôle important pour la vie de l'arbre. Continuant à grossir à mesure que l'olivier vieillit, il forme une masse énorme (**Belhoucine, 2003**).

### **I.2.3.2. Tronc**

Le tronc des jeunes oliviers est droit et circulaire. En vieillissant, il se déforme et acquiert son aspect tourmenté caractéristique (**Henry, 2003**).

### **I.2.3.3. Feuille**

Les feuilles de l'olivier sont persistantes et d'une durée de vie de trois ans. Elles sont simples, lancéolées, pointues. Sur le rameau, elles sont opposées et le pétiole est court. Les feuilles sont glabres et à bords révolutés. La nervure principale est seule apparente. La face supérieure est luisante de couleur vert foncé, tandis que la face inférieure présente un aspect argenté dû à une pruine. En moyenne, les feuilles de l'olivier mesurent de 2 à 8 centimètres de long et de 0.5 à 1.5 centimètres de large (**Henry, 2003**).

### **I.2.3.4. Fleur**

Dès le début du mois de mai, on peut voir fleurir les oliviers, cependant la floraison ne dure qu'une huitaine de jours. Ce sont des fleurs hermaphrodites, tétramères (**Henry, 2003**), discrètes, blanches et odorantes, elles forment des grappes courtes et serrées à l'aisselle des feuilles de l'année précédente (**Belhoucine, 2003**).

### **I.2.3.5. Fruit**

C'est un aliment et la source d'une huile alimentaire issue de son enveloppe charnue riche en graisses (**Gigon et Le Jeune, 2010**). L'olive est une drupe à mésocarpe charnu, indéhiscente (ne s'ouvrant pas), à noyau. Sa forme est ovoïde ou ellipsoïde. Ses dimensions sont très variables suivant les variétés. La paroi de ce fruit est constituée : de l'épicarpe (épidenne ou peau) solidement attaché à la pulpe. A maturation, l'épicarpe passe de la couleur vert tendre (olive verte), à la couleur violette ou rouge (olive tournante) puis à la coloration noirâtre (olive noire), Du mésocarpe (pulpe ou chair), charnu riche en huile, de l'endocarpe (noyau), scléreux, constitué par un noyau fusiforme, très dur (**Henry, 2003**).

### I.2.3.6. Bois

Il est jaunâtre puis passe au brun très clair, marbré de veines plus foncées. Il est très dur, compact et susceptible de prendre un beau poli. Il reste marqué par la moindre blessure et brûle avec une flamme claire qui répand beaucoup de chaleur (Belhoucine, 2003).

### I.2.3.7. Écorce

Elle est très mince, percevant le moindre choc mécanique et sous le coup, se déchire facilement. L'épiderme devient épais, rude, crevassé et se détache en plaques (Belhoucine, 2003).



Figure 02 : Aspect morphologique de la plante *Olea europaea* L. et leurs parties (Bisset, 2018).

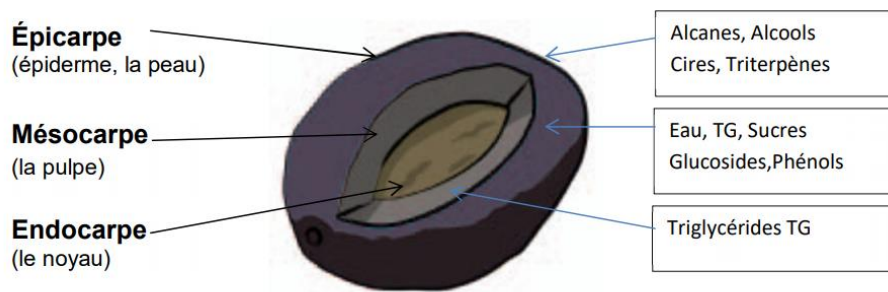


Figure 03 : Section transversale de l'olive (Bianchi, 1999).

### I.3. Huile d'olive

#### I.3.1. Définition

Les huiles d'olive vierges sont les huiles obtenues à partir du fruit de l'olivier (*Olea europaea* L.) uniquement par des moyens mécaniques ou physiques dans des conditions, notamment thermiques, qui n'entraînent pas d'altérations de l'huile et qui n'ont subi aucun traitement autre que lavage, décantation, centrifugation et filtration (**Pouyet et ollivier, 2014**).

#### I.3.2. Production mondiale

L'huile d'olive vierge, qui est l'huile vierge la plus consommée grâce à la forte médiatisation des bienfaits de l'huile d'olive sur la santé (**ollivier, 2003**), il représente maintenant la sixième production mondiale d'huile végétale. Ce sont ses qualités nutritives qui déterminent sa haute valeur commerciale comparativement à la plupart des autres huiles végétales réputées plutôt pour leur rentabilité de production (**Gigon et Le Jeune, 2010**).

L'huile d'olive contribue à 4% de la production totale d'huile végétale : sa production mondiale est d'environ 2 000 000 tonnes / an (**Visioli et al., 2002**). Les pays méditerranéens fournissent plus de 95% de la production mondiale d'huile d'olive, dont 75% provient de l'Union européenne (principalement l'Espagne, l'Italie et la Grèce) (**Visioli et al., 2002**) et les 16 autres pays membres actuels du COI (Albanie, Algérie, Argentine, Croatie, Égypte, Iran, Irak, Palestine, Jordanie, Liban, Libye, Monténégro, Maroc, Syrie, Tunisie et Turquie) avec une moyenne de 22%, et le reste du monde, avec 3% (**Harwood et Aparicio, 2000**).

L'oléiculture nationale algérienne représente environ 33 % de la production arboricole. Le climat favorable et les traditions oléicoles ancestrales constituent des avantages compétitifs pour le développement de la filière oléicole et pour contribuer à l'autosuffisance en huiles végétales (**Sadouk et al., 2018**).

La filière oléicole algérienne est l'une des moins compétitives en Méditerranée, même si le pays est classé 7ème producteur mondial par le COI. Elle a bénéficié de peu d'initiatives de modernisation ; l'irrigation, la mécanisation et la fertilisation y sont ainsi faiblement répandues. Au contraire l'huile d'olive algérienne affiche quelques atouts qui peuvent se révéler porteurs s'ils sont valorisés dans le cadre d'une indication géographique: vergers qui s'étendent principalement (80%) dans les terroirs de montagne (grande et petite Kabylie, la région de Jijel et une partie de l'Est algérien) (Figure04) , produit différencié et de qualité, diversité variétale,

bonne image au niveau national, huile issue d'une culture extensive et respectueuse de l'environnement, et prix élevé du produit pouvant assurer un revenu confortable pour les familles rurales (Hajou et al., 2013).

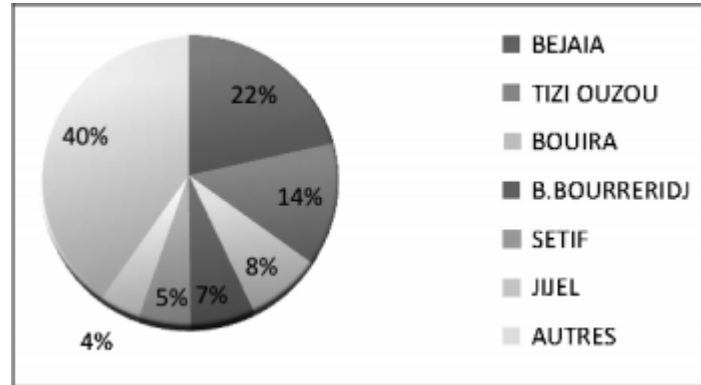


Figure 04 : répartition des zones géographiques de l'oléiculture algérienne (Hajou et al., 2013).

### I.3.3. Classification de l'huile d'olive

#### I.3.3.1. Huile d'olive vierges

Huile d'olive de catégorie supérieure obtenue directement des olives et uniquement par des procédés mécaniques (Pouyet et Olivier, 2014), dans des conditions, qui n'entraînent pas d'altération de l'huile, et qui n'a subi aucun traitement autre que le lavage, la décantation, la centrifugation et la filtration, à l'exclusion des huiles obtenues par solvant, par adjuvant à action chimique ou biochimique, ou par des procédés de ré estérification et de tout mélange avec des huiles d'autre nature (C.O.I, 2013).

##### a. Huile d'olive vierge extra

Huile d'olive vierge dont l'acidité libre, exprimée en acide oléique, est au maximum de 0.8 g pour 100 g d'huile et dont les autres caractéristiques sont conformes à celles prévues pour cette catégorie. De plus, si acheter une huile « vierge extra » équivaut à acheter une huile de très grande valeur, cependant, ses qualités gustatives sont très variables car la mention « vierge extra » n'atteste nullement que l'huile soit d'une seule origine ou le mélange de deux années (C.O.I, 2013).

### **b. Huile d'olive vierge**

Huile d'olive vierge dont l'acidité libre, exprimé en acide oléique, est au maximum de 2 g pour 100 g et dont les autres caractéristiques sont conformes à celles prévues pour cette catégorie.

### **c. Huile d'olive vierge courante**

Huile d'olive vierge dont l'acidité libre, exprimée en acide oléique est au maximum 3,3 g pour 100 g et dont les autres caractéristiques sont conformes à celles prévues pour cette catégorie.

### **d. Huile d'olive vierge lampante**

Huile d'olive vierge dont l'acidité libre, exprimée en acide oléique, est supérieure à 2 g pour 100 g et/ou dont les autres caractéristiques sont conformes à celles prévues pour cette catégorie. C'est une huile impropre à la consommation alimentaire. Elle peut être raffinée pour devenir comestible.

#### **I.3.3.2. Huile d'olive raffinée**

Huile d'olive obtenue par le raffinage d'huiles d'olives vierges dont l'acidité libre, exprimée en acide oléique, ne peut être supérieure à 0.3g pour 100g d'huile et dont les autres caractéristiques sont conformes à celles prévues pour cette catégorie.

#### **I.3.3.3. Huile de grignons d'olive**

« Huile contenant exclusivement des huiles provenant du traitement du produit obtenu après l'extraction de l'huile d'olive et des huiles obtenues directement des olives » ou « huile contenant exclusivement des huiles provenant du traitement des grignons d'olive et des huiles obtenues directement des olives » (**Pouyet et Olivier, 2014**).

L'acidité libre de cette catégorie ne peut être supérieure à 1.5 g pour 100 g d'huile. On appelle grignon le résidu sec de la pâte d'olives. Ce terme est équivalent à celui de tourteau. (Tableau 01) (**C.O.I, 2013**).

**Tableau 01** : Classification générale de l'huile d'olive (Kalua *et al.*, 2007).

Classification de l'huile d'olive	Limite de concentration d'acide oléique %
Huile d'olive extra-vierge	0.8
Huile d'olive vierge	2.0
Huile d'olive vierge courante	< 3.3
Huile d'olive vierge lampante	>3.3
Huile d'olive raffiné	0.3
Huile des grignons d'olive	1.5

### I.3.4. Technologie d'extraction

L'extraction de l'huile d'olive a toujours été le principal objectif de la culture de l'olivier. Les méthodes d'extraction ont évolué mais le processus d'extraction d'huile d'olive reste toujours le même. Il inclut : La récolte, le triage, le broyage, le malaxage et la séparation des phases liquides (Selaimia, 2018). La transformation de l'olive en huile s'effectue par des moyens mécaniques, très simples, fondés sur la pression ou la centrifugation (Evrard *et al.*, 2007).

#### I.3.4.1. Récolte des olives

La récolte est une opération importante de la culture de l'olivier et, par conséquent, elle doit être contrôlée de près étant donnée ses répercussions sur le coût de la production, la qualité du produit obtenu et la qualité de l'huile d'olive. Cette dernière est affectée aussi bien par les modalités de récolte (système, durée) que par l'époque à laquelle intervient celle-ci.

L'époque de récolte est liée directement au degré de maturité des olives. Au fur et à mesure de sa maturité, l'olive passe par les trois stades de pigmentation suivants : vert, semi-noir et noir (Evrard *et al.*, 2007). La cueillette peut s'effectuer à la main, avec des supports mécaniques (une sorte de râteau automatique), des machines qui balancent l'arbre faisant tomber les olives (Selaimia, 2018). C'est l'opération qui convient le mieux pour obtenir la meilleure qualité de l'huile vierge car les olives sont cueillies sélectivement selon leur degré de maturité. C'est une méthode coûteuse en main d'œuvre (Evrard *et al.*, 2007).



#### **I.3.4.2. Transport, réception et stockage des olives**

Les olives sont ensuite transférées à l'atelier de production d'huile dans des délais les plus brefs possibles, afin de garantir les meilleurs arômes à l'huile d'olive (**Evrard et al., 2007**).

Le moyen le plus approprié pour le transport des olives est représenté par les caisses à claire voie en matière plastique permettant la circulation de l'air et évitant des réchauffements préjudiciables causés par l'activité catabolique des fruits. Au cours de ce stockage, les olives subissent des altérations plus au moins profondes selon la durée et les conditions de stockage. Pour atténuer ces altérations, on peut opérer des stockages en silos ventilés ou greniers à olives, en bacs superposés en matière plastique, avec utilisation de fongicides, en saumures, en atmosphère contrôlée, sous froid (**Ouachich et Chimi, 2007**)

Des simples règles que les producteurs d'haute qualité suivent :

- ✓ Il faut éviter de conserver les olives au-delà de 24 heures (les producteurs d'haute qualité normalement pressent les olives entre 12 et 24 heures après la récolte).
- ✓ Il faut éviter d'utiliser des cassettes trop hautes, de manière à ne pas écraser les olives dans les couches plus basses de la cassette, à cause de la pression exercée par le poids des olives dans les couches plus hautes.
- ✓ Il faut conserver les cassettes dans un lieu aéré, frais et absolument à l'abri de la lumière du soleil (**Selaimia, 2018**).

#### **I.3.4.3. Lavage, broyage, malaxage**

Une fois cueillies, les olives sont triées afin d'éliminer les brindilles et feuilles puis lavées à l'eau froide et ensuite broyées. Le broyage en industrie se fait à l'aide d'un broyeur métallique (à marteaux, disques dentés ou cylindres striés) et aboutit à la formation d'une pâte. Pour faciliter l'extraction de l'huile, ce type de broyage doit être complété par un malaxage, étape permettant de réunir en une phase continue les gouttes d'huiles dispersées dans la pâte (**Benyahia et Zein, 2003**).

#### **I.3.4.4. Filtration sélective**

A la sortie de la centrifugeuse, l'huile d'olive présente un aspect trouble et contient de l'eau et des particules en suspension. Elle peut être stockée telle quelle ou filtrée avant la mise en



bouteille (Plard, 2014). La filtration se base sur le fait que l'huile a une tension superficielle inférieure à celle de l'eau de végétation. (Benyahia et Zein, 2003).

**I.3.4.5. Extraction**

Deux méthodes d'extraction existent, extraction par centrifugation (moderne) ou par pression (Traditionnelle) (Benyahia et Zein, 2003).

**a. Extraction par centrifugation**

L'extraction par centrifugation se fait dans un décanteur, une centrifugeuse horizontale, où les différents composants de la pâte se séparent selon leur densité, elle est basée sur un système d'extraction en continu comprenant une centrifugation horizontale et une centrifugation verticale.

La centrifugation horizontale peut séparer la pâte en trois phases (huile, margines et grignons) ou en deux phases (huile et pâte plastique) s'il n'y a pas d'injection d'eau ou peu (Benyahia et Zein, 2003).

Si les deux phases liquides (huile et margines) n'étant pas bien séparées, les deux dernières phases sont regroupées et envoyées dans une centrifugeuse verticale, la centrifugation verticale permet de séparer l'huile d'olive des margines (Veillet, 2010).

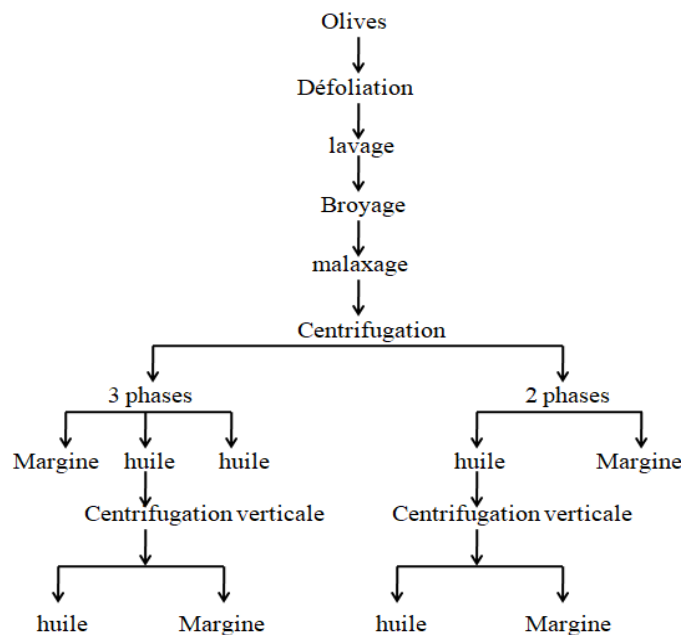
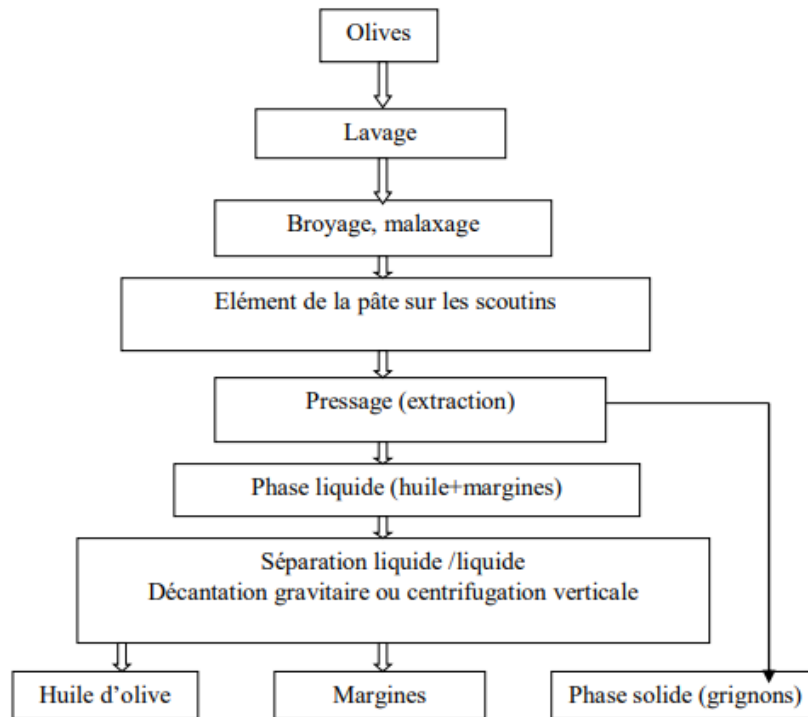


Figure 05 : système d'extraction moderne (Di Giovacchino et al., 1994).

**b. Extraction par pression**

Elle se fait par extraction discontinue et ne sépare que deux phases par pression ou centrifugation. La phase liquide est ensuite filtrée (séparation de l'huile des eaux de végétation) et permet l'obtention de l'huile. Cette méthode entraîne la formation d'un seul sous-produit, une pâte plastique (pas de formation de margine) mais a un rendement peu élevé. Elle reste donc une méthode peu appropriée aux régions fortement productrices (**Benyahia et Zein, 2003**).



**Figure 06 :** Extraction par presse (**Selaimia, 2018**).

**I.3.4.6. Conditionnement et étiquetage**

Les normes imposées par le COI sont très pointilleuses sur le conditionnement des huiles d'olive (**Henry, 2003**), les matériaux utilisés doivent répondre aux exigences suivants (**Ouaouich et Chimi, 2007**) :

- ✓ Ne communiquer à l'huile aucune odeur ni saveur étrangère
- ✓ Ne pas donner lieu à une contamination par les métaux et être résistants due aux acides gras libres de l'huile
- ✓ Être imperméables à l'oxygène de l'air et à l'humidité
- ✓ Protéger l'huile contre les amplitudes thermiques et être opaques

En effet, la qualité de l'huile peut s'altérer rapidement, l'huile est capable d'emmagasiner les odeurs environnantes. L'huile d'olive ne se bonifie pas avec les années ; au contraire sa fraîcheur est une qualité prioritaire.

Le conditionnement dans du verre foncé est un matériau plus indiqué que le plastique pour les bouteilles, la boîte en métal ou bidon métallique demeure un récipient idéal pour la conservation de l'huile d'olive. L'huile d'olive doit être conservée dans de bonnes conditions : à l'abri de l'air et de la lumière pour éviter le rancissement causé par l'oxydation.

Cependant, les bouteilles se conservent parfaitement entre 15° et 18°C, dans un endroit frais et sombre, ceci grâce aux antioxydants dont l'huile est dotée. Lorsque la température descend au-dessous de 8°C, l'huile d'olive risque de se figer et présente un aspect trouble qui est toutefois réversible et non préjudiciable à sa qualité.

Toutefois, il faut éviter les variations de températures qui nuisent à son goût. Une fois ouvertes, les bouteilles doivent être refermées immédiatement après chaque usage pour protéger l'huile de la perte d'arôme et de goût ainsi que des odeurs extérieures. La conservation maximale est de deux ans. Il apparaît donc conseillé de consommer l'huile d'olive dans l'année suivant sa pression pour apprécier son arôme et sa saveur de manière optimale (**Henry, 2003**).

L'étiquetage permet aux opérateurs, tout au long de la chaîne, de manipuler, présenter, entreposer, préparer et utiliser l'huile conditionnée en toute sécurité et de façon correcte. L'étiquette éditée reprend les renseignements suivants : le nom du produit, le contenu net, le nom et l'adresse du fabricant les pays d'origine, la dénomination de l'huile, l'identification du lot, la date de fabrication et d'expiration, les conditions et les instructions d'entreposage et la date de durabilité (**Ouaouich et Chimi, 2007**).

### **I.3.5. Composition de l'huile d'olive**

La composition chimique de l'huile d'olive (*Olea europaea L.*) dépend largement de la variété du fruit, des conditions agronomiques, du degré de maturité, des procédés d'extraction et des conditions de stockage (**Laribi, 2018**).

L'huile d'olive est constituée de composants majeurs et mineurs (**Servili et al., 2004**).

Les composants majeurs constituent la fraction saponifiable, dont les glycérols, représente plus de 98% du poids total de l'huile), et les composants mineurs qui constitue la fraction

insaponifiable, présents en très faible quantité (environ 2% du poids de l'huile), et comprend plus de 230 composés chimiques tels que des hydrocarbures, des stérols, des alcools aliphatiques, des tocophérols et des pigments. Une pléthore de composés phénoliques et volatils est également présente (Boskou *et al.*, 2006).

### I.3.5.1. Fraction saponifiable

La fraction saponifiable est constituée d'acides gras et de leurs dérivés (acylglycérols, phosphatides). Elle représente environ 98% de l'huile et lui confère la plupart de ses caractéristiques physiques, chimiques et métaboliques.

#### a. Glycérides

Les triglycérides sont les composants majoritaires de l'huile d'olive (95,4 %), et les diglycérides ne représentent qu'environ 1-2,8 %. Les principaux triglycérides de l'huile d'olive sont : la trioléine « OOO » (40 à 60 %), la dioléopalmitine « POO » (10 à 20 %), la dioléolinoléine « OOL » (10 à 20 %), la palmitooléolinoléine « POL » (5 à 7 %) et la dioléostéarine « SOO » (3 à 7 %) (Laribi, 2018).

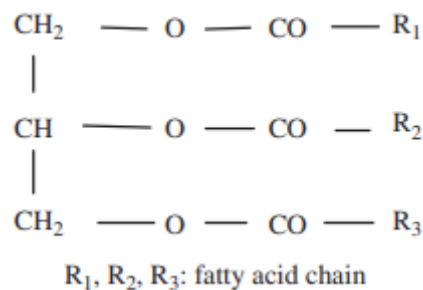


Figure 07 : une molécule de triglycérides (Austin, 1991).

#### b. Acides gras

Les acides gras présents dans l'huile d'olive se trouvent sous forme d'ester de glycérol ou sous forme libre. Ce sont des monoacides linéaires à nombre pairs (majoritaires) et impairs d'atomes de carbone dont le nombre varie de 14 à 24. Avec une chaîne aliphatique soit saturée soit mono ou polyinsaturée (Selaimia, 2018).

L'étude de la composition acide des huiles permet de distinguer les acides gras suivants :

- des acides gras saturés : acide palmitique (C16 :0), acide stéarique (C18 :0) et acide arachidique (C20 :0).
- des acides gras monoinsaturés : acide palmitoléique (C16 :1) et acide oléique (C18 :1).
- un acide gras diinsaturé : l'acide linoléique (C18 :2).
- un acide gras triinsaturé : l'acide linoléique (C18 :3) (Abaza *et al.*, 2002).

Les pourcentages des deux principaux acides gras insaturés, l'acide oléique et l'acide linoléique, varient de 55 à 83% et de 3,5 à 21%, respectivement (Tableau 02) (Velasco et Dobarganes, 2002).

**Tableau 02** : Composition en acide gras d'une huile d'olive (Veillet, 2010).

Acide gras	Formule brute	Ollivier et coll. (%)	Codex alimentarius (%)
Acide myristique	C14:0	Tr	<0,1
Acide palmitique	C16:0	7,5-15,6	7,5-20
Acide sapiénique	C16:1n-9	0,1-0,2	0,3-3,5
Acide palmitoléique	C16:1n-7	0,3-1,9	
Acide margarique	C17:0	<0,3	<0,5
Acide margaroléique	C17:1n-8	<0,5	<0,6
Acide stéarique	C18:0	1,4-3,4	0,5-5
Acide oléique	C18:1n-9	60,9-82,1	55-83
Acide vaccénique	C18:1n-7	0,7-3,6	-
Acide linoléique	C18:2n-6	4,5-16,1	3,5-21
Acide $\alpha$ -linoléique	C18:3n-3	0,4-1,2	<1,5
Acide arachidonique	C20:0	0,3-0,5	<0,8
Acide gadoléique	C20:1n-9	0,2-0,5	-
Acide béhénique	C22:0	<0,2	<0,2
Acide lignocérique	C24:0	<0,1	<1

### I.3.5.2. Fraction insaponifiable

L'insaponifiable correspond à l'ensemble des constituants d'un corps gras qui, après saponification, sont peu solubles dans l'eau et solubles dans les solvants des graisses. Si l'huile d'olive possède des propriétés médicales, c'est en partie dû à sa teneur en acide oléique, mais c'est aussi grâce à sa fraction insaponifiable : cette fraction contient des constituants dits «

mineurs » par leur faible proportion dans la composition chimique de l'huile d'olive, mais qui lui apportent une valeur biologique d'une grande richesse (Henry, 2003).

Ces substances représentent de 2 à 4% de l'huile et constituent un mélange complexe de composés appartenant à des familles chimiques diverses dont les composants mineurs les plus étudiés sont des hydrocarbures, des stérols, des tocophérols, des pigments, des substances volatiles composés et composés phénoliques (Selaimia, 2018). De plus, cette fraction joue un rôle indispensable dans les analyses de qualité et de pureté et plus récemment dans les études d'authentification et la traçabilité de l'huile d'olive (Ben-ayed et al., 2013).

#### a. Stérols

Les stérols font partie des constituants mineurs des corps gras, ce sont des composés tétracycliques comportant 27 à 29 atomes de carbone. Ils sont présents sous forme libre (80%) et estérifiée. Ils représentent 30 à 60% de l'insaponifiable, Dans une huile d'olive vierge, les stérols les plus trouvés sont le  $\beta$ -Sitostérol, 5-Avenastérol et Campesterol avec des pourcentages respectifs d'environ 80 à 85%, 7% et 2,90 à 4% (Giuffrè et al, 2012). La composition stérolique est spécifique pour chaque espèce végétale (Temime et al., 2006).

#### b. Hydrocarbures

Les hydrocarbures sont les composés les moins polaires dans la fraction insaponifiable d'huiles végétales, y compris l'huile d'olive (l'huile d'olive vierge peut contenir jusqu'à 0,7% d'hydrocarbures) (Ben-ayed et al., 2013).

Le squalène ( $C_{30}H_{50}$ ) est le principal hydrocarbure polyénique de l'huile d'olive. En fait, ce hydrocarbure terpénoïde représente plus de 90% des fractions d'hydrocarbures (Owen et al., 2000). Le squalène est un précurseur métabolique du cholestérol et autres stérols. (Henry et al., 2003). C'est un constituant important de la fraction insaponifiable d'huiles d'olive vierges (Ben-ayed et al., 2013), qui constitue 30 à 50 % de cette fraction (Henry et al., 2003). Il est à noter que la teneur en squalène de 0,4 et 0,6% dans l'huile d'olive vierge (Figure 08) (Camin et al., 2010).

La variété Chemlali présente la plus forte teneur en squalène, atteignant 10,48 g/kg d'huile. Au cours du processus de maturité, ce niveau est décédé remarquablement jusqu'à 2 g /kg d'huile. Le même comportement a été observé dans les huiles de Chétoui obtenues sous régime

d'irrigation, en effet, la teneur en squalène est progressivement tombée de 5,99 à 3,58 g/kg à mesure que la maturation a progressé (Baccouri et al., 2008).

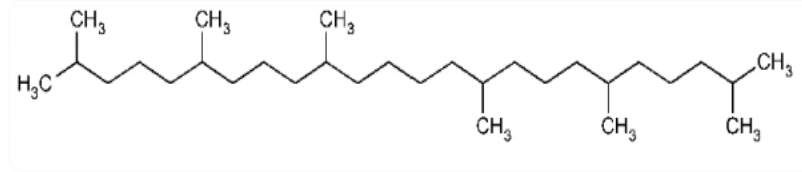


Figure 08 : Structure de squalène (Camin et al., 2010).

### c. Pigments

L'huile d'olive contient des composés mineurs qui lui confèrent ses qualités organoleptiques et nutritionnelles. Parmi ces composés mineurs les pigments, qui en raison de leur caractère antioxydant dans l'obscurité et pro oxydant dans la lumière, semblent jouer un rôle important dans la stabilité oxydative de l'huile au cours de son stockage et dans la préservation de sa qualité. La concentration en chlorophylles peut dépasser 80 mg/kg pour des huiles obtenues à partir d'olives en stade précoce de maturité, pour chuter à des valeurs d'environ 2 mg/kg lorsque le fruit est bien mûr (Tanouti et al., 2011).

- La chlorophylle : sa présence est visible car c'est elle qui donne la couleur verte de l'huile. Sa quantité peut varier en fonction de nombreux facteurs (Henry, 2003). Sa teneur enregistrée pour la campagne oléicole 2009 est de (0,29 à 5,21 mg/kg (Tanouti et al., 2011).

Ces faibles teneurs sont souhaitées pour éviter l'action pro-oxydante des pigments chlorophylliens et pour assurer ainsi une bonne conservation des huiles d'où l'intérêt de produire des huiles d'olive à partir d'olives mûres et de procéder au défeuillage lors de l'extraction de l'huile. En effet, au début de la maturité des olives, la concentration en chlorophylles est élevée. Cette valeur diminue continuellement au fur et à mesure de la maturité des olives. Cette diminution est due à la dégradation de la chlorophylle en phéophytines qui confèrent à l'huile sa couleur jaune (Boulfane, 2010).

- Les caroténoïdes : ce sont également des pigments naturels mais à structure d'hydrocarbure. Parmi eux, on trouve le  $\beta$ - carotène (provitamine A) à des concentrations variables (0.3 à 3.7 mg pour 1 kg). Il fournit par clivage de la vitamine A. L'huile d'olive

est d'ailleurs la seule huile végétale à en posséder. Au-delà de l'intérêt vitaminique (rôle dans la vision), le  $\beta$ -carotène joue un rôle d'antioxydant. Les caroténoïdes se décomposent également au cours du stockage de l'huile, en particulier si celle-ci est exposée à la lumière. Dans ces conditions, l'huile d'olive peut devenir totalement incolore après 4 ou 5 ans (Henry, 2003).

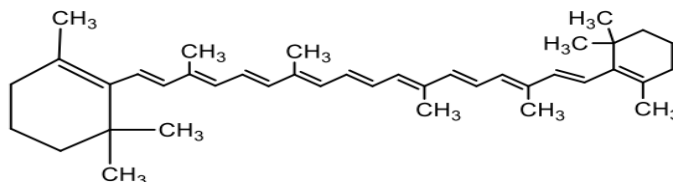


Figure 09 : Structure chimique du  $\beta$ -carotène (Criado, M, 2008).

#### d. Profil phénolique

Les phénols sont reconnus comme des composés antioxydants importants qui protègent l'huile contre l'auto-oxydation, au niveau cellulaire, contre les radicaux oxygène (Youssef et al., 2010). L'huile d'olive contient des composés phénoliques simples et complexes qui augmentent sa stabilité et lui confère des propriétés antioxydantes et modulent sa saveur (Veillet, 2010).

De plus, les substances phénoliques n'affectent que la stabilité de l'huile d'olive vierge, ils contribuent également au piquant, à la saveur et à l'arôme de l'huile, en particulier au goût amer typique de l'huile d'olive (Youssef et al., 2010). Les huiles d'olive vierges sont riches en composés phénoliques appartenant à diverses familles : phénols et hydroxyphénols, acides et alcools phénols, sécoïridoïdes, lignanes, flavonoïdes...etc. (Figure 10, Figure 11, Figure 12)

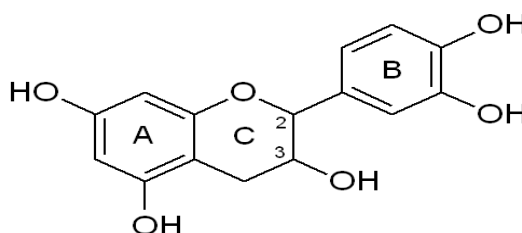
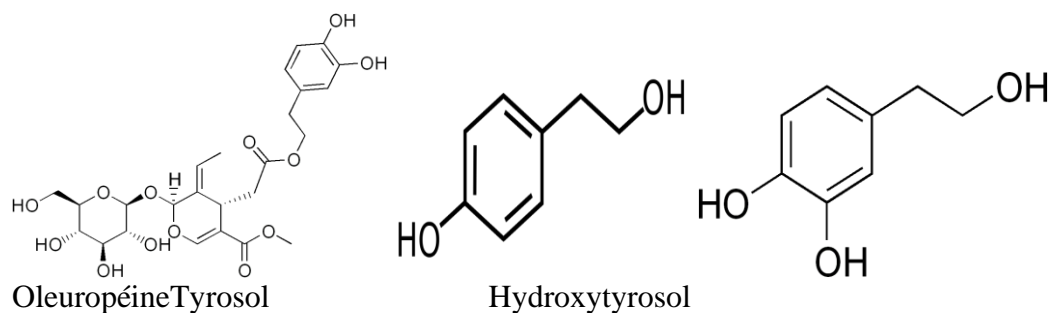
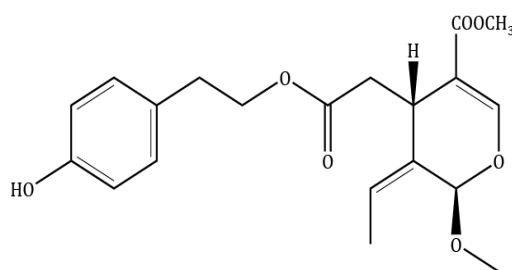


Figure 10 : Structure des flavonoides (Amic et al., 2003).





**Figure 11** : Principaux composés phénoliques de l'huile d'olive (Benrachou, 2013).



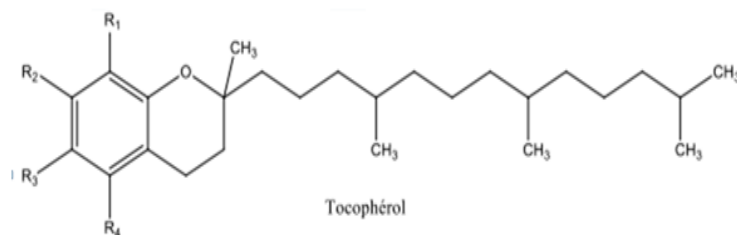
Ligstroside aglycone

**Figure 12** : Les sécoïridoïdes de l'huile d'olive (Ollivier, 2004).

### e. Tocophérols

Les tocophérols sont reconnus pour leur double action bénéfique. En effet, ils ont tout d'abord l'atout d'être une vitamine liposoluble (vitamine E) et ils ont également une forte activité anti oxygène. La teneur totale en tocophérols dans les huiles d'olive est très variable, entre 100 et 300 mg/kg pour les huiles d'olives vierges, Dans les huiles raffinées, les tocophérols sont partiellement perdus donc les quantités d'environ 200 mg/kg (Tripoli *et al.*, 2005).

L' $\alpha$ -tocophérol représente à lui seul 90% de la totalité des tocophérols, Cette forme possède la plus forte activité vitaminique et est la plus active (Figure 13) . Elle s'oppose au rancissement et à la polymérisation de l'huile, et protège contre les mécanismes athérogènes, mais on trouve également un peu de beta et gamma tocophérols, alors que le delta tocophérol n'est présent qu'à l'état de traces.



**Figure 13** : Structure générale d'un tocophérol (Benrachou, 2013).

#### f. Alcools

- Les dialcools triterpéniques pentacyclique : L'erythrodiol et l'uvaol sont présents à hauteur de 100 à 300 mg par 100g
- Les alcools aliphatiques : Les plus importants rencontrés dans l'huile d'olive sont : le docosanol C22, le tetracosanol C24 et l'hexacosanol C26 (Ollivier, 1999).

### I.3.6. Qualité d'huile d'olive

La qualité d'une huile va dépendre de sa composition chimique. Ainsi, il est important de qualifier et quantifier ces constituants. Mais elle dépend aussi de ses propriétés organoleptiques. Ainsi la qualité des huiles d'olive vierge, est déterminée sensoriellement et chimiquement (Plard, 2014).

#### I.3.6.1. Critères d'évaluation de la qualité d'huile d'olive

##### a. Critères organoleptiques

Une simple analyse chimique ne peut suffire pour déterminer la qualité d'une huile. En effet, les composés volatiles qui se développent au cours du procédé de fabrication de l'huile puis pendant son stockage sont capables de modifier l'odeur et la saveur de l'huile. Pour cela une analyse sensorielle codifiée et détaillée a été développée par le COI et la Communauté Economique Européenne (CEE). Les attributs sensoriels d'une huile ont été classés en deux catégories : les attributs positifs et les défauts.

Il existe 3 grands attributs positifs (COI, 2007) :

- ✓ **Amer** : il est défini comme le goût élémentaire caractéristique de l'huile obtenue d'olives vertes ou au stade de la véraison, perçu par les papilles caliciformes formant le V lingual.

- ✓ **Fruité** : ensemble des sensations olfactives caractéristiques de l'huile, dépendant de la variété des olives, provenant de fruits sains et frais, perçues par voie directe ou rétro nasale. Le fruité vert correspond aux caractéristiques rappelant les fruits verts à l'inverse du fruité mûr qui témoigne d'une récolte des olives plus tardive.
- ✓ **Piquant** : sensation tactile de picotement, caractéristique des huiles produites au début de la campagne, principalement à partir d'olives encore vertes, pouvant être perçue dans toute la cavité buccale, en particulier dans la gorge. Toute caractéristique autre que ces trois attributs sera perçue comme un défaut de l'huile. Il est à noter que pour être classée comme « huile d'olive vierge extra », l'huile ne doit présenter aucun de ces défauts.

Toute caractéristique autre que ces trois attributs sera perçue comme un défaut de l'huile. Il est à noter que pour être classée comme « huile d'olive vierge extra », l'huile ne doit présenter aucun de ces défauts. Les principaux défauts sont :

- ✓ **Chômé/ies** : flaveur caractéristique de l'huile tirée d'olives entassées ou stockées dans des conditions telles qu'elles se trouvent dans un état avancé de fermentation anaérobie, ou de l'huile restée en contact avec les « boues » de décantation, ayant elles aussi subi un processus de fermentation anaérobie, dans les piles et les cuves.
- ✓ **Moisi/humide** : flaveur caractéristique d'une huile obtenue d'olives attaquées par des moisissures et des levures par suite d'un stockage des fruits pendant plusieurs jours dans l'humidité.
- ✓ **Vineux/vinaigré** ou acide/aigre : flaveur caractéristique de certaines huiles rappelant le vin ou le vinaigre. Cette flaveur est due fondamentalement à un processus de fermentation aérobie des olives ou des restes de pâte d'olive dans des scourtins qui n'auraient pas été lavés correctement, qui donne lieu à la formation d'acide acétique, acétate d'éthyle et éthanol.
- ✓ **Métallique** : flaveur qui rappelle les métaux. Elle est caractéristique de l'huile qui est demeurée longtemps en contact avec des surfaces métalliques, au cours du procédé de broyage, de malaxage, de pression ou de stockage.
- ✓ **Rance** : flaveur des huiles ayant subi un processus d'oxydation intense. D'autres attributs négatifs moins courants ont également été décrits par le Comité Oléicole International. Parmi ceux-ci le cuit ou brûlé (dû à un réchauffement excessif et prolongé de la pâte lors du malaxage), le « vers » (olives ayant subi une attaque de la mouche de l'olivier, *Bactrocera Oleae*) ou encore le bois humide (olive ayant subi une congélation sur l'arbre avant récolte) (Veillet, 2010).

**b. Critères physicochimiques**

• **Indice d'acidité**

L'acidité est la teneur de l'huile d'olive en acides gras libres exprimée en gramme d'acide oléique par 100 g d'huile d'olive ou en pourcentage d'acide oléique. Elle dépend non pas de variété mais plutôt de l'état des olives et des procédés d'extraction (**Manai et al., 2006**).

L'acidité est un facteur qui renseigne sur l'altération de l'huile par hydrolyse, évolue linéairement de manière significative en fonction de la durée de stockage des huiles (**Tekaya et Hassouna, 2005**). Elle représente le paramètre de qualité le plus utilisé pour la classification commerciale. L'acidité libre doit être inférieure à 0,8% pour les huiles d'olive vierge extra et inférieure à 2% pour les huiles d'olive vierge. Le conseil européen considère qu'au-delà de 2%, l'huile d'olive est lampante et devient impropre à la consommation humaine (**Plard, 2014**).

Les acidités élevées peuvent être expliquées par l'état de maturité très avancé des fruits, à l'insuffisance de précautions prises lors de la récolte ou du stockage des olives ce qui entraîne la détérioration des fruits et par conséquent l'augmentation de la teneur en acides gras libres, sous l'action des lipases et donc l'augmentation de l'acidité (**Boulefane et al., 2015**).

• **Indice de peroxyde**

L'indice de peroxyde exprimé en milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme d'huile, détermine le nombre d'hydroperoxydes présents dans l'huile et formés au cours du stockage. Il constitue l'un des moyens les plus directs de mesurer l'autoxydation lipidique (**Manai et al., 2006**). Selon la norme commerciale du Conseil Oléicole International (COI), cet indice ne doit pas dépasser 20 meq O<sub>2</sub>/Kg pour toutes les Catégories d'huile d'olive (**Houlali et al., 2014**).

Dans le cas contraire, l'huile est automatiquement considérée comme lampante. Cependant cet indice n'est qu'un indicateur de début de vieillissement. En effet lors d'une oxydation prolongée, celui-ci atteint un maximum avant de diminuer. Car les peroxydes se dégradent pour donner des composés aldéhydiques. C'est un indice adapté pour déterminer la qualité des huiles fraîches mais pas des huiles ayant dépassé un certain stade d'oxydation. En aucun cas l'indice de peroxyde ne peut refléter le passé oxydatif d'une huile (**Plard, 2014**).

• **Extinction spécifique**

Le dosage des produits d'oxydation de l'acide linoléique est effectué en mesurant les absorbances aux longueurs d'onde 232 nm et 270 nm. L'absorbance de l'huile à 232 nm ( $K_{232}$ )

nous renseigne sur l'évolution de la peroxydation de l'huile analysée et la formation d'hydro peroxyde linoléique alors que l'absorbance à 270 nm ( $K_{270}$ ) nous renseigne sur sa teneur en produits secondaires d'oxydation (des cétones et des aldéhydes) (**Krid et al., 2011**).

La qualité d'huile d'olive est influencée par plusieurs facteurs ; notamment la variété de l'olivier et son environnement, la maturation d'olive, la variation saisonnière, le facteur environnemental, les méthodes de récolte des olives et des processus d'extraction (**Houlali et al., 2014 ; Merouane et al., 2014**).

### I.3.7. Bienfaits de l'huile d'olive

L'huile d'olive fait partie intégrante du régime méditerranéen et de plus en plus de preuves suggèrent qu'il peut avoir des avantages pour la santé (**Stark et Madar, 2002**). Il a été spéculé que la consommation d'olive l'huile contribue à réduire l'incidence des maladies coronariennes et certains cancers, et modification des réponses immunitaires et inflammatoires (**Turk et Hayball, 2002**).

L'huile d'olive semble être un exemple de aliments fonctionnels, avec des composants variés qui peuvent contribuer à ses caractéristiques thérapeutiques globales. L'huile d'olive est connue pour ses niveaux élevés d'acides gras monoinsaturés et est également une bonne source de composés phytochimiques, y compris les composés polyphénoliques, le squalène et le  $\alpha$ -tocophérol (**Stark et Madar, 2002**).

À tel point que l'EFSA a accordé des allégations santé pour l'huile d'olive concernant ses effets bénéfiques sur le maintien d'une cholestérolémie normale, la protection des lipides sanguins et des cellules contre le stress oxydatif, ainsi que le maintien d'une coagulation sanguine normale. En effet, la consommation régulière d'huile d'olive a été corrélée à une diminution de risques d'apparition des maladies cardio-vasculaires (**Lambert de Malezieu, 2019**).

Différents travaux ont permis de démontrer l'effet antithrombotique et antiagrégant plaquettaire de l'huile d'olive. Il a été vérifié que les régimes riches en huile d'olive permettent d'atténuer l'effet prothrombotique favorisé par une alimentation trop riche en graisses saturées, ce qui explique la faible incidence de l'infarctus du myocarde.

L'huile d'olive diminue les niveaux de cholestérol total, du cholestérol LDL et de triglycérides plasmatiques et augmente le niveau du cholestérol HDL, protecteur et anti-athérogène (**Ghedira, 2008**).

L'huile d'olive facilite la sécrétion pancréatique exocrine de façon suffisante pour les fonctions digestives. L'huile d'olive est recommandée dans le traitement de différentes pathologies dans lesquelles la fonction pancréatique est altérée, notamment l'insuffisance pancréatique, la pancréatite chronique, la fibrose kystique, les syndromes de malabsorption (**Ghedira, 2008**).

En plus de plusieurs études confirmant les effets ci-dessus, les recherches actuelles sur l'effet bénéfique de l'huile d'olive, et en particulier en conjonction avec les régimes de style méditerranéen, se concentrent sur la définition de ses effets sur les nouveaux facteurs de risque cardiovasculaire, tels que l'inflammation, le stress oxydatif, la coagulation, l'agrégation plaquettaire, la fibrinolyse, la fonction endothéliale ou les lipides ou sur la modulation des conditions qui prédisposent les personnes aux événements cardiovasculaires, tels que l'obésité, le syndrome métabolique ou le diabète sucré de type 2 (**Yubero-Serrano, 2019**).

De plus, la consommation d'huile d'olive a été largement associée à une diminution des marqueurs de stress oxydatif dans le plasma humain, à une augmentation de l'expression et de l'activité des enzymes antioxydantes, et à une diminution des lésions induites par le stress oxydatif lié à l'âge (**Fernández del Río et al., 2016**).

*Chapitre II :*  
*Enrichissement de l'huile*  
*d'olive*

### II.1. Généralités

Les composés phénoliques contenus dans les huiles d'olive ont un rôle prépondérant dans l'amélioration de la conservation de ces huiles car ils limitent le développement l'oxydation des lipides qu'elles contiennent, aussi bien lors de la conservation que lors d'un chauffage. De plus, ces polyphénols ont une grande valeur nutritionnelle, faisant parler leurs effets bénéfiques pour la santé (Servili *et al.*, 2004).

Cependant la quasi-totalité (98%) de ces composés présents dans l'olive sont perdus lors du procédé d'extraction des huiles et c'est ainsi que 45% de ces pertes restent liées dans les tourteaux et les 55% qui restent sont perdus en phase aqueuse du procédé d'extraction (Mulinacci *et al.*, 2001).

Dans l'optique de compenser ces pertes et dans la perspective d'améliorer la qualité d'huile, un enrichissement de celle-ci s'avère donc une alternative très intéressante (Salta *et al.*, 2007). Plusieurs études ont été faites dans le but de l'amélioration de la qualité de l'huile d'olive basée sur l'optimisation du processus de l'extraction de l'huile d'olive ou sur l'enrichissement postproduction. Et d'autres études ont montré par le passé que le type de la chaîne de fabrication de l'huile d'olive pouvait avoir une grande influence sur la qualité finale de celle-ci (Veillet, 2010).

### II.2. Types d'enrichissement

#### II.2.1. Enrichissement endogène

L'huile d'olive vierge est exclusivement extraite de l'olive aux moyens de techniques mécaniques comprenant des étapes de broyage et de malaxage et d'extraction. Chacune de ces opérations technologiques outre les caractéristiques des olives, affecte la qualité du produit (Veillet, 2010).

##### II.2.1.1. Technologies d'enrichissement endogènes

Plusieurs études sont portées sur le développement de nouvelles technologies et stratégies pour améliorer la qualité nutritionnelle et organoleptique : Irrigation avec l'eau saline, amélioration des étapes de malaxage qui est basé sur la température et le temps, l'extraction assisté par ultrasons qui consiste à traiter la pâte d'olive avant l'étape de malaxage ... etc (Veillet, 2010).



### a. Irrigation avec de l'eau saline

La culture de l'olivier (*Olea europaea*, L.) est l'une des activités les plus anciennes et les plus répandues dans les zones arides et semi-arides du bassin méditerranéen, principalement en raison de sa grande adaptabilité aux conditions de déficit hydrique et sa valeur nutritive. Néanmoins, la productivité de l'olivier est limitée à la fois par la disponibilité de l'eau et des nutriments, la variabilité des précipitations au cours de la saison et l'alternance ou l'effet de l'année (**Belguerri, 2016**).

Selon les travaux de **Benbadis et al. (2010)**, le traitement d'irrigation des oliviers «Chemlali» avec de l'eau saline modérée a affecté positivement le rendement en huile d'olive par arbre, avec une augmentation positive des bénéfices économiques. Il semble que l'irrigation a influencé les teneurs en polyphénols et en chlorophylle (Tableau 03). Les plantes irriguées par l'eau saline modérée donnent un meilleur rendement en huile par arbre.

**Tableau 03** : Teneur en composés phénoliques des huiles d'olive obtenues des olives irriguées avec la pluie et avec eau saline modérée (**Benbadis et al., 2010**)

Composition de l'huile d'olive	Irrigation avec la pluie	Irrigation avec l'eau saline modérée
Composés phénoliques mg/kg	59.44	91.53
Chlorophylle mg/kg	1.15	0.66

De plus, les travaux de **Tekaya et al. (2016)** montrent que l'irrigation des oliviers avec l'eau saline a également considérablement influencé la composition biochimique de l'huile d'olive et a contribué à l'amélioration de la qualité de l'huile et de sa valeur nutritionnelle, en terme de richesse en composés antioxydants et en acides gras mono insaturés nutritifs, en particulier en acide oléique.

### b. Biofertilisation avec le sélénium (Se)

Sachant que le stress abiotique joue un rôle important dans la teneur en composés phénoliques, **Roberto D'Amato et al. (2017)** se sont intéressés à évaluer l'effet de la fertilisation en Se avant la floraison sur le profil phénolique de l'huile d'olive, et les résultats ont montré que

cette fertilisation en Se enrichie l'huile étudiée à la fois en sélénium (jusqu'à 120 µg/kg) et en phénols (jusqu'à 401 mg/kg). Ce dernier enrichissement était lié à une augmentation à l'activité de PAL (L-PhénylalanineAmmonia-Lyase) qui est largement indépendant du régime climatique. Considérant le profil phénolique l'oleaceine, le ligstroside aglycone et l'oléocanthal étaient les composés les plus touchés et ont été augmentés de 57, 50 et 32% (Tableau 04), respectivement. Il a été démontré que tous ces composés, en particulier l'oléaceine, exercent une activité antioxydante pertinente, contribuant à la fois à la durée de conservation des huiles d'olives enrichies et à des effets positifs sur la santé humaine. Cette pratique est très intéressante pour les cultivars pauvres avec des conditions météorologiques froides et pluvieuses, qui conduiraient normalement à la production des huiles d'olive vierges à profil phénolique défavorable.

**Tableau 04 :** Composés phénoliques totaux (mg/kg d'huile) de l'huile d'olive vierge extra traitée et non traités avec Se (Amato et al., 2017).

	2013			
	Untreated	SD	Se-enriched	SD
3.4-DHPEA	1.80	0.03	1.71 *	0.03
p-HPEA	1.95	0.03	1.38 *	0.02
3.4-DHPEA-EDA	185.6	3.2	298.6 *	4.1
p-HPEA-EDA	16.7	0.2	21.2 *	0.3
(+)-1-Acetoxypinoresinol	3.47	0.02	3.09 *	0.04
(+)-Pinoresinol	8.1	0.1	8.15	0.06
3.4-DHPEA-EA	48.0	0.5	48.7	0.7a
Ligstroside aglycon	3.08	0.06	4.74 *	0.08
Total phenols	268.7	3.3	387.5 *	4.2

### c. Amélioration de l'étape de malaxage

Le malaxage, une étape de base du processus de production de l'huile d'olive, qui permet d'obtenir des rendements d'extraction satisfaisants (Germek et al., 2014). Un malaxage efficace de la pâte d'olive est crucial pour produire de l'huile d'olive vierge d'une qualité exceptionnelle. Il est important d'extraire la quantité optimale d'huile, avec les bonnes quantités d'antioxydants et la meilleure saveur possible (Clodoveo, 2012). Cette étape est considérée comme l'une des étapes les plus critiques de la transformation des olives et de l'extraction de l'huile, car elle peut influencer la teneur en composés phénoliques (Kiritsakis et al., 2019). Cependant, le malaxage de la pâte d'olive doit être considérée bien plus qu'une simple séparation physique, car un bioprocédé complexe se déroule qui est très pertinent pour la qualité et la composition du produit final.

Dans un futur proche, la machine de malaxage pourrait être équipée d'une série de capteurs capables de surveiller en temps réel les paramètres d'extraction et opérer la bonne correction du processus pour obtenir la meilleure qualité de l'huile d'olive. Par conséquent, l'automatisation des processus est nécessaire pour obtenir un produit de haute qualité, des rendements de processus optimaux à faible coût.

Les conditions de malaxage, telles que le temps, la température et la composition de l'atmosphère en contact avec la pâte d'olive, peuvent influencer la qualité d'huile d'olive (**Clodoveo, 2012**). Pour faciliter le malaxage, la température de la pâte est augmentée pour diminuer la viscosité du mélange. Des rendements d'huile plus élevés sont obtenus par malaxage à des températures plus élevées, mais la qualité de l'huile peut se détériorer si la température est trop élevée. Donc, un équilibre entre le rendement et la qualité de l'huile doit être atteint.

En outre, des températures de malaxage plus élevées et des temps de malaxage plus courts peuvent être avantageux pour augmenter le rendement en huile. Plusieurs études ont montré que le temps et la température de malaxage sont des facteurs importants influençant fortement la qualité et le rendement de l'huile d'olive vierge (**Kalua et al., 2006**).

Il a été rapporté que (**Clodoveo, 2012**) :

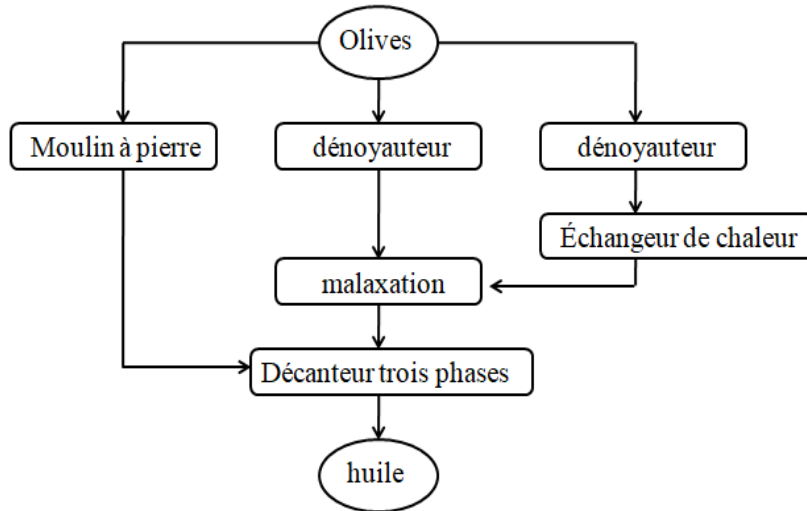
- ✓ L'utilisation de gaz inerte pendant le malaxage réduit la dégradation oxydative de composés phénoliques et permet d'allonger le temps de malaxation sans endommager le produit ;
- ✓ Une température de malaxation basse (<30 °C) et un temps de malaxation compris entre 30 et 45 min sont recommandés pour obtenir une bonne qualité d'huile d'olive sans compromettre les rendements.
- ✓ L'addition d'eau tiède à la pâte pendant le malaxage peut améliorer l'extraction de l'huile mais en même temps les phénols à caractère hydrophile diminuent en fonction de la quantité d'eau ajoutée.

#### **d. Utilisation d'un dénoyauteur**

Une nouvelle procédure technologique est en cours de développement qui comprend l'enlèvement des noyaux avant le processus d'extraction de l'huile d'olive. Dans les travaux d'**Amirante et al. (2006)**, qui ont étudié l'effet de l'introduction de dénoyauteur et d'échangeur de chaleur sur la qualité de l'huile selon le processus montré dans la figure 14. Les auteurs ont

montré que les huiles obtenues à partir de pâtes dénoyautées avaient une teneur en polyphénols plus élevée, une augmentation de temps d'induction à l'oxydation. Les huiles dé-dénoyautées contenaient également une plus grande quantité de composés volatils, responsables de notes positives de la saveur, en comparaison avec les huiles obtenues au moulin à pierre.

L'utilisation de l'échangeur de chaleur couplé au dénoyateur améliore les rendements en huile d'olive et il rend la malaxation plus efficace (Amirante *et al.*, 2006).



**Figure 14 :** Diagramme de flux des procédures de traitement (Amirante *et al.*, 2006).

### e. Extraction assistée par ultrasons

L'extraction assistée par ultrasons est une technique innovante appliquée au processus d'extraction de l'huile d'olive vierge, qui est généralement utilisée pour augmenter l'efficacité des plantes et améliorer la qualité des produits (Taticchi *et al.*, 2019). Le phénomène de cavitation induits par les ultrasons améliore le rendement en huile car il brise la paroi cellulaire primaire des graines et facilite la libération de l'huile (Mushtaq *et al.*, 2020).

Une étude menée par Clodoveo et HachichaHbaieb, (2013) visait à améliorer l'efficacité du processus d'extraction en utilisant un traitement par ultrasons de la pâte d'olive avant l'étape de malaxation. Les auteurs ont montré que le traitement par ultrasons provoquait un échauffement rapide de la pâte d'olive en fonction du temps de traitement par ultrasons. Des durées de traitement de 8 et 10 min ont permis de réduire la phase de malaxation de 60 à environ 40 min. La technique par ultrasons a amélioré la teneur en antioxydants, en tocophérols, en caroténoïdes

et en chlorophylles que les huiles non traitées, et montrant une valeur nutritionnelle plus élevée dans les deux huiles d'olive vierge étudiées.

La cavitation acoustique a un fort impact sur une surface solide et peut perturber les parois cellulaires biologiques. L'effet mécanique des ultrasons favorise la libération de composés solubles à partir des tissus végétaux en perturbant les parois cellulaires et améliore ainsi le transfert de masse également dans les tissus de l'olivier (**Clodoveo et al., 2013**).

Une autre étude à l'échelle industrielle a été réalisée par **Taticchi et al. (2019)** où un appareil à ultrasons de haute puissance (US) a été introduit dans une usine industrielle capable de traiter 2 tonnes / h pour évaluer l'impact physico-chimique de la technique sur les paramètres de qualité de HOV. Des changements physiques importants, un rendement d'extraction élevé (+22,7%), une teneur accrue en phénols (+10,1%) ont été observés dans US-HOV par rapport à l'huile témoin extraite avec un procédé traditionnel à un indice de maturité précoce.

**Almeida et al. (2017)** ont aussi étudié l'impact d'un système d'extraction assistée par ultrasons d'huile d'olive en continu à l'échelle semi-industrielle sur la qualité du produit. Les paramètres de base de la qualité d'huile d'olive vierge, la teneur en antioxydants et les profils volatils ont été étudiés. Le traitement aux ultra-sons n'a pas affecté les valeurs d'acidité libre ou de peroxyde. Une augmentation constante et significative de la teneur en composés mineurs, à savoir les phénols (lignanes, secoiridoïdes) et les composés volatils C6 et C5, a été généralement observée lors de l'application des ultra-sons. Cependant, les EAU peuvent avoir été responsables d'une réduction de la teneur en tocophérol peut être due à des phénomènes induits par la cavitation et à des teneurs en eau et des rendements d'extraction plus élevés et à des intensités plus élevées de notes sensorielles positives fruitées, amères et piquantes.

**Bejaoui et al. (2018)** ont étudié l'effet de traitement par ultrasons à haute puissance (HPU) de la pâte d'olive sur la qualité d'huile d'olive vierge. Les résultats montrent que le traitement HPU n'a pas provoqué d'altération de la composition en acides gras et des composés phénoliques d'huile d'olive. En général, une réponse positive a été observée dans les composés secoiridoïdes. Par conséquent, le traitement par ultrasons à haute puissance de la pâte d'olive n'a eu aucun effet négatif sur les composés d'huile d'olive liés aux caractéristiques nutritionnelles et sensorielles.

Néanmoins, ces résultats soulignent davantage l'extraction assistée par ultra-sons d'huile d'olive comme une alternative tangible et efficace aux processus conventionnels.

### f. Extraction assistée par les champs électriques pulsés

Une étude menée par **Tamborrino et al. (2020)** visait à évaluer la capacité de la technologie de champ électrique pulsé (PEF) à améliorer l'extractibilité et à améliorer la qualité de l'huile dans un processus industriel d'extraction d'huile d'olive.

L'utilisation d'un dispositif PEF sur des pâtes d'olive a considérablement augmenté la capacité d'extraction de 79,5% pour le témoin, jusqu'à 85,5%. Le système PEF n'a pas modifié les principaux paramètres de qualité légale ou les concentrations totales de phénols, d'aldéhydes et d'esters. Au contraire, le traitement non thermique a légèrement amélioré les formes dialdéhydiques de l'acide décarboxyméthyloléolique lié à l'hydroxytyrosol (3,4-DHPEA-EDA) et au tyrosol (p-HPEA-EDA), et a diminué les C5 et C6 saturés et insaturés totaux, les alcools de l'huile d'olive vierge traitée par les champs électriques pulsés par rapport au test témoin. Cette étude a confirmé que la technologie PEF peut améliorer l'extraction et la qualité de l'huile d'olive.

### g. Combinaison des technologies innovantes pendant le processus d'extraction d'huile d'olive

**Leone et al. (2018)** ont examiné les effets du conditionnement de la pâte d'olive à l'aide de micro-ondes, du méga son et de sa combinaison à l'échelle industrielle sur la qualité de l'huile d'olive extra vierge. Les résultats montrent que cette combinaison a augmenté de manière significative le contenu phénolique total et diminué les aldéhydes totaux C5 et C6 dans la pâte traitée avec les micro-ondes. Les composés volatils associés à l'arôme d'huile d'olive, n'ont pas montré de différences significatives pouvant être associées aux traitements MS et MW effectués sur la pâte d'olive (Tableau 5, Tableau 6, Tableau 7). Ces résultats prouvent que les traitements MS et / ou MW dans les pâtes d'olive n'inhibent pas l'activité lipoxigénase (LOX), qui est la principale voie responsable de la génération d'arômes dans le traitement d'huile d'olive vierge

**Tableau 05 :** Paramètres standard de l'huile d'olive vierge (Leone et al., 2018)

Tests	Free acidity (%)	Peroxide value		
		(meq O <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> )	K232	K270
Control	0.20 ± 0.01a	6.37 ± 0.14a	1.721 ± 0.005b	0.133 ± 0.006a
MS	0.20 ± 0.02ab	4.50 ± 0.12b	1.690 ± 0.003a	0.134 ± 0.004a
MW	0.23 ± 0.01b	4.25 ± 0.10b	1.877 ± 0.003d	0.158 ± 0.001b
MW+MS	0.20 ± 0.00ab	4.41 ± 0.05b	1.829 ± 0.002c	0.169 ± 0.001c
Commercial extra virgin specification (IOC)	≤ 0.8	≤ 20	≤ 2.50	≤ 0.22

**Tableau 06 :** Composition phénolique (mg/kg) d'huile d'olive (Leone et al., 2018)

	C	MW+MS	MW	MS
3,4-DHPEA*	3.8 ± 0.9a	3.4 ± 0.4a	2.0 ± 0.2b	2.5 ± 0.3b
p-HPEA	5.7 ± 0.8a	4.6 ± 0.2b	3.9 ± 0.2b	4.6 ± 0.4b
Vanilic acid	0.8 ± 0.1a	0.7 ± 0.1a	0.5 ± 0.1b	0.7 ± 0.1ab
3,4-DHPEA-EDA	702.2 ± 103.5a	849.8 ± 13.9a	636.6 ± 89.4a	823.5 ± 71.7a
p-HPEA-EDA	134.6 ± 17.9b	171.1 ± 3.9a	180.7 ± 12.0a	166.9 ± 7.0a
(+)-1-acetoxypinoresinol	47.0 ± 4.9a°	50.2 ± 1.9a	47.2 ± 4.0a	47.1 ± 0.8a
(+)-pinoresinol	21.4 ± 1.1c	27.5 ± 2.0b	31.9 ± 2.1a	24.8 ± 0.8bc
3,4-DHPEA-EA	281.2 ± 22.2b	359.2 ± 13.0a	319.8 ± 33.0ab	356.6 ± 33.3a
Ligstroside aglycone	25.5 ± 7.3a	28.3 ± 3.4a	22.8 ± 0.7a	27.8 ± 6.1a
<b>Total phenol</b>	<b>1222.2 ± 110.0b</b>	<b>1494.8 ± 23.7a</b>	<b>1245.4 ± 101.7b</b>	<b>1454.5 ± 86.3ab</b>

**Tableau 07 :** Teneur en aldéhydes (µg/kg) évalués dans les huiles d'olive (Leone et al., 2018)

	C	MW+MS	MW	MS
<i>aldehydes</i>				
Pentanal*	79 ± 37a	80 ± 64a	67 ± 10a	66 ± 16a
(E)-2-Pentenal	129 ± 14b	114 ± 7ab	94 ± 10a	116 ± 12ab
Hexanal	842 ± 63a	850 ± 71a	926 ± 120a	754 ± 131a
(E)-2-Hexenal	41606 ± 1781ab	44466 ± 3235ab	46913 ± 2634a	38954 ± 4552b
2,4-Hexadienal, (E,E)	227 ± 18b	291 ± 35b	376 ± 31a	240 ± 23b
2,4-Hexadienal, (i)	386 ± 27c	484 ± 46b	614 ± 41a	398 ± 54bc
<b>Sum of C<sub>5</sub> and C<sub>6</sub> aldehydes</b>	<b>43269 ± 1783ab</b>	<b>46285 ± 3237ab</b>	<b>48990 ± 2637a</b>	<b>40528 ± 4554b</b>

Ces résultats encouragent de nouveaux développements pour un conditionnement combiné micro-ondes et méga-sonique en continu technologie pour fixer l'extraction de l'huile d'olive, pour améliorer les rendements et le contenu phénolique total.

De plus, **Caponio et al. (2018)** ont appliqué des technologies innovantes expérimentalement au processus d'extraction de l'huile d'olive vierge (introduction des ultrasons, couplée à un échangeur de chaleur et aux micro-ondes) pour l'extraction d'huile d'olive vierge et ils ont étudié leurs impacts sur les caractéristiques volatiles et sensorielles du produit. L'introduction des ultrasons, couplée à un échangeur de chaleur et aux micro-ondes, ne semblait pas modifier le comportement des enzymes de la voie LOX, et les huiles d'olive vierges obtenues ont montré des caractéristiques volatiles et organoleptiques pas significativement différentes de celles obtenues par le processus traditionnel d'extraction de l'huile d'olive.

### **h. Ajout des extraits de feuilles d'olivier, des eaux usées du moulin à huile et de l'eau pendant la malaxation**

Une étude de **Kiritsakis et al., (2017)** a été réalisée pour déterminer l'effet de l'extrait aqueux de feuille d'olivier, des eaux usées du moulin à huile ou de l'ajout d'eau pendant l'étape de malaxation sur le contenu phénolique total, l'activité antioxydante, la composition de l'huile d'olive vierge et les paramètres de qualité d'huile d'olive.

L'utilisation de l'extrait aqueux de feuille d'olivier ou des eaux usées du moulin à huile a permis d'obtenir des huiles avec un contenu phénolique significatif plus élevé que celui malaxé avec de l'eau (146,2 et 151,8 contre 132,8  $\mu\text{g Eq GAE} / \text{g}$  d'huile, respectivement). L'activité antioxydante a suivi la même tendance. L'utilisation de l'extrait aqueux de feuille d'olivier ou des eaux usées du moulin à huile a permis un enrichissement en huile en dérivés d'oleuropéine, notamment en 3,4-DHPEA-EDA. Malgré le fait que l'acidité et l'oxydation (valeurs  $K_{270}$  et  $K_{232}$ ) étaient plus élevées dans les huiles susmentionnées par rapport à l'huile extraite avec de l'eau, toutes les valeurs étaient sous les paramètres de la Commission de l'Union européenne pour la dénomination de l'huile d'olive extra vierge. Cependant, seule l'huile extraite à l'aide d'extrait des feuilles d'olivier présentait des attributs positifs légèrement plus fruités, amers et piquants par rapport au témoin et à l'huile extraite avec de l'eau, faisant ainsi de l'extrait des feuilles d'olivier est un sous-produit prometteur pour l'amélioration des huiles d'olive.

### **II.2.1.2. Facteurs qui limitent la teneur des composés phénoliques**

#### **a. Eau**

La présence ou l'absence d'eau dans un procédé est le principal facteur responsable de la teneur finale de l'huile d'olive en composés phénoliques et donc de sa qualité nutritionnelle.



Cependant le fait de chercher à éliminer rapidement l'eau par centrifugation peut également présenter des inconvénients puisque cela provoque un déplacement de l'équilibre de partition des composés phénoliques entre la phase aqueuse et la phase lipidique. Une partie des composés phénoliques est ainsi retirée de l'huile et dilués dans l'eau ajoutée au système de production (Veillet, 2010).

### **b. Mode de broyage des olives**

Le second facteur influençant fortement la teneur finale en composés phénoliques est le mode de broyage des olives. Les systèmes de broyeurs à marteaux sont plus performants que les meules traditionnelles pour ce qui est d'extraire les composés phénoliques. Cela peut venir du fait que les procédés utilisés pour l'extraction de l'huile sont radicalement différents.

Dans le cas des meules de granit, le poids de la roue va écraser les olives et donc déformer la structure cellulaire et sortir une partie de l'huile de cet amas cellulaire par exsudation. La rotation de ces roues de granit va également provoquer un déchirement de la structure cellulaire qui va également permettre la libération d'une certaine quantité d'huile. Outre le fait de libérer de plus faibles quantités de composés phénoliques, cette technique d'écrasement et de déchirement provoque la rétention d'une partie de l'huile d'olive dans les amas cellulaires, ce qui explique les rendements généralement plus faibles observés par ce type de procédé.

Dans les systèmes à marteaux, la vitesse de rotation des bras métalliques et leurs arêtes vives vont éclater les olives et des fragments de plus petite taille et des coupes franches au niveau de la structure cellulaire. Cela facilite la libération de l'huile d'olive et induit de meilleurs rendements de production.

Le broyage plus fin de la chair des olives augmente également la libération des composés phénoliques de la structure cellulaire et donc leur présence dans l'huile. Ces deux premières observations posaient un problème technologique puisque les moulins étaient équipés soit d'un système de broyage à meules traditionnelles qui pouvait permettre une décantation gravitationnelle en fin de procédé, soit d'un système de broyeurs à marteaux mais suivi d'un séparateur à trois phases et d'une centrifugeuse verticale.

Dans le premier système le facteur limitant pour l'optimisation de la teneur en composés phénoliques était le broyage, dans le second c'était la centrifugation finale. Le dernier système

développé à grande échelle met en jeu un nouveau type de séparateur à deux phases. De plus en plus de moulins s'équipent avec ce type de centrifugeuse pour diverses raisons :

- Tout d'abord parce que l'encombrement est limité donc le moulinier n'a pas besoin de beaucoup d'espace pour utiliser ce type d'appareil
- un système à deux phases possède l'avantage de supprimer une des étapes du procédé (la centrifugation verticale), ce qui réduit l'achat de matériel et donc d'autant le risque de problèmes liés à une panne éventuelle de ces machines
- ce système utilise moins d'eau, ce qui a deux conséquences : moindre coût de fonctionnement et réduction des volumes de coproduits (grignons et margines)

Le principal frein au développement de ce système à plus grande échelle se situe au niveau de la productivité de la technique par rapport aux systèmes à trois phases. En effet, le séparateur tournant moins rapidement dans le système à deux phases, la séparation met plus de temps à se réaliser et le débit horaire d'olives traitées se retrouve réduit. L'autre frein peut être la difficulté de réglage de l'appareil afin de conserver de bons rendements sans avoir des margines dans l'huile (Veillet, 2010).

### II.2.2. Enrichissement exogène

L'enrichissement post récolte de l'huile permet tout d'abord d'élargir la gamme de produits disponibles sur le marché, mais elle est surtout intéressante pour le secteur oléicole car il aboutit à la création de produits à forte valeur ajoutée.

Les techniques conventionnelles d'extraction ou d'isolation de composés chimiques de matrices végétales présentent souvent des contraintes telles que celles des faibles rendements, des temps d'extraction très longs, l'utilisation de grandes quantités de solvants. Ces dernières années de nombreuses techniques alternatives ayant pour but de pallier à ces problèmes se sont développés. Parmi elles émergent les micro-ondes, les fluides supercritiques ou les ultrasons. Les contraintes écologiques et l'émergence de la sécurité alimentaire et industrielle, incitent les professionnels à découvrir de nouvelles applications aux technologies innovantes. Toutes visent une performance accrue et un meilleur respect de l'environnement (Veillet, 2010).

### II.3. Techniques d'enrichissement

#### II.3.1. Techniques conventionnelles d'enrichissement

Il existe quatre manières conventionnelles d'enrichir huiles comestibles par l'ajout de composés bioactifs extrait de plantes (**Chemat et al., 2012**).

##### II.3.1.1. Infusion

La perfusion, également appelée macération et extraction solide-liquide (**Moldao-Martins et al., 2004**). La macération est la méthode d'extraction solide-liquide la plus simple (**Grigoras, 2012**), cette méthode a été utilisée longtemps pour aromatiser différents types d'aliments, des boissons alcoolisées ainsi que de l'huile d'olive par exemple (**Reboredo-Rodriguez et al., 2017**).

###### a. Principe

Elle consiste en la mise en contact du matériel végétal avec le solvant avec ou sans agitation, à température ambiante ou à température élevée pour une durée déterminée. Cette technique est basée sur la solubilité de composés bioactifs dans un solvant d'extraction et elle est influencée par une série de facteurs incluant la nature du matériel végétal, la concentration en solutés de l'échantillon, la nature du solvant, la durée d'extraction etc. Après une étape de diffusion du solvant à l'intérieur des cellules végétales, le processus continue avec la solubilisation de composés bioactifs qui vont migrer de la matrice végétale vers le solvant environnant jusqu'à ce que l'équilibre de partage de concentration soit atteint (**Grigoras, 2012**).

Elle est généralement réalisée sous agitation à température ambiante ou réchauffement jusqu'à 40–60 °C, pendant une période de plusieurs heures jusqu'à quelques jours ou même plus d'un mois. Le mélange aromatisé final doit être filtré afin d'éliminer les traces de feuilles ou d'herbes de l'huile (**Reboredo-Rodriguez et al., 2017**).

###### b. Avantages et inconvénients

Avec cette méthode, la stabilité des composés fonctionnels sont préservés et les propriétés saines des huiles comestibles fonctionnelles sont améliorées

Ce type d'aromatisation conventionnelle nécessite un temps long pour permettre l'extraction des composés, à la fois aromatisants et / ou bioactifs, dans la phase huileuse (**Reboredo-Rodriguez et al., 2017**).

### II.3.1.2. Extraction et enrichissement

Le protocole d'enrichissement des huiles comestibles par extraction implique deux étapes principales :

- l'extraction des composés cibles de la matière première, par exemple des herbes ou des feuilles d'olivier.
- l'enrichissement de l'huile avec l'extrait obtenu.

#### a. Extraction liquide-solide avec un solvant

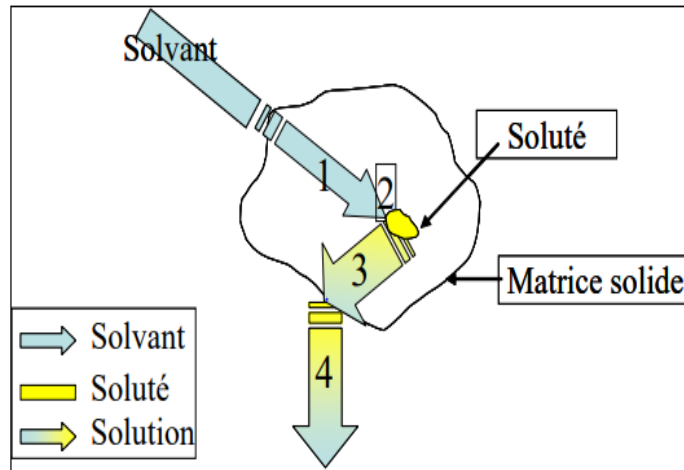
##### • Principe

La technique d'extraction « classique » par solvant, consiste à placer dans un extracteur un solvant volatil et la matière végétale à traiter (**Lucchesi, 2005**). C'est une extraction liquide-solide à l'éthanol, ou éthanol : eau (généralement de 70/30 à 80/20 V/V), une petite acidification (c'est-à-dire 0,1% d'acide formique) peut également être nécessaire (**Reboredo-Rodriguez et al., 2017**).

Grâce à des lavages successifs, le solvant va se charger en molécules aromatiques, avant d'être envoyé au concentrateur pour y être distillé à pression atmosphérique (**Lucchesi, 2005**).

Sans postule les ultrasons ou micro-ondes, une période de 12 à 24 h sous agitation dans l'obscurité peut être nécessaire pour effectuer l'extraction. Après extraction, la suspension doit être centrifugée ou filtrée et enfin concentrée plusieurs fois ou à sec, dans un évaporateur rotatif à basse température (35–40 °C) pour éviter l'altération chimique des composés bioactifs avec perte de leurs propriétés. L'enrichissement est ensuite réalisé en mettant en contact une aliquote de l'extrait éthanoïque concentré correspondant avec une certaine quantité d'huile ; et l'éthanol doit être évaporé dans l'évaporateur rotatif à 30 °C.

Enfin, le mélange est agité dans un agitateur électrique pour favoriser l'enrichissement ou le transfert de matière (Figure 15) (**Reboredo-Rodriguez et al., 2017**).



**Figure 15 :** Schéma des principales étapes ayant lieu lors de l'opération d'extraction solide-liquide (Amor, 2008).

- **Avantages et inconvénients**

Les rendements sont généralement plus importants par rapport à la distillation et cette technique évite l'action hydrolysante de l'eau ou de la vapeur d'eau (Lucchesi, 2005). Cette deuxième technique pose différents problèmes tels que l'utilisation des solvants pétroliers, la longue durée d'extraction (2–3 h), la température d'extraction (souvent réalisée dans un système de reflux), l'élimination du solvant par évaporation et la purification de l'extrait (Veillet *et al.*, 2010 ; Chemat *et al.*, 2012).

L'intervention de solvants organiques peut entraîner des risques d'artéfacts et des possibilités de contamination de l'échantillon par des impuretés parfois difficile à éliminer (Lucchesi, 2005).

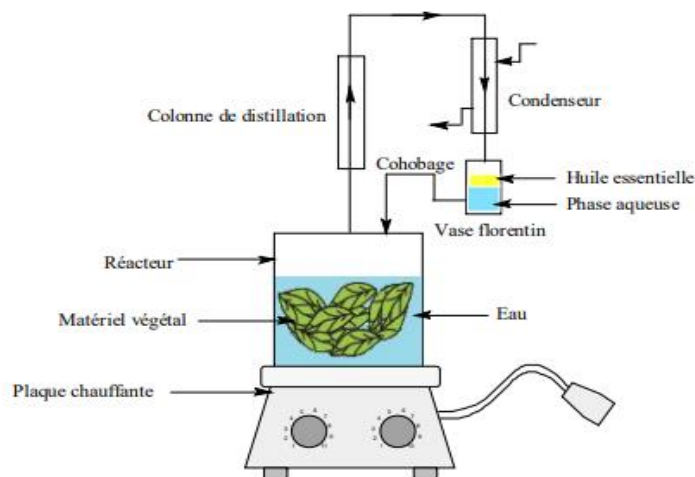
Les solvants employés sont en effet dangereux pour l'homme et/ou pour l'environnement. Ainsi, l'innocuité des produits extraits grâce à cette technique n'étant pas garantie. Le benzène, autrefois couramment utilisé, est aujourd'hui interdit en raison de ses effets néfastes pour l'homme. Il est remplacé par l'hexane qui présente néanmoins encore beaucoup de risques (Besombes, 2008).

#### **b. Extraction par hydro distillation**

Une autre façon d'extraire l'huile essentielle des feuilles, des fleurs ou des herbes est l'utilisation de l'hydro distillation, utilisant un appareil de type Cl venger pour produire l'huile essentiel correspondant (c'est-à-dire hydro distillation pendant 2 h ; avec l'huile ensuite conservée dans un ballon sombre à -18 ° C) (Reboredo-Rodriguez *et al.*, 2017).

### • Principe

Le procédé consiste à immerger la matière première végétale dans un bain d'eau. L'ensemble est ensuite porté à ébullition généralement à pression atmosphérique. La chaleur permet l'éclatement et la libération des molécules odorantes contenues dans les cellules végétales. Ces molécules aromatiques forment avec la vapeur d'eau, un mélange azéotropique. Sachant que la température d'ébullition d'un mélange est atteinte lorsque la somme des tensions de vapeur de chacun des constituants est égale à la pression d'évaporation, elle est donc inférieure à chacun des points d'ébullition des substances pures. Ainsi le mélange azéotropique « eau + huile essentielle » distille à une température égale 100°C à pression atmosphérique alors que les températures d'ébullition des composés aromatiques sont pour la plupart très élevées. Il est ensuite refroidi et condensé dans un essencier ou vase florentin. Une fois condensées, eau et molécules aromatiques du fait de leurs différences de densité, se séparent en une phase aqueuse et une phase organique : l'huile essentielle (Figure 16) (Lucchesi, 2005).



**Figure 16 :** Hydro distillation traditionnelle (Lucchesi, 2005).

### • Avantages et inconvénients

L'avantage de cette technique réside en l'abaissement de la température de distillation, les composés sont donc entraînés à des températures beaucoup plus basses que leur température d'ébullition, ce qui évite leur décomposition (Penchev, 2010). Ce processus consomme de grandes quantités d'eau (générer la vapeur et refroidir le système) (Chemat, 2012).

La matrice végétale est bouillie donc il pourrait y avoir des dommages thermiques surtout avec une longue procédure (2–4 h) (Veillet et al., 2010).

### II.3.1.3. Extraction par solvant pressurisé

L'extraction par solvant pressurisé est utilisée pour l'extraction de différents composés bioactifs de différents matériels végétaux tels que les caroténoïdes des aliments ou les antioxydants de micro algues (Grigoras, 2012).

#### a. Principe

C'est une technique d'extraction solide-liquide qui utilise les mêmes solvants que la macération mais à des pressions élevées (100 – 140 ATM) ce qui permet de maintenir le solvant à l'état liquide à des températures supérieures à son point d'ébullition (50 – 200°C) (Michel, 2011), (Grigoras, 2012). L'application de hautes températures et pressions entraîne une augmentation de la vitesse d'extraction et de la diffusivité du solvant dans la matrice biologique (M'Hiri, 2015).

Dans ces conditions, le solvant présente des propriétés favorisant le processus d'extraction telles qu'une viscosité réduite, des coefficients de diffusion élevés conduisant à de bonnes cinétiques de dissolution et favorisant la désorption de solutés de la matrice végétale (Grigoras, 2012). L'augmentation de la température diminue la viscosité des solvants permettant une meilleure pénétration dans la matrice solide et des interactions solvants-matrices-molécules plus faibles. De plus, les taux de diffusion deviennent plus rapides à température élevée ce qui diminue le temps d'extraction. La pression force le solvant à passer à travers les pores de la matrice et ainsi atteindre des composés jusqu'ici inaccessibles (Michel, 2011).

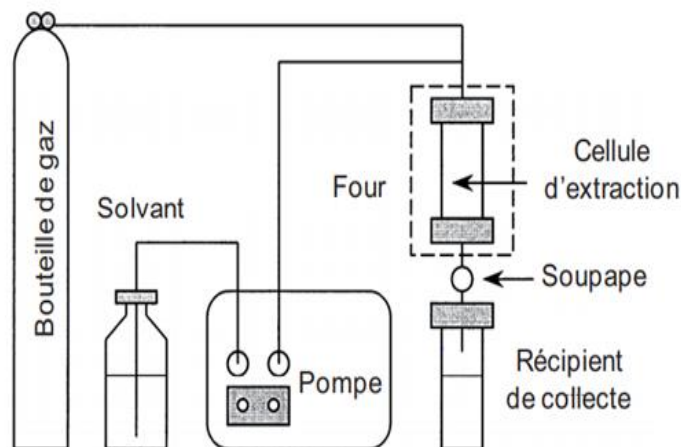


Figure 17 : Schéma d'un système d'extraction par solvant pressurisé (Grigoras, 2012).

### b. Protocole d'extraction

L'échantillon solide est introduit dans une cellule d'extraction en acier qui est ensuite placée dans un four et remplie avec le solvant d'extraction. Afin d'éviter la surpression, une valve statique s'ouvre et se ferme automatiquement si la pression dépasse la limite pré établie. Le solvant qui s'échappe est collecté dans un récipient. Les cycles d'extraction statique peuvent être répétés plusieurs fois afin d'optimiser l'extraction et sont suivis par un rinçage au solvant frais afin de nettoyer la cellule. Tout l'extrait est purgé avec du gaz comprimé, en général azote, dans le récipient de collecte (Figure 17) (Grigoras, 2012).

Les deux principales raisons pour justifier l'amélioration de l'extraction par utilisation de solvants pressurisés par rapport aux autres techniques existantes sont :

#### - l'effet de la solubilité et du transfert de matière

- ✓ L'utilisation de températures élevées augmente la capacité des solvants à solubiliser les solutés.
- ✓ L'augmentation de la température d'extraction conduit à des taux de diffusion plus importants.
- ✓ L'apport de solvant frais augmente le gradient de concentration entre la solution de la cellule d'extraction et la surface de la matrice végétale en améliorant le transfert de matière et le rendement d'extraction.

#### - les perturbations des équilibres de surface

##### ✚ Dues à l'effet de la température

- ✓ Les températures élevées peuvent détruire les fortes interactions (liaisons hydrogènes) existant entre les solutés et la matrice.
- ✓ Les températures élevées diminuent la viscosité du solvant (lui permettant une meilleure pénétration dans les cellules de la matrice végétale) et diminuent la tension de surface du solvant, des solutés et de la matrice en assurant un meilleur contact de solutés avec le solvant ;

##### ✚ Dues à l'effet de la pression

Si les pressions utilisées sont assez importantes le solvant peut atteindre des températures supérieures à la température d'ébullition. À cause de la pression, le solvant pénètre plus facilement la matrice végétale en assurant le contact avec des solutés qui dans des conditions



atmosphériques ne peuvent pas être contactés. Le solvant pressurisé assure un contact plus rapide avec les solutés.

### c. Avantages et inconvénients

L'extraction par fluide pressurisé implique une grande diminution de la quantité de solvant et du temps d'extraction (**Amor, 2008**), et il en résulte une faible dégradation oxydative des flavonoïdes car le processus se déroule en absence d'oxygène et à l'abri de la lumière (**M'Hiri, 2015**).

Ses inconvénients sont liés à son non sélectivité, ce qui impose des procédures supplémentaires de nettoyage des extraits (**Penchev, 2010**). L'utilisation de températures d'extraction élevées peut entraîner la dégradation des composés thermolabiles (**M'Hiri, 2015**).

### II.3.1.4. Co-traitement

#### a. Principe

Une méthode innovante à peine connue est le co-traitement, basé sur l'addition d'herbes ou d'autres matières végétales à la pâte d'olive broyée avant l'étape de malaxage ou pendant le fraisage, qui peut être mis en œuvre par l'utilisation d'ultrasons avant la malaxation de pâte d'olive.

Dans l'une de ces études, les olives Cornicabra ont été co-transformées sous contrôle plusieurs fruits (pomme, citron et orange), épices (romarin, thym, basilic et origan) ou des feuilles (fusée) dans le système de laboratoire Abencor (Abengoa S.A., Séville, Espagne) pour obtenir nouveaux produits à base de l'huile d'olive.

Les résultats obtenus ont montré que la méthode de malaxation était plus efficace dans l'extraction des composés phénoliques, avec un niveau d'hydrolyse nettement inférieur des secoiridoïdes (**Reboredo-Rodriguez et al., 2017**). De plus, lorsque le traitement ultra-sons était appliqué, la polyphénoloxydase de l'olive – l'enzyme endogène responsable de l'oxydation du phénol de l'huile d'olive a été inhibée. En conséquence l'activité antioxydante était significativement plus élevée par rapport aux huiles obtenues par infusion (**Clodoveo et al., 2016**).

De plus, le co-traitement permet de produire des huiles prêtes à être vendues, mais les huiles infusées doivent être filtrées. La co-transformation des olives avec des agrumes et / ou des zestes a donné lieu à la présence d'un nouveau composé phénoliques dans l'huile d'olive enrichie, cependant, en raison de leur polarité, les composés phénoliques d'agrumes incorporés dans l'huile n'étaient pas les principaux dans les agrumes respectifs (**Reboredo-Rodriguez et al., 2017**).

### II.3.2. Techniques alternatives

Le développement de nouvelles méthodes d'extraction est l'un des enjeux majeurs de l'innovation technologique vers la direction de la «chimie verte». Parmi eux, l'extraction assistée par ultrasons (EAU) et l'extraction assistée par micro-ondes (MAE) sont particulièrement attractif en raison de leur simplicité, de leur faible coût d'équipement, de leur efficacité dans l'extraction des analytes à partir de matrices différentes et l'exigence de faible énergie, quantité réduite de solvant et / ou temps consommation, par rapport aux méthodes d'extraction conventionnelles, qui présentent plusieurs inconvénients, comme l'utilisation de solvants volatils et dangereux, le long temps d'extraction et plus de récupération d'énergie (**Bouaoudia-Madi et al., 2019**).

#### II.3.2.1. Extraction assistée par ultrasons

Un autre mode d'extraction de solutés à partir de différentes matrices végétales dans un temps court est l'extraction assistée par ultrasons (**Grigoras, 2012**). La méthode des EAU a été utilisée pour extraire plusieurs antioxydants de la matrice végétale. La technique des ultrasons est utilisée pour extraire composés de plantes en raison de ses ondes ultrasonores à haute fréquence. Les ondes induisent une contraction et les cycles d'expansion et provoquer la cavitation, brisant ainsi les parois cellulaires des plantes et aidant l'infiltration du solvant. Le taux d'extraction et le rendement des EAU sont influencés par un certain nombre de facteurs, y compris la concentration de solvant ; rapport solvant / matériau ; temps d'ultrason cation, température, puissance ; etc (**Zhou et al., 2017**).

##### a. Définition des ultrasons

Les ultrasons sont des ondes mécaniques capables de se propager dans un milieu élastique. (**veillet et al., 2010**), qui ayant une fréquence supérieure à celle audible par les êtres humains

(16 kHz) (Figure 18), ce qui peut assurer une meilleure pénétration du solvant dans le matériel végétal et améliorer le transfert de matière (Grigoras, 2012).

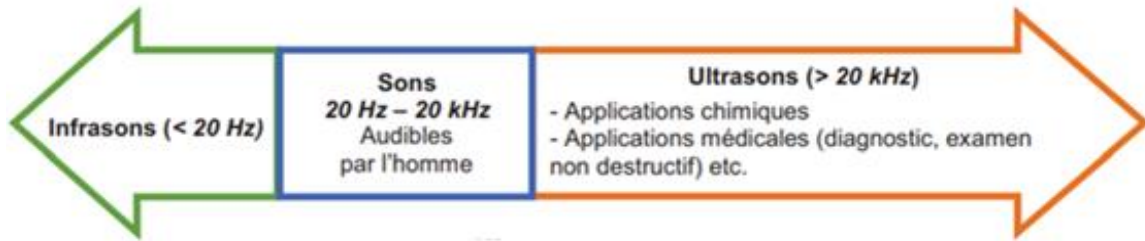


Figure 18 : Fréquences des ondes sonores et leur application (Zhou et al., 2017).

### b. Principe

Dans un milieu liquide, la propagation des ondes va générer des cycles successifs de compression (haute pression) et de raréfaction (basse pression) (Wang et Weller, 2006). Cette différence de pression va générer des mouvements moléculaires au sein du milieu. Lors d'un cycle de raréfaction la distance entre molécules est augmentée et au-dessus d'une certaine distance, dépendant de chaque milieu, des bulles de cavitations vont se former (Figure 19). Ces bulles vont croître pendant les phases de raréfaction et diminuer pendant les phases de compression. La répétition de ces cycles va conduire à l'implosion des bulles de cavitation, libérant ainsi une grande quantité d'énergie (Michel, 2011).

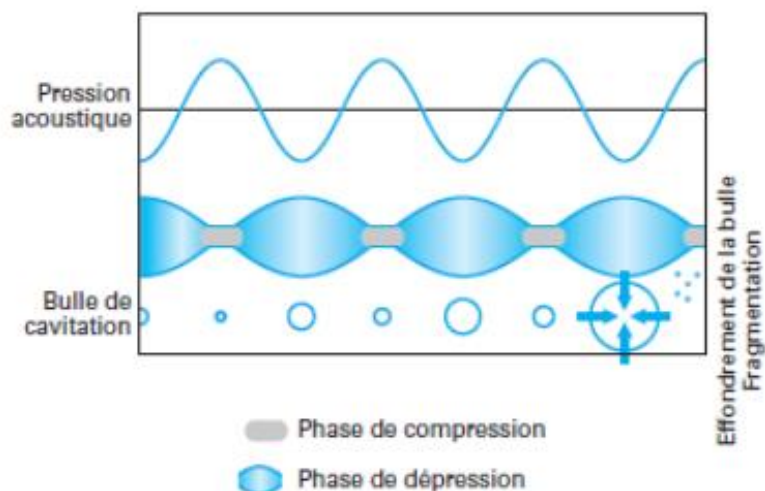


Figure 19 : Représentation schématique de la croissance et de l'implosion d'une bulle de cavitation (Michel, 2011).

Lorsque les bulles de cavitation sont formées à proximité d'une surface solide (comme matrice végétale) elles deviennent asymétriques (Figure 20), et l'implosion qui en résulte produit des jets de liquide projetés à très grande vitesse vers la surface du solide, ainsi qu'une augmentation locale de la température et de la pression (Michel, 2011). Un micro-jet est dirigé vers le matériel et est suffisamment solide pour briser les parois cellulaires et permettre ainsi la libération des molécules dans le milieu liquide (Grigoras, 2012).



**Figure 20 :** Evolution d'une bulle de cavitation à proximité d'une surface solide (Michel, 2011).

### c. Avantages et inconvénients

Les EAU sont l'une des extractions les plus efficaces méthodes, et c'est une méthode simple, rapide et peu coûteuse (Zhou et al., 2017). Tous les résultats obtenus ont montré soit de meilleurs rendements, soit une meilleure qualité de l'extrait et / ou des temps d'extraction plus courts (veillet et al., 2010).

La méthode d'enrichissement est effectuée à température ambiante et sans solvant organique ; ainsi, les propriétés saines des huiles comestibles ; améliorent, tout comme leur qualité (Japón-Luján et al., 2008). La méthode des UAE facilite l'extraction des composés mineurs. Les coûts de l'équipement sont inférieurs à ceux des autres technologies émergentes : acquisition et de maintenance d'une source ultrasonore et son application dans un système dynamique rendent souhaitable la mise en œuvre industrielle du procédé proposé.

Les ultrasons améliorent l'efficacité d'extraction et le taux d'extraction, avec des incréments modérés de température (Clodoveo, 2019). Les effets induits par les ultrasons sur les produits alimentaires en général et plus particulièrement sur les matières alimentaires riches en lipides sont présentés, mettant en évidence la dégradation de certains composés et les modifications des paramètres physico-chimiques des produits alimentaires. Les effets physico-chimiques du traitement par ultrasons peuvent entraîner également des dégradations de la qualité des produits alimentaires par apparition de mauvais goût, modifications des paramètres physiques et dégradation des composés majeurs et mineurs. En raison de la critique les conditions de

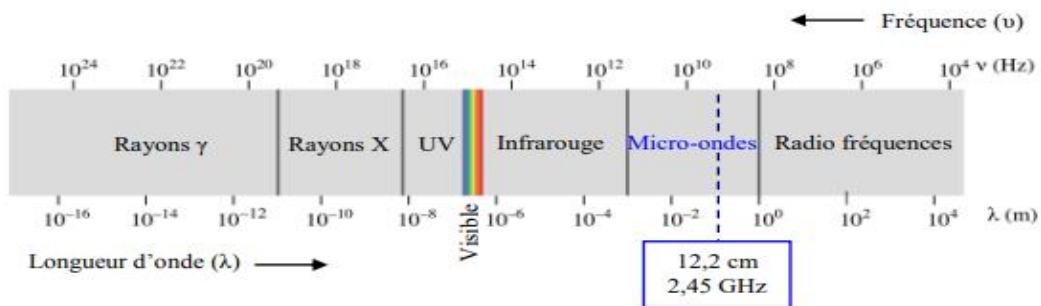
température et de pression, associées à la formation de radicaux lors de la sono cavitation, certaines altérations des composants alimentaires ont été rapportées lors du traitement par ultrasons.

1. modification de la couleur
2. modification des antioxydants
3. modification des polysaccharides (Pingret et al., 2013).

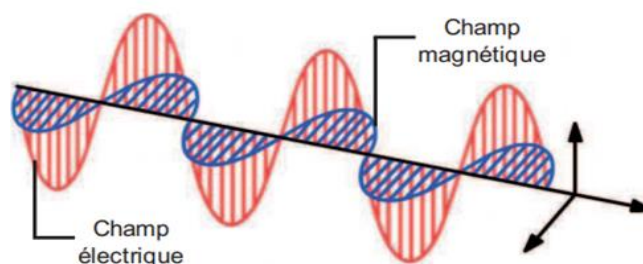
### II.3.2.2. Extraction assistée par microondes

#### a. Définition

Les rayonnements micro-ondes sont des ondes électromagnétiques qui se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière. Elles sont caractérisées par une fréquence comprise entre 300 MHz et 300 GHz (Figure 21), c'est-à-dire par une longueur d'onde comprise entre 1 m et 1 cm sur le spectre électromagnétique, elles sont situées entre les radiofréquences et les infrarouges, la fréquence de 2450 Mhz ( $\lambda=12.2$  cm) est généralement utilisée (Figure 22) (Kheribeche, 2008).



**Figure 21** : Représentation du spectre électromagnétique et positionnement des micro-ondes domestiques (Michel, 2011).



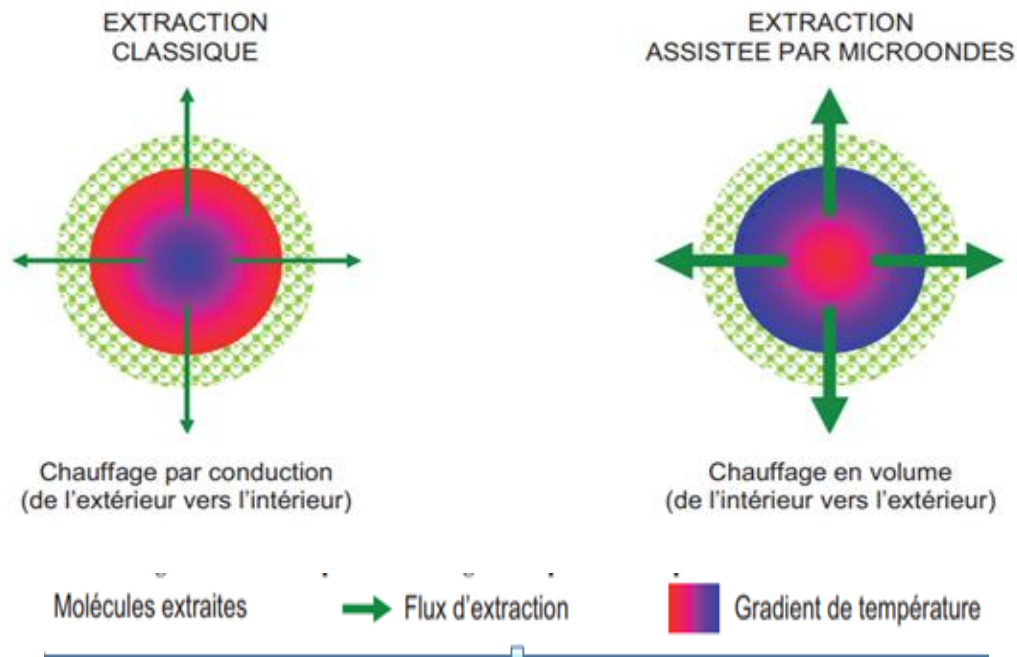
**Figure 22** : représentation graphique d'un champ électromagnétique (Grigoras, 2012).

### b. Principe

L'extraction par solvant assistée par micro-ondes (MAE) consiste à traiter sous micro-ondes un solide sec ou humide, en contact avec un solvant partiellement ou totalement transparent aux micro-ondes. Les micro-ondes permettent d'accélérer la cinétique d'extraction et de réduire le rapport/solvant/charge. Un paramétrage adapté conduit, pour des durées d'extraction de l'ordre de la minute, à des rendements ordinairement obtenus en 30 à 60 min. cette mise en œuvre extrêmement courte préserve les composés les plus thermolabiles (acides gras polyinsaturés, caroténoïdes, chlorophylles par exemple des réactions de dégradations traditionnelles. De plus, en raison de la rapidité du procédé, on observe parfois une augmentation de la sélectivité de l'extraction par rapport à la méthode traditionnelle (**Kheribeche, 2008**).

Une extraction typique la procédure prend 15 à 30 min et utilise de petits volumes de solvant compris entre 10 et 30 ml. Ces volumes sont environ 10 fois plus petits que les volumes utilisés par les techniques ; extraction conventionnelles (**Eskilsson Björklund, 2000**).

Dans le cas de l'extraction conventionnelle, au moment du chauffage, l'énergie thermique est transférée de l'extérieur vers l'intérieur de l'échantillon par conduction et convection alors que lors de l'extraction assistée par microondes le chauffage se fait en volume de l'intérieur vers l'extérieur (Figure 23). Dans l'extraction assistée par microondes les ondes électromagnétiques pénètrent dans l'échantillon et l'énergie est transformée en chaleur par deux mécanismes : la conduction ionique et la rotation de dipôles. La conduction ionique implique le mouvement des ions d'une solution sous l'action d'un champ électromagnétique. Les frictions entre la solution et les ions génèrent de la chaleur. Le deuxième mécanisme est basé sur le fait que les molécules polaires (telles que l'eau, le méthanol, l'éthanol etc.) sont dipolaires et présentent des extrémités positives et négatives. Cette chaleur conduit à une augmentation importante de la température à l'intérieur du solvant d'extraction et/ou à l'intérieur du matériel végétal en provoquant une surpression interne et conduisant finalement à la rupture de cellules. Les solutés se trouvant à l'intérieur de cellules peuvent migrer facilement vers l'extérieur et peuvent soit constituer directement l'extrait (**Grigoros, 2012**).



**Figure 23** : principes du chauffage classique et assisté par micro-ondes (Grigoras, 2012).

### c. Avantages et inconvénients

C'est une technologie verte, économie d'énergie et de temps, investissement initial réduit et dégradations thermiques et hydrolytiques minimisées (Boukhatem et al., 2019), elle a la capacité de chauffer rapidement le mélange de solvant échantillon (Eskilsson et Björklund, 2000). Elle permet un rendement d'extraction accru pour les composantes plus volatiles qui nécessitent normalement des méthodes d'extraction spéciales et distinctes (Paré et al., 1990).

L'extraction assistée par micro-ondes offre des avantages comme la meilleure stabilité des produits, l'augmentation de la pureté des extraits bruts, la possibilité d'utiliser les solvants moins toxiques, la réduction de la consommation de solvant, ce qui permet de diminuer l'impact sur l'environnement. Aussi d'un point de vue économique, l'extraction assistée par micro-ondes est réalisable car elle nécessite un cout modéré de l'installation d'équipements, beaucoup moins cher par rapport aux autres méthodes d'extraction conventionnelles et récentes

Cependant, l'extraction assistée par micro-ondes présente quelques inconvénients et des limites liées à sa faible sélectivité car elle est fortement dépendante de la nature du solvant (les solvants non polaires n'absorbent pas les micro-ondes) et de la température d'extraction malgré les inconvénients associés à l'extraction assistée par micro-ondes, ses avantages sont considérables (Chenni, 2016).

## ***Chapitre III :***

# ***L'effet d'enrichissement sur la qualité d'huile d'olive***



### III. L'effet d'enrichissement sur la qualité d'huile d'olive

Une question que se pose différents chercheurs : est-ce que l'huile d'olive enrichie présente une meilleure qualité et plus d'activités biologiques que l'huile non enrichie ?

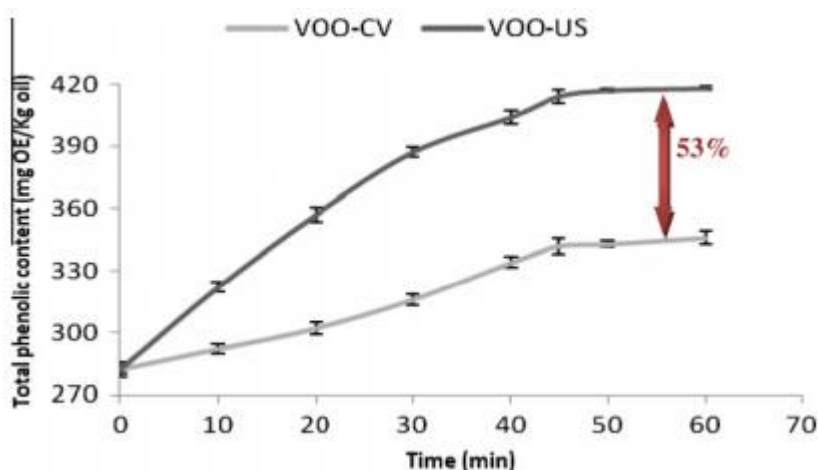
#### III.1. Effet sur la qualité, l'activité antioxydante et la stabilité oxydative

**Achat et al. (2012)** ont étudiés la possibilité d'améliorer la valeur nutritionnelle de l'huile d'olive en l'enrichissant en composés phénoliques de feuilles d'olivier (par exemple, oleuropéine) par macération ultrasonique. Le contenu phénolique total élevé ( $414,3 \pm 3,2$  mg d'équivalent oleuropéine / kg d'huile), les concentrations d'oleuropéine ( $111,0 \pm 2,2$  mg / kg d'huile) et d' $\alpha$ -tocophérol ( $55,0 \pm 2,1$  g / kg d'huile) obtenues par l'extraction assistée par ultrasons (EAU) a prouvé l'efficacité de ce procédé par rapport à l'extraction conventionnelle solide-liquide. L'huile d'olive enrichie en composés phénoliques par les ultra-sons a montré une capacité de piégeage des radicaux plus élevée et une stabilité améliorée à la dégradation thermique et à l'autoxydation (DPPH et tests de chauffage) qui peuvent être attribuées à des concentrations plus élevées d'oleuropéine et d' $\alpha$ -tocophérol (Tableau 08). En conclusion, ce travail suggère que l'extraction assistée par ultrasons des composés phénoliques à partir de feuilles d'olivier peut être un processus viable pour améliorer la stabilité et la qualité nutritionnelle de l'huile d'olive avec peu d'impact sur les qualités sensorielles (Figure 24).

**Tableau 08 :** Caractérisation d'huile d'olive vierge, huile d'olive vierge enrichie selon la méthode conventionnelle, huile d'olive vierge enrichie par ultrasons. (Achat et al., 2012)

	VOO	VOO-CV	VOO-US
<i>TPC (mg O/kg oil)</i>	282.0 ± 1.7	342.5 ± 1.5	414.3 ± 3.2
<i>Phenols (mg/kg oil)</i>			
Oleuropein	ND	50.7 ± 1.7	111.0 ± 2.2
Tyrosol	31.7 ± 0.3	29.1 ± 0.2	25.5 ± 0.1
Hydroxytyrosol	58.7 ± 0.2	55.7 ± 0.7	52.4 ± 0.5
<i>Antioxidant capacity</i>			
RSA (%)	52.9 ± 0.9	65.0 ± 0.8	86.2 ± 0.2
EC <sub>50</sub> (µg/mL)	109.4 ± 0.09	97.43 ± 0.04	81.34 ± 0.01
ARP (1/EC <sub>50</sub> )	09.1 ± 0.4	10.3 ± 0.5	12.3 ± 0.3
<i>α-Tocopherol content (g/kg of oil)</i>	43.0 ± 0.2	46.5 ± 1.2	55.0 ± 2.1
<i>TPM (%)</i>			
Before frying	4.25 ± 0.28	4.16 ± 0.20	4.08 ± 0.08
Frying time for 25% TPM (h)	6.9 ± 0.1	10.1 ± 0.1	12.6 ± 0.1
<i>Sensory analysis</i>			
Overall acceptability	4	3	3
Bitterness	1	2	4
<i>Lab test</i>			
L*	58.8 ± 0.2	51.6 ± 0.1	37.1 ± 0.1
h <sub>ab</sub>	89.9°	137.0°	148.4°

**TCP :** Contenu phénolique total, **RSA :** Activité de récupération radicale, **TPM :** Matériaux polaires totaux, **ARP :** pouvoir antiradical, **CE<sub>50</sub> :** estimation de l'activité antioxydante en DPPH



**Figure 24** : Comparaison du contenu phénolique total d'huile d'olive vierge enrichie par les ultrasons et par la méthode conventionnelle (Achat *et al.*, 2012)

L'étude de **Rubio *et al.* (2012)** était de développer un nouveau produit basé sur l'enrichissement en phénol d'une huile d'olive vierge avec ses propres composés phénoliques (dérivés sécoiridoïdes) et des phénols de thym (flavonoïdes). L'effet de l'ajout d'extraits phénoliques (tourteau et thym) sur la composition phénolique, stabilité oxydative, activité antioxydante et attribut sensoriel amer des huiles d'olive ont été étudié. Onze extraits phénoliques ont été préparés à partir de tourteaux d'olive lyophilisés et thym séché dans des proportions différentes (variaient de 100% tourteaux d'olive à 100% thym).

Les résultats ont montré que dans tous les échantillons d'huile d'olive, l'enrichissement en phénols a produit une augmentation significative de la stabilité à l'oxydation par rapport à l'huile de contrôle, indiquant que les deux sources phénoliques sont capables d'améliorer la stabilité à l'oxydation et la capacité d'absorption des radicaux libres. Nous concluons que l'huile d'olive enrichie optimale avec la composition phénolique la plus équilibrée semble être avec l'échantillon préparé avec un extrait phénolique obtenu avec 60% d'olive et 40% de thym, qui fournit la plus grande quantité de dérivés secoiridoïdes et de flavonoïdes.

Selon les résultats, l'huile d'olive enrichie avec une forte proportion de thym fournira une quantité importante de flavonoïdes, dont il a été démontré qu'ils ont de multiples effets positifs sur la santé humaine. Cette étude a révélé que travailler avec des extraits au lieu d'infusions, comme cela est traditionnel lors de la préparation d'huiles d'olive aromatisées, permet de

développer une huile d'olive enrichie en phénols et assaisonnée avec exactement la quantité de phénols requise, ce qui est un facteur important lorsqu'un aliment fonctionnel est produit.

Dans le travail de **Soussa et al. (2015)**, différentes épices (ail, piments forts, laurier, origan et poivre) couramment utilisés dans la cuisine méditerranéenne ont été ajoutés aux huiles d'olive (Tableau 09).

Les résultats montrent que l'ajout d'herbes et d'épices n'affectait pas la qualité des huiles d'olive, à l'exception de l'ail frais qui augmente les valeurs d'acidité libre (de 0,6 à 0,8%), mais les indices de qualité restants n'ont pas été affectés négativement (Tableau 10). Le profil des acides gras a changé mais les valeurs sont restées sous les limites des huiles d'olive extra-vierges (Tableau 11). Les huiles d'olive ont été enrichies sur le plan nutritionnel en raison de l'augmentation de la vitamine E, principalement dans les huiles aromatisées au piment fort (198,6 mg / kg). Les propriétés antioxydantes ont également été influencées. La teneur en phénols totaux a diminué dans toutes les huiles d'olive aromatisées (Témoin avec 345,7 mg CAE / kg ; origan 293,8 mg CAE / kg) mais la capacité à contrer l'oxydation a été généralement améliorée (témoin avec 9,4 h et origan avec 10,4 h) (Tableau 12).

**Tableau 09** : Paramètres de qualité, analyse sensorielle, composition, bioactivité et stabilité de l'huile d'olive avant l'ajout de différentes épices (**Soussa et al., 2015**).

FA (%)	0.6 ± 0.0	C <sub>16:0</sub>	10.49 ± 0.23
PV (meq. O <sub>2</sub> /kg)	2.8 ± 0.3	C <sub>16:1</sub>	0.66 ± 0.03
K <sub>232</sub>	2.10 ± 0.08	C <sub>17:0</sub>	0.14 ± 0.02
K <sub>270</sub>	0.13 ± 0.00	C <sub>17:1</sub>	0.21 ± 0.02
ΔK	-0.004 ± 0.001	C <sub>18:0</sub>	2.75 ± 0.06
α-Tocopherol (mg/kg)	184 ± 0.4	C <sub>18:1</sub>	74.45 ± 0.25
α-Tocotrienol (mg/kg)	n. d.	C <sub>18:2</sub>	9.58 ± 0.11
β-Tocopherol (mg/kg)	0.9 ± 0.1	C <sub>20:0</sub>	0.41 ± 0.03
γ-Tocopherol (mg/kg)	4.0 ± 0.1	C <sub>20:1</sub> + C <sub>18:3</sub>	1.04 ± 0.05
Total vitamin E (mg/kg)	189 ± 0.5	C <sub>22:0</sub>	0.13 ± 0.01
DPPH (μmol/L TE)	144 ± 8	SFA	13.87 ± 0.30
ABTS (μmol/L TE)	300 ± 4	MUFA	75.37 ± 0.20
Total phenols (mg CAE equiv./kg)	352 ± 18	PUFA	10.61 ± 0.06
Oxidative stability (h)	10.6 ± 0.1	Sensory analysis	EVOO

**FA** : acides Gras, **PV** : indice de peroxide, **ABTS** : 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)

**Tableau 10** : Effet de l'ajout de différentes épices à l'huile d'olive sur les paramètres de qualité (Soussa *et al.*, 2015).

	FA (%)	PV (meq. O <sub>2</sub> /kg)	K <sub>232</sub>	K <sub>270</sub>	ΔK
Control	0.6 ± 0.0 a	4.9 ± 0.6 b	2.65 ± 0.15 c	0.14 ± 0.01 a	-0.004 ± 0.001 a,b
Garlic	0.8 ± 0.1 b	2.7 ± 0.4 a	2.11 ± 0.12 a	0.14 ± 0.01 a,b	-0.003 ± 0.001 a
Hot chili	0.6 ± 0.1 a	5.0 ± 0.0 b	2.29 ± 0.23 a,b	0.16 ± 0.01 c,d	-0.007 ± 0.003 b
Laurel	0.6 ± 0.1 a	4.8 ± 0.3 b	2.56 ± 0.27 b,c	0.15 ± 0.01 b-d	-0.004 ± 0.001 a,b
Oregano	0.6 ± 0.2 a	2.9 ± 0.4 a	2.09 ± 0.12 a	0.15 ± 0.01 a-c	-0.004 ± 0.001 a
Pepper	0.6 ± 0.2 a	5.0 ± 0.0 b	2.30 ± 0.20 a,b	0.16 ± 0.01 d	-0.006 ± 0.003 b
P value	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001**	<0.001*
Pooled SD <sup>a</sup>	0.018	0.236	0.189	0.011	0.002

**Tableau 11** : Profil d'acides gras (%) des huiles d'olive aromatisées avec différentes épices (Soussa *et al.*, 2015).

	Control	Garlic	Hot chili	Laurel	Oregano	Pepper	P value	Pooled SD <sup>a</sup>
C <sub>16:0</sub>	10.80 ± 0.23 c	10.40 ± 0.18 b	10.31 ± 0.11 a,b	10.19 ± 0.11 a	10.20 ± 0.13 a	10.26 ± 0.13 a,b	<0.001**	0.155
C <sub>16:1</sub>	0.67 ± 0.04 b	0.63 ± 0.04 a	0.62 ± 0.03 a	0.62 ± 0.03 a	0.61 ± 0.01 a	0.64 ± 0.03 a,b	<0.001**	0.052
C <sub>17:0</sub>	0.14 ± 0.03	0.14 ± 0.02	0.15 ± 0.04	0.14 ± 0.03	0.13 ± 0.02	0.14 ± 0.02	0.470**	0.050
C <sub>17:1</sub>	0.20 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.20 ± 0.02	0.20 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.20 ± 0.02	0.549**	0.047
C <sub>18:0</sub>	2.79 ± 0.05 b	2.73 ± 0.05 a	2.79 ± 0.12 a,b	2.80 ± 0.10 a,b	2.81 ± 0.15 a,b	2.84 ± 0.13 a,b	0.013*	0.104
C <sub>18:1</sub>	74.47 ± 0.24 a	74.76 ± 0.47 a,b	74.78 ± 0.28 a,b	74.96 ± 0.22 b	74.97 ± 0.29 b	75.09 ± 0.60 a,b	<0.001*	0.362
C <sub>18:2</sub>	9.70 ± 0.16 b	9.59 ± 0.12 a,b	9.51 ± 0.16 a,b	9.46 ± 0.39 a,b	9.45 ± 0.26 a,b	9.15 ± 0.66 a	0.009*	0.349
C <sub>20:0</sub>	0.39 ± 0.03	0.39 ± 0.03	0.41 ± 0.04	0.38 ± 0.02	0.39 ± 0.01	0.41 ± 0.02	0.121*	0.048
C <sub>20:1</sub> + C <sub>18:3</sub>	0.95 ± 0.09 a	1.02 ± 0.07 b	1.09 ± 0.05 b,c	1.12 ± 0.04 c	1.09 ± 0.06 c	1.14 ± 0.03 c	<0.001**	0.071
C <sub>22:0</sub>	0.06 ± 0.05 a	0.15 ± 0.03 b	0.13 ± 0.05 b	0.14 ± 0.02 b	0.16 ± 0.03 b	0.14 ± 0.02 b	<0.001*	0.053
SFA	14.10 ± 0.16 b	13.80 ± 0.20 a	13.78 ± 0.12 a	13.65 ± 0.19 a	13.72 ± 0.14 a	13.77 ± 0.17 a	<0.001**	0.162
MUFA	75.31 ± 0.27 a	75.54 ± 0.57 a,b	75.56 ± 0.25 a,b	75.77 ± 0.22 b	75.80 ± 0.32 b	76.00 ± 0.65 a,b	0.001*	0.394
PUFA	10.61 ± 0.27	10.51 ± 0.39	10.64 ± 0.15	10.58 ± 0.38	10.41 ± 0.50	10.21 ± 0.71	0.603*	0.443

**Tableau 12** : Activité de piégeage des radicaux (DPPH et ABTS<sup>+</sup>, mmol / L), teneur totale en phénols (mg équivalent acide caféique / kg d'huile d'olive) et stabilité à l'oxydation (heures) des huiles d'olive aromatisées avec différentes épices (Soussa *et al.*, 2015).

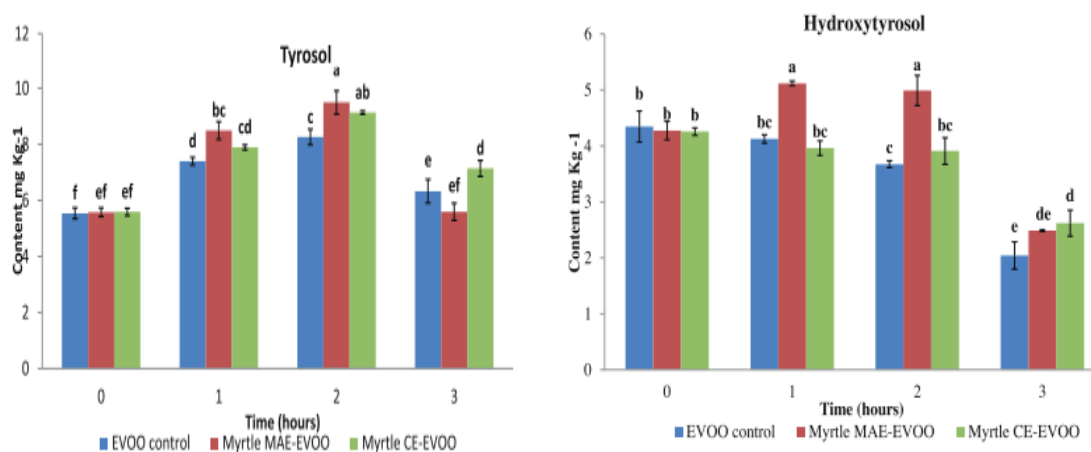
	DPPH	ABTS <sup>+</sup>	Total phenols	Oxidative stability
Control	140.8 ± 3.0 b-d	296.3 ± 2.8 c	345.7 ± 15.2 b	9.4 ± 0.1 a,b
Garlic	126.8 ± 11.4 a	295.8 ± 3.9 b,c	325.6 ± 38.9 a-c	9.8 ± 0.2 a-c
Hot chili	143.1 ± 1.5 d	290.9 ± 2.6 a	336.3 ± 19.8 b,c	10.1 ± 0.7 b,c
Laurel	133.6 ± 4.0 a,b	294.0 ± 2.4 b,c	317.8 ± 37.2 a-c	9.2 ± 0.4 a
Oregano	137.4 ± 4.3 a-c	293.3 ± 2.3 a,b	293.8 ± 23.6 a	10.4 ± 0.5 c
Pepper	144.5 ± 9.6 c,d	293.4 ± 3.7 a,b	326.0 ± 14.3 c	9.8 ± 0.5 a-c
P value	<0.001*	<0.001*	<0.001*	<0.001**
Pooled SD <sup>a</sup>	7.439	4.141	26.73	0.453

L'étude de **Dairi et al. (2015)** était centrée sur l'évaluation de l'effet de l'enrichissement des huiles d'olive en composés phénoliques de *Myrtus communis* sur sa composition phénolique

pendant le chauffage à la flamme, au four à 180° C et le chauffage par micro-ondes, à différents temps d'exposition. Les  $K_{232}$  et  $K_{270}$  ont également été évalués pour tous les traitements de chauffage.

Les résultats obtenus ont montré que l'enrichissement d'huile d'olive par des extraits de myrte empêche de manière significative la consommation de composés phénoliques endogènes d'huile d'olive tels que l'hydroxytyrol, le tyrosol et les flavonoïdes (lutéoline et apigénine) par rapport au témoin (huile d'olive sans enrichissement) et l'effet le plus protecteur a été trouvé lors du chauffage à la flamme et aux micro-ondes (Figure 25). De plus, une inhibition plus élevée de la formation des composés d'oxydation primaires en raison d'une plus grande capacité à protéger les acides gras polyinsaturés sont observés dans l'huile enrichie pendant le chauffage à la flamme et au four. Les valeurs  $K_{232}$  ont été considérablement réduites pendant le chauffage à la flamme par rapport au témoin et suivies par le chauffage du four, bien que les valeurs  $K_{232}$  dans le chauffage par micro-ondes aient été similaires pour toutes les analyses d'huile.  $K_{270}$  n'a pas été affecté par cet enrichissement.

Ces résultats démontrent que le traitement thermique pourrait induire des pertes importantes de composés phénoliques d'huile d'olive qui conduisent à la détérioration de ses qualités nutritionnelles et organoleptiques. La procédure de chauffage la plus sûre était le traitement aux micro-ondes par rapport à ceux à la flamme ou au four. Une relation entre la structure chimique et le taux de dégradation a été observée et par conséquent, l'hydroxytyrol était le principal antioxydant important pour assurer la stabilité de l'huile, mais la fraction de flavonoïdes a également des effets positifs. Le développement d'un nouvel aliment fonctionnel à base d'huile d'olive et d'extrait de myrte devrait être exploré



**Figure 25** : Évolution de la teneur en hydroxytyrosol et en tyrosol pendant le chauffage du four à 180° C pour huile d'olive extra vierge et huile d'olive extra vierge enrichie en myrte (**Dairi et al., 2015**)

L'étude de **Dairi et al. (2017)** est portée sur l'évaluation des activités de chélation et d'élimination des radicaux libres de l'huile d'olive extra vierge enrichie en composés phénoliques de *Myrtus communis*, en  $\alpha$ -tocophérol et en butylhydroxytoluène (BHT) à l'aide d'analyses chimiques, 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) et la capacité d'absorption des radicaux oxygène (ORAC), et le modèle biologique comme le dichlorhydrate de 2,20 -azobis (2-aminopropane) hydrochloride (AAPH) ou le système Fe + 3 / acide ascorbique (Fe + 3 / AsA) médiée par le système de peroxydation aqueuse de La-phosphatidylcholine dispersions stabilisées par les sels biliaires dans des conditions intestinales simulées (pH 7,4).

L'huile d'olive enrichie en composés phénoliques de *Myrtus communis* a augmenté de manière significative la neutralisation du radical DPPH et des radicaux dérivés de l'AAPH dans le dosage ORAC plus qu'un tocophérol et du BHT. La stabilité des phospholipides a augmenté d'un facteur de 33,6%, 34,8%, 19,3% et 10,7% pour les extraits d'extraction assistée par micro-ondes de myrte (MAE) et d'extraction conventionnelle (CE), un tocophérol et du BHT, respectivement, par rapport au témoin dans le système Fe + 3 / AsA. Mais un effet légèrement additif a été observé lors de l'utilisation du système AAPH. L'étude a montré que les extraits de *Myrtus communis* peuvent interagir positivement avec l'huile d'olive vierge pour inhiber la peroxydation des phospholipides. Cependant, divers types d'interactions entre les antioxydants dans un mélange complexe peuvent se produire et peuvent ainsi affecter la capacité antioxydant totale du mélange. Pour cela, il est important de choisir la meilleure combinaison d'antioxydants lors de la conception d'aliments fonctionnels. Des études complémentaires sont nécessaires pour

évaluer la bio absorption, la biodisponibilité et les interactions entre ces composés présents dans l'huile d'olive enrichie après consommation. L'huile d'olive vierge enrichie en extrait de *Myrtus communis* pourrait être un aliment fonctionnel potentiel.

**Sahin et al. (2017)** ont étudiés l'effet de l'extrait de feuille d'olivier riche en oleuropéine sur la qualité de l'huile d'olive vierge.

L'ajout de 0,15% d'antioxydant naturel a augmenté la stabilité de l'huile (46%) et la capacité antioxydante de l'huile enrichie était presque 2,5 fois supérieure à celle de l'huile non traitée. En outre, l'extrait de feuille d'olivier a amélioré la qualité de l'huile d'olive vierge en ce qui concerne les teneurs en tocophérol, en caroténoïde et en chlorophylle et en peroxyde, respectivement. L'extrait de feuille d'olivier a prouvé que son contenu phénolique et surtout son composé majeur, l'oleuropéine, contribuent de manière significative au pouvoir antioxydant de l'extrait. L'ajout de cet antioxydant naturel à l'huile d'olive a amélioré la stabilité de l'huile ainsi que l'augmentation de sa valeur ajoutée avec des paramètres de haute qualité, considérablement (Tableau 13).

**Tableau 13 :** Évolution des paramètres de stabilité de l'huile d'olive avant et après leur enrichissement en extrait de feuille d'olivier dans les conditions optimales (**Sahin et al., 2017**).

	TPC (ppm)	Oleuropein (ppm)	$\alpha$ -Tocopherol (ppm)	AA (%)	TCC (mg- $\beta$ carotene/kg-oil)	Chlorophyll (mg-pheophytin/kg-oil)	PV (meq-O <sub>2</sub> /kg-oil)	IT (h)
Pure olive oil	132 ± 3.19	6.46 ± 0.19	114.38 ± 0.54	13.45 ± 1.15	2.78 ± 0.07	n.d	9.09 ± 0.40	3.41 ± 0.17
Enriched olive oil	246 ± 4.29	25.98 ± 1.30	127.83 ± 0.75	34.09 ± 1.05	7.89 ± 0.52	28.17 ± 0.22	7.07 ± 0.54	4.98 ± 0.20

L'étude d'**Ammar et al. (2017)** était axée sur l'évaluation de la qualité et de la stabilité à l'oxydation de l'huile d'olive additionnée de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*. Deux quantités différentes de fleurs d'*Opuntia Ficus-indica* ont été considérées 5 et 15%.

L'ajout de fleurs d'*Opuntia Ficus-indica* a induit une augmentation des valeurs d'acidité libre et une variation du profil d'acides gras des huiles d'olive, mais les valeurs sont restées inférieures aux limites requises pour une huile d'olive extra vierge. L'ajout de fleurs d'*Opuntia Ficus-indica* à l'huile d'olive n'a pas considérablement modifié ses caractéristiques de qualité. Au contraire, les huiles d'olive obtenues ont été enrichies sur le plan nutritionnel en raison de l'augmentation de leur teneur en phénols à partir de fleurs. Les changements physico-chimiques ont été attribués à la diffusion de polyphénols et de composés pigmentaires des fleurs vers l'huile d'olive pendant le



processus de macération. Les huiles d'olive à 15% O. de fleurs d'*Opuntia Ficus-indica* n'ont pas réussi à inhiber l'oxydation et a montré que l'huile était pire que celle du témoin, en augmentant les valeurs de PV,  $K_{232}$  et  $K_{270}$  qui reflétaient une augmentation des produits d'oxydation primaires et secondaires. Cela indique que l'ajout de 15% de fleurs à l'huile d'olive favorise la diffusion de composés qui agissent apparemment comme pro-oxydant. Au contraire, une résistance significative à l'oxydation a été observée dans l'huile d'olive par addition de 5% de fleurs. Ainsi, l'incorporation de ces fleurs à ce niveau pourrait contribuer significativement à la stabilisation des huiles d'olive et ajouter une valeur à ce produit. Des études complémentaires sont nécessaires pour sélectionner les meilleures conditions pour la macération des fleurs d'*Opuntia Ficus-indica* avec de l'huile d'olive afin d'éviter l'effet pro-oxydant et maximiser sa stabilité à l'oxydation.

Le but de **kerramat et al. (2017)** était d'étudier les effets des huiles essentielles de *Zataria multiflora* Boiss. et les huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. sur la stabilité à l'oxydation de l'huile d'olive vierge. Les indices d'activité antioxydante (valeurs du peroxyde, de la p-anisidine,  $K_{232}$  et  $K_{268}$ ) des huiles essentielles ont été comparés à ceux du BHT et du b-carotène. En conséquence, les valeurs les plus faibles de peroxyde, de p-anisidine, de  $K_{232}$  et de  $K_{268}$  ont été déterminées dans des échantillons contenant du BHT et des huiles essentielles de *Z. multiflora*. De plus, *R. officinalis* a significativement réduit l'oxydation d'huile d'olive avec une prolongation de la période d'induction de 17,73%. Comparativement, BHT et l'huile essentielle de *Z. multiflora* étaient plus efficaces pour réduire et retarder l'oxydation de l'huile d'olive, avec une prolongation de la période d'induction de 63,72 et 48,90%, respectivement.

Cette supériorité peut être attribuée à la présence de quantités élevées de monoterpènes phénoliques dans l'huile essentielles de *Z. multiflora*. Le b-carotène a présenté des effets pro-oxydants envers les produits d'oxydation primaires et secondaires et a réduit la période d'induction de l'huile d'olive de 3,29%. De plus, l'huile essentielle de *Z. multiflora* s'est avérée plus efficace que celle de *R. officinalis*. Sur la base des résultats, les huiles essentielles de *Z. multiflora* et *R. officinalis* peuvent être approchés en tant qu'antioxydants naturels appropriés pour améliorer la stabilité oxydative et prolonger la durée de conservation des huiles d'olives

**Alavi et al. (2017)** ont utilisé La poudre de microalgue verte *Chlorella (Chlorella vulgaris)* comme antioxydant naturel dans l'huile d'olive vierge et son activité antioxydante a été comparée à celle du b-carotène et de l'a-tocophérol pendant 16 jours de stockage accéléré. De plus, les effets synergiques de la chlorelle et l'acide citrique ont été étudiés.



Les produits d'oxydation primaire, secondaire et total des échantillons de chlorelle (avec et sans acide citrique) étaient inférieurs à ceux des échantillons témoins. La période d'induction des échantillons de chlorella était significativement plus élevée que celle des échantillons témoins, de  $\beta$ -carotène et d' $\alpha$ -tocophérol. De plus, les teneurs en caroténoïde et en chlorophylle des échantillons de chlorelle étaient significativement plus élevées que celles des échantillons témoins. Ces pigments peuvent retarder le processus d'oxydation. L'utilisation de chlorelle et d'acide citrique en combinaison l'un avec l'autre n'a montré aucun effet synergique contre l'oxydation de l'huile d'olive vierge.

En conclusion, la chlorelle peut être affirmée comme un antioxydant naturel, ce qui prolonge la durée de conservation de l'huile d'olive vierge.

Le but de travail de **Yahyaoui et al. (2017)** était de fournir une étude approfondie sur la stabilité oxydative d'huile d'olive sous chauffage par micro-ondes à différents temps d'exposition, induit par des extraits naturels de plantes après enrichissement en extrait aqueux de plantes aromatiques et de feuilles d'olivier, afin de déterminer les paramètres optimaux pour maximiser la qualité de l'huile d'olive, tout en retardant l'apparition de produits d'oxydation ayant des effets néfastes sur la santé.

Tous les échantillons d'huile étudiés présentaient une stabilité élevée lorsque le traitement aux micro-ondes n'excédait pas 5 min. À partir de la présente étude, nous avons conclu que les composés phénoliques extraits de plantes aromatiques et de feuilles d'olivier diminuent les pertes de qualité dans les huiles d'olive analysées jusqu'aux 5 min de chauffage par rapport à celle de contrôle. L'utilisation d'antioxydants naturels pourrait être un moyen efficace de protéger l'huile d'olive extra vierge de l'oxydation lorsqu'elle est traitée aux micro-ondes.

**Valle-Prieto et al. (2017)** ont consisté à développer un procédé technologique d'élaboration d'une huile d'olive vierge enrichie en lutéine-zéaxanthine extraite d'épinards, en étudiant différents paramètres comme la température, le temps d'extraction et différents ratios (épinard-huile).

Les résultats montrent que la quantité de caroténoïdes extraits augmentait jusqu'à un maximum après 24 heures et diminuait à mesure que le temps de macération progressait jusqu'à 60 heures, résultant de la dégradation biologique. Il a également été observé qu'au fur et à mesure que nous ajoutions d'épinards, nous obtenions plus de lutéine-zéaxanthine dans l'huile d'olive vierge enrichie. Les meilleurs résultats ont été obtenus après 24 heures en utilisant un

rapport 75/25 à 30°C. Les valeurs de stabilité à l'oxydation ont considérablement diminué, ainsi que d'autres paramètres tels que l'acidité, l'indice de peroxydes ont été modifiés lorsque l'huile d'olive vierge enrichie a été soumise à 45°C pendant 24 heures de macération. Ainsi, la présente procédure constitue un moyen pour obtenir une augmentation de l'apport quotidien en composés bénéfiques.

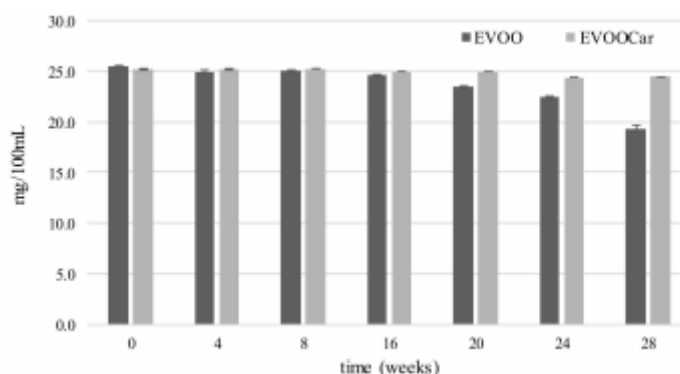
**Jović et al. (2018)** ont étudié l'effet de l'enrichissement d'huile d'olive avec du romarin (*Rosmarinus officinalis*), de la sauge des jardins (*Salvia officinalis*), de la sarriette d'été (*Satureja hortensis*), du laurier (*Laurus nobilis*) et d'autres plantes aromatiques et exposés à des ultrasons pendant différentes durées.

Les résultats montrent qu'une quantité importante de contenu aromatique peut être extraite dans l'huile d'olive en appliquant des ultrasons pendant seulement quelques minutes, en particulier pour la poudre de *Salvia officinalis*. Quelques minutes après la macération par ultrasons de la sauge de jardin, du laurier et du romarin étudiés, les produits de haute qualité à haute teneur en polyphénols ont été obtenues, ainsi que du caroténoïde et de la chlorophylle.

**Montesano et al. (2019)** ont étudié l'effet de l'ajout d'un extrait riche en caroténoïdes de *Lycium barbarum* L. à dans l'huile d'olive extra vierge, en obtenant une huile enrichie en caroténoïdes. La stabilité à l'oxydation de l'huile d'olive et de l'huile d'olive enrichie en caroténoïdes a été évaluée lors d'un stockage de longue durée de 28 semaines à température ambiante, en mesurant certains paramètres classiques (acidité et peroxyde, coefficients spectrophotométriques, composition en acides gras) et la teneur en composés mineurs (tocophérol et lutéine).

A la fin du stockage, une teneur plus élevée ( $p < 0,01$ ) d' $\alpha$ -tocophérol dans l'huile d'olive enrichie en caroténoïdes par rapport à l'huile d'olive a été observée. (Figure 26) Le dipalmitate de zéaxanthine, le composé caroténoïde le plus abondant des baies de Goji, a légèrement diminué ( $p < 0,05$ ) dans l'huile d'olive enrichie en caroténoïdes jusqu'à la fin du stockage (tableau 14). En outre, l'ajout de caroténoïdes de Goji a préservé la stabilité des équivalents de tyrosol dans l'huile d'olive enrichie pendant le stockage à long terme. Ces résultats ont mis en évidence que l'enrichissement de l'huile d'olive avec un extrait riche en caroténoïdes de Goji pourrait être utile pour produire une nouvelle huile nutraceutique, avec une stabilité à l'oxydation, une durée de conservation améliorée et une valeur nutritionnelle aussi améliorée par

rapport à celle d'origine en protégeant les antioxydants naturels d'huile d'olive pendant le stockage à long terme



**Figure 26** : La teneur en  $\alpha$ -tocophérol (mg / 100 ml, valeurs moyennes) d'huile d'olive extra vierge et d'olive extra vierge et huile d'olive extra vierge enrichie en caroténoïdes pendant le stockage à long terme (Montesano et al., 2019)

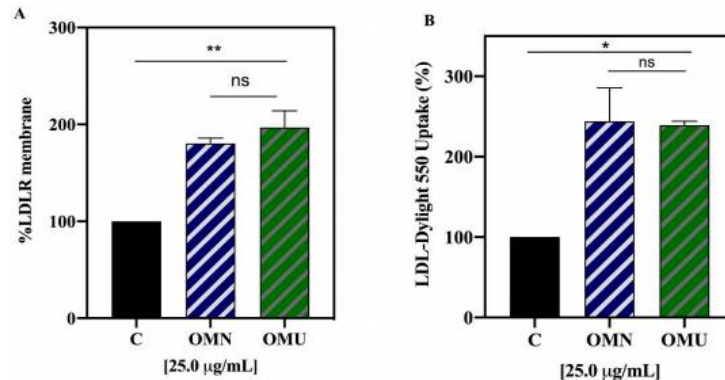
**Tableau 14** : Contenu (mg / 100 ml) de dipalmitate de lutéine, de  $\beta$ -carotène et de zéaxanthine dans huile d'olive extra vierge et huile d'olive extra vierge enrichie en caroténoïdes pendant le stockage (Montesano et al., 2019).

Time (Weeks)	Lutein		$\beta$ -carotene		Zeaxanthin Dipalmitate
	EVOO	EVOOCar	EVOO	EVOOCar	EVOOCar
0	0.99 ± 0.01	0.99 ± 0.03	1.03 ± 0.02	1.03 ± 0.04	1.59 ± 0.08
4	0.95 ± 0.03	0.98 ± 0.04	0.95 ± 0.04	1.01 ± 0.05	1.50 ± 0.09
8	0.95 ± 0.02	0.97 ± 0.02	0.94 ± 0.01	1.00 ± 0.02	1.48 ± 0.01
12	0.94 ± 0.02	0.96 ± 0.03	0.92 ± 0.02	1.10 ± 0.03	1.47 ± 0.04
16	0.92 ± 0.02	0.96 ± 0.04	0.94 ± 0.03	1.00 ± 0.04	1.47 ± 0.03
20	0.90 ± 0.01	0.95 ± 0.02	0.87 ± 0.01	0.98 ± 0.03	1.28 ± 0.01
24	0.88 ± 0.02	0.94 ± 0.01	0.85 ± 0.01	0.95 ± 0.02	1.31 ± 0.03
28	0.84 ± 0.02	0.90 ± 0.03	0.84 ± 0.03	0.93 ± 0.02	1.30 ± 0.02

Dans les travaux de Lammi et al. (2020) les auteurs ont utilisé une technologie émergente basée sur le traitement simultané de la pâte d'olive à la fois par ultrasons et échange de chaleur. Les résultats montrent que les ultrasons améliorent le rendement d'extraction d'huile et la composition des composés organiques volatils et les profils phénoliques étaient très similaires (avec la méthode conventionnelle).

Les activités antioxydantes et hypocholestérolémiques des extraits phénols d'huile d'olive extra vierge ont également été préservées, car les deux huiles avaient des capacités équivalentes à piéger le 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl (DPPH) et le 2,2-azino-bis. (Acide 3-

éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) de sel de diammonium (ABTS) in vitro et pour protéger les cellules cancéreuses de foie (HepG2) du stress oxydatif induit par H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, en réduisant les espèces intracellulaires réactives de l'oxygène (ROS) et les niveaux de peroxydation lipidique. De plus, en inhibant la 3-hydroxy-3-méthylglutarylcoenzyme réductase, les deux échantillons ont modulé la voie des récepteurs des lipoprotéines de basse densité (LDLR), entraînant une augmentation des niveaux et de l'activité des protéines LDLR (Figure 27).



**Figure 27 :** Modulation du LDLR sur la surface des cellules HepG2 et absorption du LDL environnemental, (A) taux de protéines LDLR sur la surface des cellules HepG2, (B) absorption de LDL fluorescent de l'environnement par les cellules HepG2 (Lammi *et al.*, 2020)

#### III.2. Effet sur quelques activités biologiques

L'objectif de Martín-Peláez *et al.* (2016) était d'étudier si les composés phénoliques d'huile d'olive affectent le système immunitaire muqueux. Dans un essai humain randomisé, contrôlé et en double aveugle croisé, pendant trois semaines, précédé de périodes de sevrage de deux semaines, 10 participants hypercholestérolémiques ont ingéré 25 ml / jour de trois huiles d'olives vierges crues différant par leur concentration en composés phénoliques et leur origine: (1) une huile d'olive contenant 80 mg / kg ; (2) une huile d'olive enrichie en composés phénoliques contenant 500 mg / kg et (3) une huile d'olive enrichie en composés phénoliques contenant un mélange de 500 mg de composés phénoliques d'huile d'olive et de thym. L'immunité intestinale (immunoglobulines fécales A (IgA) et bactéries enduites d'IgA) et les marqueurs de l'inflammation (protéine C-réactive (CRP) et interleukine fécale 6 (IL-6), facteur de nécrose tumorale  $\alpha$  (TNF $\alpha$ ) et calprotectine ont été analysés. L'ingestion de grandes quantités de composés phénoliques d'huile d'olive, avait tendance à augmenter les proportions de bactéries recouvertes d'IgA et les taux plasmatiques de CRP. Cependant, des quantités plus faibles des

composés phénoliques d'huile d'olive vierge et la combinaison de deux sources des composés phénoliques n'ont pas montré des effets significatifs sur les variables étudiées.

Les résultats indiquent une stimulation potentielle du système immunitaire avec de très fortes doses des composés phénoliques d'huile d'olive, qui devrait être étudiée plus avant. En conclusion, la consommation d'une huile d'olive vierge contenant 500 mg / kg de composés phénoliques d'huile d'olive augmente la proportion de bactéries recouvertes d'IgA, ce qui suggère une stimulation de l'immunité muqueuse au niveau intestinal. Ces doses élevées d'une source unique de composés phénoliques augmentent également le marqueur inflammatoire systémique. Des études de dose supplémentaires sont nécessaires afin d'établir avec précision le rôle immunostimulant et le résultat sur la santé de ces doses élevées de composés phénoliques d'huile d'olive chez l'homme.

Le but de l'étude de **Valls et al. (2017)** était d'évaluer si différentes huiles d'olive vierges fonctionnelles avec différents composés phénoliques pouvaient protéger les vitamines plasmatiques liposolubles, ce qui à son tour pourrait améliorer la fonction endothéliale. Afin de sélectionner la dose phénolique optimale dans l'amélioration de l'hyperémie réactive ischémique, une étude dose-réponse (n = 12, sujets sains) a été réalisée et l'enrichissement de 500 mg des composés phénoliques / kg d'huile a été sélectionné.

Dans une étude croisée soutenue de 3 semaines (n = 33 sujets hypercholestérolémiques), la consommation de 25 mL / jour de deux huiles d'olive enrichies en phénol (une enrichie avec ses propres composés phénoliques et une autre associée au composés phénoliques de thym) a augmenté l'IRH et le plasma concentrations de rétinol, de b cryptoxanthine et d'a-tocophérol, par rapport à une huile d'olive vierge témoin. Une corrélation post-intervention positive a été observée pour les valeurs d'IRH et HDL-c, b-cryptoxanthine, lutéine et tocophérol. Le présent travail fournit la preuve qu'une consommation soutenue de l'huile d'olive enrichie par ses propres composés phénoliques ou par des composés phénoliques de thym produit une augmentation des concentrations plasmatiques de vitamines liposolubles et également une amélioration de fonction l'endothélium.

**Martín-Peláez et al. (2017)** ont étudié l'effet des composés phénoliques de l'huile d'olive vierge seuls ou en association avec les composés phénoliques de thym sur le profil lipidique sanguin des humains hypercholestérolémiques, et si les changements générés sont liés à des changements dans les populations et les activités du microbiote intestinal. Un essai humain

croisé randomisé, contrôlé, en double aveugle (n = 12) a été réalisé. Les participants ont ingéré 25 mL / jour pendant 3 semaines, précédés de périodes de sevrage de 2 semaines, trois huiles d'olive vierges crues différant par la concentration et l'origine des composés phénoliques : (1) une huile d'olive vierge contenant naturellement 80 mg / kg, (2) une huile d'olive vierge enrichie en composés phénoliques contenant 500 mg / kg, à partir d'huile d'olive, et (3) une huile d'olive vierge enrichie en composés phénoliques contenant un mélange de 500 mg / kg d'huile d'olive et de thym. Les valeurs de lipides sanguins et les changements quantitatifs fécaux dans les populations microbiennes, les acides gras à chaîne courte, les métabolites microbiens du cholestérol, les acides biliaires et les métabolites phénoliques ont été analysés.

L'ingestion d'une huile d'olive vierge enrichie par ces propres composés phénoliques et celles de thym pendant 3 semaines, diminue le taux LDL chez les humains hypercholestérolémiques. Cet effet cardio-protecteur pourrait être médié par l'augmentation des populations de bifidobactéries ainsi que par l'augmentation des métabolites microbiens des composés phénoliques ayant des activités antioxydantes.

**Pedret et al. (2018)** ont évalué si les huiles d'olive, enrichies avec leurs propres composés phénoliques ou avec ceux du thym, améliorent la quantité et la fonctionnalité des bons cholestérols HDL. Dans cet essai randomisé, en double aveugle, croisé et contrôlé, 33 sujets hypercholestérolémiques ont reçu une huile d'olive contrôle (80 mg / kg), huile d'olive enrichie avec leurs propres composés phénoliques (500 mg / kg) et huile d'olive enrichie avec des composés phénoliques de thym (500 mg / kg) pendant 3 semaines.

Les deux huiles d'olives fonctionnelles ont favorisé les changements cardioprotecteurs, la modulation du protéome HDL, l'augmentation des antioxydants liposolubles, l'amélioration de la distribution des sous-classes HDL, la réduction de l'indice de résistance des lipoprotéines à l'insuline, l'augmentation des enzymes antioxydants endogènes, la protection de l'ADN de l'oxydation, l'amélioration de la fonction endothéliale et l'augmentation de l'activité métabolique microbienne fécale. Des avantages cardioprotecteurs supplémentaires ont été observés selon la source et la teneur en phénol des huiles d'olive enrichies en phénol.

**Vazquez et al. (2019)** ont étudié les effets de la consommation chronique d'huile d'olive extra vierge, enrichie en composés bioactifs d'olivier et de feuilles, sur la pression artérielle, la fonction endothéliale, l'état oxydatif et inflammatoire et les taux de cholestérol circulant, chez des rats spontanément hypertendus. Trente rats ont été assignés au hasard à trois groupes : un

groupe des rats témoins non traité, un groupe des rats (1 mL / rat / jour) d'une huile d'olive témoin (17,6 mg / kg de composés phénoliques) et un groupe des rats (1 mL / rat / jour) d'huile d'olive enrichie (750 mg / kg de composés phénoliques) pendant huit semaines. Dix rats Wistar Kyoto ont été inclus comme témoins sains.

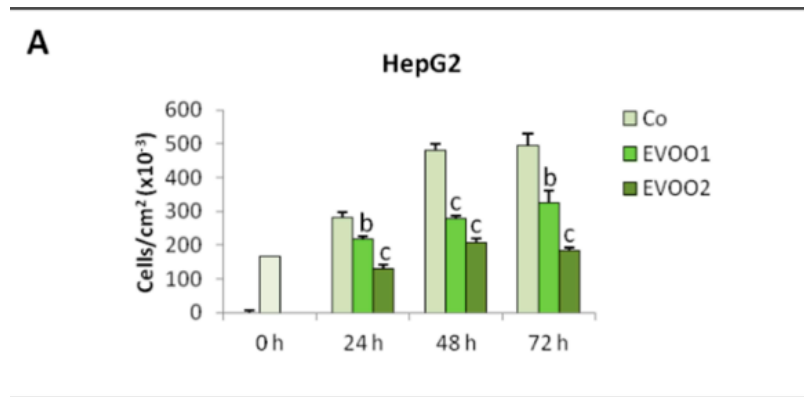
L'administration à long terme de l'huile d'olive enrichie en composés bioactifs (750 mg / kg de composés phénoliques, principalement hydroxytyrosol, 3,4dihydroxyphénylglycol et oleuropéine) à partir de l'olivier et des feuilles peut également entraîner: une réduction de l'hypertension et de l'hypertrophie cardiaque, amélioration du dysfonctionnement endothélial, diminution du statut oxydatif et réduction des taux plasmatiques de cholestérol total chez les rats, tandis que les cytokines pro-inflammatoires n'étaient pas affectées. Par conséquent, l'ajout d'une huile d'olive enrichie à l'alimentation peut être un outil utile contre l'hypertension artérielle et le taux de cholestérol plasmatique, qui sont deux facteurs de risque de maladies cardiovasculaires.

Le travail de **De Stefanis et al. (2019)** visait à évaluer les effets d'un extrait polyphénolique contenant à la fois de l'oléocanthal et du ligstroside aglycone sur la prolifération et / ou la mort dans trois lignées cellulaires de cancer du foie (HepG2, Huh7). La possibilité d'augmenter cet effet par l'ajout de facteurs de nécrose tumorale TNF $\alpha$  a également été étudiée.

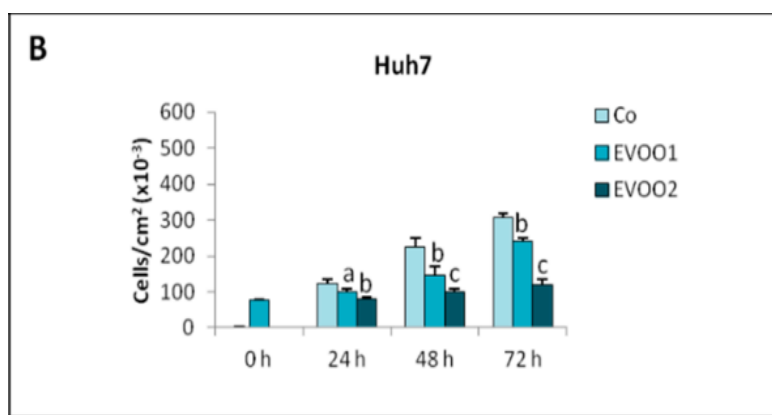
La prolifération et la mort des cellules ont été améliorées par l'exposition à l'extrait polyphénolique. Un tel effet était associé à l'induction de l'autophagie et pouvait être potentialisé par le TNF $\alpha$ .

En conclusion, les résultats rapportés dans la présente étude montrent que le traitement des cellules cancéreuses du foie avec un extrait d'huile d'olive enrichie en oléocanthal et ligstroside aglycone réduit la prolifération cellulaire et augmente la mort cellulaire (figure 28, figure 29). Les résultats rapportés ici suggèrent que la présence de ligstroside aglycone abaisse la concentration d'oléocanthal requise pour la cytotoxicité, au moins dans les lignées cellulaires de cancer du foie. De plus, ces résultats montrent pour la première fois que les effets de l'extrait d'huile d'olive vierge peuvent être potentialisés par la cytokine pro inflammatoire TNF $\alpha$ .





**Figure 28 :** Courbe de croissance sur lignée cellulaire HepG2 (De Stefanis et al., 2019)



**Figure 29 :** Courbe de croissance sur lignée cellulaire Huh7 (De Stefanis et al., 2019)

L'objectif de travail de **Farràs et al. (2019)** était de déterminer si l'huile d'olive fonctionnel enrichie en ses propres composés phénoliques et par des composés phénoliques de thym pouvait améliorer l'expression des gènes liés à l'efflux de cholestérol. Dans un essai contrôlé randomisé, en double aveugle, croisé, 22 sujets hypercholestérolémiques ont ingéré pendant trois semaines 25 mL / jour de : (1) un huile d'olive fonctionnel enrichie en composés phénoliques d'huile d'olive (500 mg / kg), (2) un huile d'olive fonctionnel enrichie en composés phénoliques d'huile d'olive (250 mg / kg) et de thym (250 mg / kg), et (3) un huile d'olive naturel (composés phénoliques d'huile d'olive: 80 mg / kg, intervention de contrôle).

La consommation d'une huile d'olive fonctionnel enrichie en composés phénoliques d'huile d'olive et de thym (250 mg / kg chacun) a amélioré l'expression des principaux régulateurs d'efflux de cholestérol, tels que le CYP27A1 et les gènes liés aux récepteurs nucléaires. Une telle amélioration peut contribuer à expliquer l'effet bénéfique de ce produit alimentaire fonctionnel sur les capacités fonctionnelles HDL chez les patients hypercholestérolémiques. Ces résultats



contribuent à expliquer les effets bénéfiques de ces huiles fonctionnelles vers un profil lipidique plus cardioprotecteur.

**Farras et al. (2020)** ont étudié les effets des huiles d'olive vierges et des huiles d'olives vierges enrichies en phénols sur l'athérogénicité des lipoprotéines et les propriétés d'athéroprotection des HDL.

Les études ont démontré une diminution de l'athérogénicité des LDL et une augmentation de la capacité d'efflux des macrophages cholestérol médiés par les HDL, de l'activité antioxydante des HDL et des caractéristiques anti-inflammatoires des HDL après diverses interventions de l'huile d'olive vierge. De plus, l'expression des gènes liés à l'efflux de cholestérol a été améliorée après exposition à des huiles d'olive vierges enrichies en phénol dans les essais post-prandiaux et prolongés. Des améliorations des propriétés antioxydantes des HDL ont également été observées après des interventions d'huile d'olive et d'huile d'olive enrichie.

L'objectif de l'étude de **Santos-Lozano et al. (2019)** est d'évaluer si la consommation régulière d'huile d'olive enrichie en acide oléanolique est efficace dans la prévention du diabète. Des individus prédiabétiques (glycémie à jeun altérée et tolérance au glucose altérée) des deux sexes (176 patients, âgés de 30 à 80 ans) ont été randomisés pour recevoir 55 ml / jour d'huile d'olive enrichie en OA (dose équivalente 30 mg OA / jour) ou la même huile non enrichie. Le principal critère de jugement était l'incidence du diabète de type 2 nouvellement apparu dans les deux groupes.

La consommation d'huile d'olive enrichie en OA réduit le risque de développer un diabète chez les patients prédiabétiques. Les résultats de l'étude favorisent l'utilisation de l'acide oléanolique dans de nouveaux aliments fonctionnels et médicaments pour la prévention du diabète chez les personnes à risque de le développer.

Il existe d'autres travaux que nous avons résumés dans le tableau 15

**Tableau 15** : Résumé de travaux récents sur l'effet d'enrichissement d'huile d'olive

<b>Type d'huile</b>	<b>Procédure appliquée</b>	<b>Matière brute</b>	<b>Caractéristique ajoutée</b>	<b>Référence</b>
Huile d'olive	Macération assistée par ultrasons	Huile essentielle de basilic	Augmentation de cinétique d'aromatisation (amélioration de qualité sensorielle)	<b>Veillet et al., (2010)</b>
Huile d'olive extra vierge	Extraction liquide-liquide	L'acide carnosique extrait par les feuilles des <i>Salvia officinalis</i> L. et <i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Une inhibition de la formation des produits d'oxydation secondaires et une amélioration de l'activité de piégeage des radicaux, amélioration de stabilité oxydative	<b>Zunin et al., (2010)</b>
Huile d'olive	Extraction liquide-liquide	Polyphénols des feuilles d'olive	Amélioration de la capacité antioxydante	<b>Salta et al., (2007)</b>
Huile d'olive vierge	Extraction solide-liquide Assistée par agitation	Antioxydants naturels des herbes thym, romarin, origan	Enrichissement d'huile en acide rosmarinique et caféique	<b>Nevado et al., (2012)</b>
Huile d'olive vierge	Macération assistée par ultrasons	Feuilles d'origan	Enrichissement en acides phénoliques (principalement l'acide rosmarinique) et antioxydants endogènes Amélioration de La stabilité antioxydante	<b>Peñalvo et al., (2016)</b>

# *Conclusion générale*

L'huile d'olive est une matière grasse, qui occupe une place certaine parmi les autres huiles. Elle est la plus appréciée grâce à sa valeur nutritionnelle et surtout ses effets bénéfiques pour la santé. La qualité d'huile d'olive est affectée par plusieurs facteurs comme la variété, les conditions de stockage, les pertes subies par l'huile d'olive au cours de sa fabrication d'où son enrichissement par des composés bioactifs des matrices végétales est un outil pour conserver et améliorer sa qualité.

L'enrichissement est effectué par différents procédés soit conventionnels ou alternatifs. L'efficacité des techniques d'extraction alternatives telle que l'extraction assistée par micro-ondes (MAE) ou bien par ultra-sons (UAE) a été approuvée en raison de ses effets importants sur le processus de fabrication, tels que des rendements plus élevés, des temps de traitement plus courts, une réduction des coûts d'exploitation et d'entretien, amélioration du goût, de la texture, de la saveur et de la couleur du produit fini.

Les résultats de cette synthèse bibliographique portant sur des travaux déjà publiés par des chercheurs nationaux et internationaux sur l'impact de l'enrichissement de l'huile par voie endogène ou exogène (par des plantes) sur la qualité nutritionnelle et les propriétés biologiques des huiles d'olives vierges nous a permis de conclure que l'huile d'olive enrichie peut constituer un potentiel aliment fonctionnel et conduit à :

- Une amélioration de profil nutritionnel en raison de l'augmentation de la vitamine E, caroténoïde, en chlorophylle et en composés phénoliques totaux ;
- Une amélioration de l'activité antioxydante et de la stabilité à la dégradation thermique et à l'autoxydation (la méthode de piégeage des radicaux DPPH et tests de chauffage) ;
- Une augmentation des concentrations plasmatiques de vitamines liposolubles et également une amélioration de la fonction endothéliale ;
- Une augmentation de l'activité métabolique microbienne fécale ;
- Une réduction de l'hypertension et de l'hypertrophie cardiaque, diminution du statut oxydatif et réduction des taux plasmatiques de cholestérol total, diminution de l'athérogénicité des LDL qui sont des facteurs de risque de maladies cardiovasculaires ;
- Une réduction de la prolifération cellulaire et augmentation de la mort des cellules cancéreuses du foie ;
- Une réduction de risque de développement de diabète chez les patients prédiabétiques ;
- Une augmentation des populations de bifidobactéries ainsi que par l'augmentation des métabolites microbiens des composés phénoliques ayant des activités antioxydantes ;

Cette étude montre que les huiles d'olive enrichies par des plantes pourraient être plus efficaces dans la prévention de diverses maladies. Tous les résultats présentés jusqu'à présent confirment que les choix alimentaires affectent la santé et par conséquent, les consommateurs veulent choisir des aliments sains pour améliorer la qualité de vie.

Ces résultats des activités biologiques sont encourageants. Cependant, ils restent préliminaires et nécessitent d'encourager des études complémentaires et approfondies.

En perspective, il serait très intéressant d'analyser et de caractériser les polyphénols et les caroténoïdes et d'autres composés présents dans l'huile enrichie, et bien sûr d'évaluer également la biodisponibilité aussi bien des composés endogènes et exogènes des substances bioactives de l'huile enrichie. L'utilisation de test d'évaluation d'activité biologique *in vivo* et des études épidémiologiques également permettrait de mieux appréhender la qualité nutritionnelle de ce produit et aussi étudier les caractéristiques organoleptiques des huiles d'olives enrichies. Finalement, étudier l'interaction entre les gènes et les composés bioactifs des huiles enrichies.

# *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

A

**Abaza, L., Msallem, M., Daoud, D., Zarrouk, M. (2002).** Caractérisation des huiles de sept variétés d'olivier tunisiennes. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 9(2), 174-179.

**Achat, S., Tomao, V., Madani, K., Chibane, M., Elmaataoui, M., Dangles, O., Chemat, F. (2012).** Direct enrichment of olive oil in oleuropein by ultrasound-assisted maceration at laboratory and pilot plant scale. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(4), 777-786.

**Alavi, N., & Golmakani, M. T. (2017).** Evaluation of synergistic effect of *Chlorella vulgaris* and citric acid on oxidative stability of virgin olive oil. *Food science and biotechnology*, 26(4), 901-910.

**Almeida, B., Valli, E., Bendini, A., Gallina Toschi, T. (2017).** Semi-industrial ultrasound-assisted virgin olive oil extraction: Impact on quality. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(1), 160-230.

**Amić, D., Davidović-Amić, D., Bešlo, D., Trinajstić, N. (2003).** Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croatica chemica acta*, 76(1), 55-61.

**Amirante, P., Clodoveo, M. L., Dugo, G., Leone, A., Tamborrino, A. (2006).** Advance technology in virgin olive oil production from traditional and de-stoned pastes: Influence of the introduction of a heat exchanger on oil quality. *Food Chemistry*, 98(4), 797-805.

**Ammar, I., BenAmira, A., Khemakem, I., Attia, H., Ennouri, M. (2017).** Effect of *Opuntia ficus-indica* flowers maceration on quality and on heat stability of olive oil. *Journal of food science and technology*, 54(6), 1502-1510.

**Amor, B. B. (2008).** *Maîtrise de l'aptitude technologique de la matière végétale dans les opérations d'extraction de principes actifs : texturation par détente instantanée contrôlée (DIC)* (Doctoral dissertation).

**Arab, K., Bouchenak, O., Yahiaoui, K. (2013).** Évaluation de l'activité biologique des feuilles de l'olivier sauvage et cultivé. *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 9(3), 159-166.

**Artajo, L. S., Romero, M. P., Morelló, J. R., Motilva, M. J. (2006).** Enrichment of refined olive oil with phenolic compounds: evaluation of their antioxidant activity and their effect on the bitter index. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(16), 6079-6088.

**Austin, M. A. (1991).** Plasma triglyceride and coronary heart disease. *Arteriosclerosis and thrombosis: a journal of vascular biology*, 11(1), 2-14.

## **B**

**Baccouri, O., Guerfel, M., Baccouri, B., Cerretani, L., Bendini, A., Lercker, G., Miled, D. D. B. (2008).** Chemical composition and oxidative stability of Tunisian monovarietal virgin olive oils with regard to fruit ripening. *Food chemistry*, 109(4), 743-754.

**Bejaoui, M. A., Sánchez-Ortiz, A., Aguilera, M. P., Ruiz-Moreno, M. J., Sánchez, S., Jiménez, A., Beltrán, G. (2018).** High power ultrasound frequency for olive paste conditioning: Effect on the virgin olive oil bioactive compounds and sensorial characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 136-145.

**Belguerri, H. (2016).** *Contribution à l'étude de l'effet de l'irrigation et la fertilisation azotée et potassique sur les performances productives et qualitatives de l'olivier super-intensif* (Doctoral dissertation, Université de Lleida).

**Belhoucine, S. (2003).** *Etude de l'éventualité d'un contrôle biologique contre la mouche de l'olive Bactrocera oleae (Diptera-Tephritidae) dans cinq stations de la wilaya de Tlemcen* (Doctoral dissertation, Université de Tlemcen).

**Ben-Ayed, R., Kamoun-Grati, N., Rebai, A. (2013).** An overview of the authentication of olive tree and oil. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(2), 218-227.

**Benbabis, S., Clodoveo, M. L., Rouina, B. B., Boukhris, M. (2010).** Influence of irrigation with moderate saline water on “chemlali” extra virgin olive oil composition and quality. *Journal of food quality*, 33(2), 228-247.

**Benmoussa, H., Elfalleh, W., Farhat, A., Servili, M., Algabr, M., Romdhane, M. (2016).** Impact of microwave assisted infusion on the quality and volatile composition of olive oil aromatized with Rosemary leaves. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(7), 921-928.



**Benrachou, N. (2013).** *Etude des caractéristiques physicochimiques et de la composition biochimique d'huiles d'olive issues de trois cultivars de l'Est algérien* (Doctoral Dissertation, Université d'Annaba).

**Benyahia, N., Zein, K. (2003).** *Analyse des problèmes de l'industrie de l'huile d'olive et solutions récemment développées. Contribution spéciale de Sustainable Business Associates* (Suisse) à SESEC II, 2-7.

**Besombes, C. (2008).** *Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydro-thermo-mécanique d'herbes aromatiques : applications généralisées* (Doctoral dissertation, Université de la Rochelle).

**Bianchi, G. (1999).** Extraction systems and olive oil. *OCL. Oléagineux, corps gras, lipides*, 6(1), 49-55.

**Bisset, S. (2018).** *Activité antioxydante et inhibitrice vis-à-vis de l'élastase d'extrait de polyphénols d'olive (Olea europaea L.)* (Doctoral dissertation, Université de Setif).

**Boskou, D., Blekas, G., Tsimidou, M. (2006).** Olive oil composition. In *Olive Oil* (pp. 41-72). AOCS press.

**Bouaoudia-Madi, N., Boulekbache-Makhlouf, L., Madani, K., Silva, A., Dairi, S., Oukhmanou–Bensidhoum, S., Cardoso, S. M. (2019).** Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenols from *Myrtus communis* L. Pericarp. *Antioxidants*, 8(7), 205.

**Boukhatem, M. N., Ferhat, A., Kameli, A. (2019).** Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature. *Une*, 3, 4.

**Boulfane, S., Maata, N., Anouar, A., Hilali, S. (2015).** Caractérisation physicochimique des huiles d'olive produites dans les huileries traditionnelles de la région de la Chaouia-Maroc. *Journal of Applied Biosciences*, 87, 8022-8029.

### C

**Camín, F., Bontempo, L., Ziller, L., Piangiolino, C., Morchio, G. (2010).** Stable isotope ratios of carbon and hydrogen to distinguish olive oil from shark squalene-squalane. *Rapid communications in mass spectrometry*, 24(12), 1810-1816.

**Caponio, F., Leone, A., Squeo, G., Tamborrino, A., & Summo, C. (2019).** Innovative technologies in virgin olive oil extraction process: influence on volatile compounds and organoleptic characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12), 5594-5600.

**Casas, R., Sacanella, E., Urpi-Sarda, M., Chiva-Blanch, G., Ros, E., Martínez-González, M. A., Arós, F. (2014).** The effects of the mediterranean diet on biomarkers of vascular wall inflammation and plaque vulnerability in subjects with high risk for cardiovascular disease. A randomized trial. *PloS one*, 9(6), e100084.

**Chemat, F., Périno-Issartier, S., Loucif, L., Elmaataoui, M., Mason, T. J. (2012).** Enrichment of edible oil with sea buckthorn by-products using ultrasound-assisted extraction. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114(4), 453-460.

**Chenni, M. (2016).** *Etude comparative de la composition chimique et de l'activité biologique de l'huile essentielle des feuilles du basilic « Ocimum basilicum L. » extraite par hydro-distillation et par micro-ondes.* (Doctoral dissertation, Université d'Oran).

**Clodoveo, M. L. (2012).** Malaxation: Influence on virgin olive oil quality. Past, present and future—An overview. *Trends in Food Science & Technology*, 25(1), 13-23.

**Clodoveo, M. L., Durante, V., La Notte, D., Punzi, R., Gambacorta, G. (2013).** Ultrasound-assisted extraction of virgin olive oil to improve the process efficiency. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(9), 1062-1069.

**Clodoveo, M. L., Hbaieb, R. H. (2013).** Beyond the traditional virgin olive oil extraction systems: Searching innovative and sustainable plant engineering solutions. *Food Research International*, 54(2), 1926-1933.

**Clodoveo, M. L., Camposeo, S., Amirante, R., Dugo, G., Cicero, N., Boskou, D. (2015).** Research and innovative approaches to obtain virgin olive oils with a higher level of bioactive constituents. In *Olive and olive oil bioactive constituents* (pp. 179-215). AOCS Press.

**Clodoveo, M. L., Dipalmo, T., Crupi, P., Durante, V., Pesce, V., Maiellaro, I., Franchini, C. (2016).** Comparison between different flavored olive oil production techniques: Healthy value and process efficiency. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(1), 81-87.

**Clodoveo, M. L. (2019).** Industrial ultrasound applications in the extra-virgin olive oil extraction process: History, approaches, and key questions. *Foods*, 8(4), 121.

**Covas, M. I., Konstantinidou, V., Fitó, M. (2009).** Olive oil and cardiovascular health. *Journal of cardiovascular pharmacology*, 54(6), 477-482.

**Criado, M. N., Romero, M. P., Casanovas, M., Motilva, M. J. (2008).** Pigment profile and colour of monovarietal virgin olive oils from Arbequina cultivar obtained during two consecutive crop seasons. *Food chemistry*, 110(4), 873-880.

## D

**Dairi, S., Galeano-Díaz, T., Acedo-Valenzuela, M. I., Godoy-Caballero, M. P., Dahmoune, F., Remini, H., Madani, K. (2015).** Monitoring oxidative stability and phenolic compounds composition of myrtle-enriched extra virgin olive during heating treatment by flame, oven and microwave using reversed phase dispersive liquid-liquid microextraction (RP-DLLME)-HPLC-DAD-FLD method. *Industrial Crops and Products*, 65, 303-314.

**Dairi, S., Carbonneau, M. A., Galeano-Diaz, T., Remini, H., Dahmoune, F., Aoun, O., Madani, K. (2017).** Antioxidant effects of extra virgin olive oil enriched by myrtle phenolic extracts on iron-mediated lipid peroxidation under intestinal conditions model. *Food chemistry*, 237, 297-304.

**D'Amato, R., Proietti, P., Onofri, A., Regni, L., Esposito, S., Servili, M., Selvaggini, R. (2017).** Biofortification (Se): Does it increase the content of phenolic compounds in virgin olive oil (VOO). *Plos one*, 12(4), 176-580

**De Valle-Prieto, M. B., Delgado-Adámez, J., Gil, M. V., Martillanes, S., Franco, M. N., Martín-Vertedor, D. (2017).** Virgin olive oil enriched with lutein-zeaxanthin from *Spinacia oleracea*. *Journal of Oleo Science*, 66(5), 463-468.

**De Stefanis, D., Scimè, S., Accomazzo, S., Catti, A., Occhipinti, A., Bertea, C. M., Costelli, P. (2019).** Anti-proliferative effects of an extra-virgin olive oil extract enriched in ligsstroside aglycone and oleocanthal on human liver cancer cell lines. *Cancers*, 11(11), 1640.

**Di Giovacchino, L., Solinas, M., Miccoli, M. (1994).** Effect of extraction systems on the quality of virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(11), 1189-1194.

**E**

**Eskilsson, C. S., Björklund, E. (2000).** Analytical-scale microwave-assisted extraction. *Journal of chromatography A*, 902(1), 227-250.

**Evrard, J., Pagès-Xatart-Pares, X., Argenson, C., & Morin, O. (2007).** Procédés d'obtention et compositions nutritionnelles des huiles de tournesol, olive et colza. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 42, 13-23.

**F**

**Farràs, M., Arranz, S., Carrión, S., Subirana, I., Muñoz-Aguayo, D., Blanchart, G., Fernández-Castillejo, S. (2019).** A functional virgin olive oil enriched with olive oil and thyme phenolic compounds improves the expression of cholesterol efflux-related genes: a randomized, crossover, controlled trial. *Nutrients*, 11(8), 1732

**Farràs, M., Canyelles, M., Fitó, M. (2020).** Effects of Virgin Olive Oil and Phenol-Enriched Virgin Olive Oils on Lipoprotein Atherogenicity. *Nutrients*, 12(3), 601.

**Fernández del Río, L., E. Gutiérrez-Casado, A. Varela-López and M. J. Villalba (2016).** "Olive Oil and the Hallmarks of Aging." *Molecules* 21(2).

**Fitó, M., Estruch, R., Salas-Salvadó, J., Martínez-Gonzalez, M. A., Arós, F., Vila, J., Mitjavila, M. T. (2014).** Effect of the Mediterranean diet on heart failure biomarkers: a randomized sample from the PREDIMED trial. *European journal of heart failure*, 16(5), 543-550

**G**

**Gambacorta, G., Faccia, M., PATI, S., LAMACCHIA, C., BAIANO, A., LA NOTTE, E. N. N. I. O. (2007).** Changes in the chemical and sensorial profile of extra virgin olive oils flavored with herbs and spices during storage. *Journal of Food Lipids*, 14(2), 202-215.

**Germek, V. M., Koprivnjak, O., Butinar, B., Pizzale, L., Bučar-Miklavčič, M., Conte, L. (2014).** Influence of malaxation time on phenols and volatile compounds of virgin olive oil

obtained from phenol enriched olive paste (Buža cv.). In 8<sup>th</sup> *International Congress of Food Technologists, Biotechnologists and Nutritionists*.

**Gharbi, I., Issaoui, M., Mehri, S., Cheraief, I., Sifi, S., Hammami, M. (2015).** Agronomic and technological factors affecting Tunisian olive oil quality. *Agricultural Sciences*, 6(05), 513.

**Gigon, F., Le Jeune, R. (2010).** Huile d'olive, *Olea europaea* L. *Phytothérapie*, 8(2), 129-135.

**Giuffrè, A. M., Louadj, L., Poiana, M., Macario, A. (2012).** Composition en sterols des huiles extraites d'olives de cultivars de la province de Reggio Calabria (Sud d'Italie). *Riv. Ital. Sostanze Grasse*, 89, 177-183.

**Grigoraș, C. G. (2012).** *Valorisation des fruits et des sous-produits de l'industrie de transformation des fruits par extraction des composés bioactifs* (Doctoral dissertation, Université d'Orléans).

### H

**Hadjou, L., Lamani, O., Cheriet, F. (2013).** Labellisation des huiles d'olive algériennes : contraintes et opportunités du processus. *New Medit*, 12(2), 35-46

**Haddada, F. M., Krichène, D., Manai, H., Oueslati, I., Daoud, D., Zarrouk, M. (2008).** Analytical evaluation of six monovarietal virgin olive oils from Northern Tunisia. *European journal of lipid science and technology*, 110(10), 905-913.

**Harwood, J., Aparicio, R. (Eds.). (2000).** *Handbook of olive oil: Analysis and properties* (p. 620). Gaithersburg, MD : Aspen.

**Henry, S. (2003).** *L'huile d'olive : son intérêt nutritionnel, ses utilisations en pharmacie et en cosmétique* (Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré).

**Himour ép Cherrier, S., Yahia, A. (2018).** *Comportements biologique, physiologique, biochimique et l'activité biologique de quatre variétés d'olivier (Olea europaea L.) dans l'Est Algérien* (Doctoral dissertation, Université de Constantine).

**Houlali, I., Rabi, S., Elbir, M., Ider, A. A., Amhoud, A., Moubarik, A., Mbarki, M. (2013).** Caractérisation chimique de l'huile d'olive dans la région Marocaine de Tadla Azilal (Chemical characterization of the virgin olive oil in Tadla Azilal Moroccan area).

**J**

**Jaber, H., Ayadi, M., Makni, J., Rigane, G., Sayadi, S., Bouaziz, M. (2012).** Stabilization of refined olive oil by enrichment with chlorophyll pigments extracted from Chemlali olive leaves. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114(11), 1274-1283.

**Jović, O., Habinovec, I., Galić, N., Andrašec, M. (2018).** Maceration of Extra Virgin Olive Oil with Common Aromatic Plants Using Ultrasound-Assisted Extraction: An UV-Vis Spectroscopic Investigation. *Journal of Spectroscopy*, 2018.

**K**

**Kadi, K., Hassaine, N. (2016).** *Etude des caractéristiques physico-chimiques de quelques variétés d'huile d'olive de deux régions de la willaya de Tizi-Ouzou* (Doctoral dissertation, Université de Tizi Ouzou).

**Kalua, C. M., Bedgood, D. R., Bishop, A. G., Prenzler, P. D. (2006).** Changes in volatile and phenolic compounds with malaxation time and temperature during virgin olive oil production. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(20), 7641-7651

**Kalua, C. M., Allen, M. S., Bedgood Jr, D. R., Bishop, A. G., Prenzler, P. D., Robards, K. (2007).** Olive oil volatile compounds, flavour development and quality: A critical review. *Food Chemistry*, 100(1), 273-286.

**Keramat, M., Golmakani, M. T., Aminlari, M., Shekarforoush, S. (2017).** Oxidative stability of virgin olive oil supplemented with *Zataria multiflora* Boiss. and *Rosmarinus officinalis* L. essential oils during accelerated storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3), e12951

**Kheribeche, A. (2008).** *Récupération de l'huile de grignon d'olive : extraction solide-liquide* (Doctoral dissertation, Université de Guelma).

**Krid, S., Gharsallaoui, M., Triki, M. A., Rhouma, A. (2011).** epidemiologie et etiologie de *pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi*, agent causal de la tuberculose de l'olivier en tunisie. *Revue ezzaitouna*, 12, 1.

**Kiritsakis, K., Rodríguez-Pérez, C., Gerasopoulos, D., Segura-Carretero, A. (2017).** Olive oil enrichment in phenolic compounds during malaxation in the presence of olive leaves or olive mill wastewater extracts. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(9), 1600425.

L

**Lambert de Malezieu, M. (2019).** *Potentialisation des effets de composés phénoliques combinés de l'huile d'olive : étude des transformations rédox : application dans les maladies neurodégénératives* (Doctoral dissertation, Université de Rennes 1).

**Lammi, C., Mulinacci, N., Cecchi, L., Bellumori, M., Bollati, C., Bartolomei, M., Arnoldi, A. (2020).** Virgin Olive Oil Extracts Reduce Oxidative Stress and Modulate Cholesterol Metabolism: Comparison between Oils Obtained with Traditional and Innovative Processes. *Antioxidants*, 9(9), 798.

**Laribi, R. (2018).** *Les composés phénoliques de quelques variétés de l'huile d'olive algérienne* (Doctoral dissertation, Université de Setif).

**Leone, A., Romaniello, R., Tamborrino, A., Urbani, S., Servili, M., Amarillo, M., Juliano, P. (2018).** Application of microwaves and megasonication to olive paste in an industrial olive oil extraction plant: impact on virgin olive oil quality and composition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(1), 1700261.

**Lucchesi, M. E. (2005).** *Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles* (Doctoral dissertation, Université de La Réunion).

M

**Manai, H., Mahjoub-Haddada, F., Imen, O., Trigui, A., Daoud, D., Zarrouk, M. (2006).** Variabilité de la composition de l'huile d'olive de quelques hybrides obtenus par croisements dirigés. *Olivae*, 106, 17-23.

**Manai, H., Mahjoub-Haddada, F., Oueslati, I., Daoud, D., Zarrouk, M. (2008).** Characterization of monovarietal virgin olive oils from six crossing varieties. *Scientia Horticulturae*, 115(3), 252-260.

**Martín-Peláez, S., Castañer, O., Solà, R., Motilva, M. J., Castell, M., Pérez-Cano, F. J., Fitó, M. (2016).** Influence of phenol-enriched olive oils on human intestinal immune function. *Nutrients*, 8(4), 213.

**Martín-Peláez, S., Mosele, J. I., Pizarro, N., Farràs, M., de la Torre, R., Subirana, I., Heredia, S. (2017).** Effect of virgin olive oil and thyme phenolic compounds on blood lipid profile: implications of human gut microbiota. *European Journal of Nutrition*, 56(1), 119-131.

**Merouane, A., Noui, A., Ali, K. N. B., Saadi, A. (2014).** Activité antioxydante des composés phénoliques d'huile d'olive extraite par méthode traditionnelle. *International journal of biological and chemical sciences*, 8(4), 1865-1870.

**M'Hiri, N. (2015).** *Étude comparative de l'effet des méthodes d'extraction sur les phénols et l'activité antioxydante des extraits des écorces de l'orange « Maltaise demi sanguine » et exploration de l'effet inhibiteur de la corrosion de l'acier au carbone* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

**Michel, T. (2011).** *Nouvelles méthodologies d'extraction, de fractionnement et d'identification : application aux molécules bioactives de l'argousier (Hippophae rhamnoides)* (Doctoral dissertation, Université d'Orléans).

**Moldao-Martins, M., Beirao-da-Costa, S., Neves, C., Cavaleiro, C., Salgueiro, L., Beirao-da-Costa, M. L. (2004).** Olive oil flavoured by the essential oils of *Mentha piperita* and *Thymus mastichina* L. *Food quality and preference*, 15(5), 447-452.

**Montesano, D., Rocchetti, G., Cossignani, L., Senizza, B., Pollini, L., Lucini, L., & Blasi, F. (2019).** Untargeted metabolomics to evaluate the stability of extra-virgin olive oil with added *Lycium barbarum* carotenoids during storage. *Foods*, 8(6), 179.

**Mulinacci, N., Romani, A., Galardi, C., Pinelli, P., Giaccherini, C., Vincieri, F. F. (2001).** Polyphenolic content in olive oil waste waters and related olive samples. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(8), 3509-3514.

**Mushtaq, A., Roobab, U., Denoya, G. I., Inam-Ur-Raheem, M., Gullón, B., Lorenzo, J. M., Aadil, R. M. (2020).** Advances in green processing of seed oils using ultrasound-assisted extraction: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, e14740.



N

**Nevado, J. J. B., Robledo, V. R., Callado, C. S. C. (2012).** Monitoring the enrichment of virgin olive oil with natural antioxidants by using a new capillary electrophoresis method. *Food chemistry*, 133(2), 497-504.

O

**Ouachich, A., Chimi, H. (2007).** Guide de producteur de l'huile d'olive ; Organisation des nations unies pour le développement industriel ; ONUDI, Vienne, 4-37.

**Ollivier, D., Bruckert, B., Noyer, C., Guérère, M., Artaud, J. (1999).** Multicriteria analysis for the research of adulteration of virgin olive oil by hazelnut and almond oils. *Annales des Falsifications de l'Expertise Chimique et Toxicologique (France)*.

**Ollivier, D. (2003).** Recherche d'adultération dans les huiles végétales : application à la qualité des huiles vierges et notamment de l'huile d'olive. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 10(4), 315-320.

**Owen, R. W., Giacosa, A., Hull, W. E., Haubner, R., Würtele, G., Spiegelhalder, B., Bartsch, H. (2000).** Olive-oil consumption and health: the possible role of antioxidants. *The lancet oncology*, 1(2), 107-112.

P

**Paiva-Martins, F., Correia, R., Félix, S., Ferreira, P., Gordon, M. H. (2007).** Effects of enrichment of refined olive oil with phenolic compounds from olive leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4139-4143.

**Papanikolaou, I., Barderas, R., Thibaudon, M., Pauli, G. (2005).** Le pollinose au frêne : données palynologiques, description des allergènes et réactivité croisée. *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*, 45(5), 395-405.

**Paré, J. R. J., Sigouin, M., Lapointe, J. (1990).** Extraction de produits naturels assistée par micro-ondes. Brevet européen.

**Pedret, A., Fernández-Castillejo, S., Valls, R. M., Catalán, Ú., Rubió, L., Romeu, M., Mosele, J. I. (2018).** Cardiovascular benefits of phenol-enriched virgin olive oils: New insights

from the virgin olive oil and HDL functionality (VOHF) study. *Molecular nutrition & food research*, 62(16), 1800456.

**Penchev, P. I. (2010).** *Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions* (Doctoral dissertation, Université de Toulouse).

**Pingret, D., Fabiano-Tixier, A. S., Chemat, F. (2013).** Degradation during application of ultrasound in food processing: A review. *Food control*, 31(2), 593-606.

**Pouyet, B., Ollivier, V. (2014).** Réglementations sur l'étiquetage et la présentation des huiles d'olive. *OCL*, 21(5), D508.

**Plard, J. (2014).** *Apport de la chimiométrie et des plans d'expériences pour l'évaluation de la qualité de l'huile d'olive au cours de différents processus de vieillissement* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille).

**Reboredo-Rodríguez, P., Figueiredo-González, M., González-Barreiro, C., Simal-Gándara, J., Salvador, M. D., Cancho-Grande, B., Fréгатage, G. (2017).** State of the art on functional virgin olive oils enriched with bioactive compounds and their properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(3), 668.

**Rodríguez-Rejón, A. I., Castro-Quezada, I., Ruano-Rodríguez, C., Ruiz-López, M. D., Sánchez-Villegas, A., Toledo, E., Corella, D. (2014).** Effect of a Mediterranean diet intervention on dietary glycemic load and dietary glycemic index: the PREDIMED study. *Journal of nutrition and metabolism*, 2014.

**Rosenblat, M., Volkova, N., Coleman, R., Almagor, Y., Aviram, M. (2008).** Antiatherogenicity of extra virgin olive oil and its enrichment with green tea polyphenols in the atherosclerotic apolipoprotein-E-deficient mice: enhanced macrophage cholesterol efflux. *The Journal of nutritional biochemistry*, 19(8), 514-523.

**Rubió, L., Motilva, M. J., Macià, A., Ramo, T., Romero, M. P. (2012).** Development of a phenol-enriched olive oil with both its own phenolic compounds and complementary phenols from thyme. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(12), 3105.

**Sadok, T. H., Rebiha, K., Terki, D. (2018).** Physicochemical and organoleptic characterization of virgin olive oils of some Algerian varieties. *AgroBiologia*, 8(1), 706-718.

**Şahin, S., Sayım, E., Bilgin, M. (2017).** Effect of olive leaf extract rich in oleuropein on the quality of virgin olive oil. *Journal of food science and technology*, 54(6), 1721-1728.

**Santos, C. S., Cruz, R., Cunha, S. C., Casal, S. (2013).** Effect of cooking on olive oil quality attributes. *Food Research International*, 54(2), 2016-2024.

**Santos-Lozano, J. M., Rada, M., Lapetra, J., Guinda, Á., Jiménez-Rodríguez, M. C., Cayuela, J. A., Castellano, J. M. (2019).** Prevention of type 2 diabetes in prediabetic patients by using functional olive oil enriched in oleoic acid: The PREDIABOLE study, a randomized controlled trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 21(11), 2526-2534.

**Salta, F. N., Mylona, A., Chiou, A., Boskou, G., Andrikopoulos, N. K. (2007).** Oxidative stability of edible vegetable oils enriched in polyphenols with olive leaf extract. *Food Science and Technology International*, 13(6), 413-421.

**Sawadogo, I., Koala, M., Dabire, C., Ouattara, L. P., Bazie, V. B. E. J. T., Hema, A., Nebie, R. H. (2015).** Etude de l'influence des modes de transformation sur les teneurs en lycopène de quatre variétés de tomates de la région du nord du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(1), 362-370.

**Servili, M., Selvaggini, R., Esposto, S., Taticchi, A., Montedoro, G., Morozzi, G. (2004).** Health and sensory properties of virgin olive oil hydrophilic phenols: agronomic and technological aspects of production that affect their occurrence in the oil. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 113-127.

**Selaimia, R. (2018).** *Etude de l'huile d'olive d'Algérie* (Doctoral dissertation, Université de Guelma).

**Sousa, A., Casal, S., Malheiro, R., Lamas, H., Bento, A., Pereira, J. A. (2015).** Aromatized olive oils, Influence of flavouring in quality, composition, stability, antioxidants, and antiradical potential. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 22-28.

**Stark, A. H., & Madar, Z. (2002).** Olive oil as a functional food: epidemiology and nutritional approaches. *Nutrition reviews*, 60(6), 170-176

**T**

- Tamborrino, A., Urbani, S., Servili, M., Romaniello, R., Perone, C., Leone, A. (2020).** Pulsed Electric Fields for the Treatment of Olive Pastes in the Oil Extraction Process. *Applied Sciences*, 10(1), 114.
- Tanouti, K., Serghini-Caid, H., Chaieb, E., Benali, A., Harkous, M., Elamrani, A. (2011).** Amélioration qualitative d'huiles d'olive produites dans le Maroc oriental. *Les technologies de laboratoire*, 6(22).
- Taticchi, A., Selvaggini, R., Esposito, S., Sordini, B., Veneziani, G., Servili, M. (2019).** Physicochemical characterization of virgin olive oil obtained using an ultrasound-assisted extraction at an industrial scale: Influence of olive maturity index and malaxation time. *Food chemistry*, 289, 7-15.
- Tekaya, I. B., Hassouna, M. (2005).** Étude de la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge extra tunisienne au cours de son stockage. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 12(5-6), 447-454.
- Tekaya, M., Mechri, B., Dabbaghi, O., Mahjoub, Z., Laamari, S., Chihaoui, B., Chehab, H. (2016).** Changes in key photosynthetic parameters of olive trees following soil tillage and wastewater irrigation, modified olive oil quality. *Agricultural Water Management*, 178, 180-188.
- Temime, S. B., Wael, T., Bechir, B., Leila, A., Douja, D., Mokhtar, Z. (2006).** Changes in olive oil quality of Chétoui variety according to origin of plantation. *Journal of Food Lipids*, 13(1), 88-99.
- Tripoli, E., Giammanco, M., Tabacchi, G., Di Majo, D., Giammanco, S., La Guardia, M. (2005).** The phenolic compounds of olive oil: structure, biological activity and beneficial effects on human health. *Nutrition research reviews*, 18(1), 98-112.
- Tuck, K. L., Freeman, M.P., Hayball, P. J., Stretch, G. L., Stupans, I. (2001).** The in vivo fate of hydroxytyrosol and tyrosol, antioxidant phenolic constituents of olive oil, after intravenous and oral dosing of labeled compounds to rats. *The Journal of nutrition*, 131(7), 1993-1996.

V

**Valls, R. M., Farràs, M., Pedret, A., Fernández-Castillejo, S., Catalán, Ú., Romeu, M., Covas, M. I. (2017).** Virgin olive oil enriched with its own phenolic compounds or complemented with thyme improves endothelial function: The potential role of plasmatic fat-soluble vitamins. A double blind, randomized, controlled, cross-over clinical trial. *Journal of Functional Foods*, 28, 285-292.

**Vazquez, A., Sanchez-Rodriguez, E., Vargas, F., Montoro-Molina, S., Romero, M., Espejo-Calvo, J. A., De La Torre, R. (2019).** Cardioprotective effect of a virgin olive oil enriched with bioactive compounds in spontaneously hypertensive rats. *Nutrients*, 11(8), 1728.

**Veillet, S. (2010).** *Enrichissement nutritionnel de l'huile d'olive : Entre Tradition et Innovation* (Doctoral dissertation, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse).

**Veillet, S., Tomao, V., Chemat, F. (2010).** Ultrasound assisted maceration: An original procedure for direct aromatisation of olive oil with basil. *Food Chemistry*, 123(3), 905-911.

**Velasco, J., Dobarganes, C. (2002).** Oxidative stability of virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9-10), 661-676.

**Visioli, F., Poli, A., Gall, C. (2002).** Antioxidant and other biological activities of phenols from olives and olive oil. *Medicinal research reviews*, 22(1), 65-75.

W

**Wang, L., & Weller, C. L. (2006).** Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300-312.

Y

**Yahyaoui, A., Rigane, G., & Salem, R. B. (2017).** Oxidative Stability of Extra Virgin Olive Oil with Natural Plant Extracts during Microwave Heating. *Asian Journal of Chemistry*, 29(12), 2655-2659.

**Youssef, N. B., Zarrouk, W., Carrasco-Pancorbo, A., Ouni, Y., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., Zarrouk, M. (2010).** Effect of olive ripeness on chemical properties

and phenolic composition of chétoui virgin olive oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(2), 199-204.

**Yubero-Serrano, E. M., Lopez-Moreno, J., Gomez-Delgado, F., Lopez-Miranda, J. (2019).** Extra virgin olive oil: More than a healthy fat. *European journal of clinical nutrition*, 72(1), 8-17.

### Z

**Zhou, Y., Zheng, J., Gan, R. Y., Zhou, T., Xu, D. P., & Li, H. B. (2017).** Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidants from the mung bean coat. *Molecules*, 22(4), 638.

**Zunin, P., Leardi, R., Bisio, A., Boggia, R., & Romussi, G. (2010).** Oxidative stability of virgin olive oil enriched with carnosic acid. *Food research international*, 43(5), 1511-1516.

### **Textes réglementaires**

**C.O.I (2007)**, Production techniques in olive growing.

**C.O.I (2013)**, norme commerciale applicable aux huiles d'olive et aux huiles de grignons d'olive COI/T.15/NC N° 3/Rév. 14 Novembre 2019.

## État de l'art sur la qualité nutritionnelle et propriétés biologiques des huiles d'olives vierges enrichies par des plantes

### Résumé

L'huile d'olive est un produit ancestral largement reconnu pour ses effets bénéfiques sur la santé humaine. L'apport quotidien de composés phénoliques bioactifs endogènes de l'huile d'olive vierge est variable en raison de l'influence de multiples facteurs agronomiques et technologiques. Ainsi, une bonne stratégie pour assurer un apport optimal en polyphénols par l'alimentation habituelle serait de produire de l'huile d'olive vierge enrichie avec des polyphénols bioactifs bien connus. Ainsi, l'élaboration d'une huile d'olive fonctionnelle a gagné ces dix dernières années un grand intérêt en utilisant différentes matières végétales. La première partie de ce travail porte sur des généralités sur l'olivier et l'huile d'olive, sa composition et ses bienfaits, puis la seconde détaille les différentes techniques utilisées pour réaliser l'enrichissement endogène et exogène. Nous avons cité dans la dernière partie les résultats des travaux publiés sur l'enrichissement d'huile d'olive. Notre travail a été réalisé dans le but d'étudier l'impact de l'enrichissement sur la qualité nutritionnelle et les propriétés biologiques, et indiquer comment ces huiles d'olive enrichies peuvent aider à la prévention des maladies chroniques. Les résultats montrent que l'huile d'olive enrichie par des plantes améliore les activités antioxydantes, la stabilité oxydative et peut avoir des effets bénéfiques sur la santé humaine.

**Mots clés :** huile d'olive enrichie ; des composés phénoliques ; stress oxydatif ; activité antioxydante, stabilité oxydante.

### Abstract

Olive oil is an ancestral product widely recognized for its beneficial effects on human health. The daily intake of endogenous bioactive phenolic compounds from virgin olive oil is variable due to the influence of multiple agronomic and technological factors. Thus, a good strategy to ensure an optimal intake of polyphenols from the usual diet would be to produce virgin olive oil enriched with well-known bioactive polyphenols. Thus, the development of a functional olive oil has gained great interest over the past ten years using different plant materials. The first part of this work covers generalities about the olive tree and olive oil, its composition and its benefits, then the second details the different techniques used to achieve endogenous and exogenous enrichment. In the last part, we cited the results of published work on olive oil fortification. Our work was carried out with the aim of studying the impact of fortification on nutritional quality and biological properties, and to indicate how these fortified olive oils can help in the prevention of chronic diseases. The results show that the olive oil enriched with plants improves antioxidant activities, oxidative stability and may have beneficial effects on human health.

**Keywords:** enriched olive oil; phenolic compounds; oxidative stress; antioxidant activity, stability oxidative

### ملخص

زيت الزيتون منتج موروث معترف به على نطاق واسع لأثاره المفيدة على صحة الإنسان. إن المدخول اليومي من المركبات الفينولية النشطة بيولوجياً من زيت الزيتون البكر متغير بسبب تأثير العوامل الزراعية والتكنولوجية المتعددة. وبالتالي، فإن الإستراتيجية الجيدة لضمان تناول أمثل للبوليفينول من النظام الغذائي المعتاد هي إنتاج زيت الزيتون البكر المخصب بالبوليفينول المشهور بيولوجياً. وهكذا، اكتسب تطوير زيت زيتون وظيفي اهتماماً كبيراً خلال السنوات العشر الماضية باستخدام مواد نباتية مختلفة. يغطي الجزء الأول من هذا العمل العموميات حول شجرة الزيتون وزيت الزيتون وتكوينهما وفوائدهما، ثم يوضح الجزء الثاني الأساليب المختلفة المستخدمة لتحقيق الإثراء الداخلي والخارجي. في الجزء الأخير، استشهدنا بنتائج الأعمال المنشورة حول إغناء زيت الزيتون. تم تنفيذ عملنا بهدف دراسة تأثير التحسين على الجودة الغذائية والخصائص البيولوجية، وبيان كيف يمكن لزيت الزيتون المدعم أن تساعد في الوقاية من الأمراض المزمنة. وأظهرت النتائج أن زيت الزيتون المخصب بالنباتات يحسن مضادات الأكسدة الأنشطة، والاستقرار التأكسدي وقد يكون لها آثار مفيدة على صحة الإنسان.

**الكلمات المفتاحية:** زيت الزيتون المخصب؛ مركبات فينولية؛؛ الأكسدة؛ النشاط المضاد للأكسدة، استقرار الأكسدة