

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU  
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES



DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE - MICROBIOLIGIE

## **MÉMOIRE DE MASTER**

**Spécialité : Biochimie**

**Option : Biochimie Appliquée**

**Thème**

**Revue bibliographique sur les effets  
biologiques de 3 huiles végétales : huile de  
pépins de raisin, de grenade et de figue de  
barbarie.**

**Réalisé par Mr OULD AHMED JUBA.**

**Encadré par Mme MESSAOUDI D.**

**Membres du jury :**

**Soutenu le 04/07/2022**

**Présidente : Mlle DERMECHE SAMIA**

**Maitre de conférences classe B UMMTO.**

**Examinatrice : Mme CHAÏBI MARINA**

**Maitre de conférences classe B UMMTO.**

**Promotrice : Mme MESSAOUDI DJAMILA Maitre de conférences classe B UMMTO.**

**Année universitaire: 2021/2022**

## **Remerciements**

Mes sincères remerciements s'adressent à Mme MESSAOUDI D. Maitre de Conférences classe B, pour ses orientations et son encadrement dans l'élaboration de ce modeste travail.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du jury ayant accepté d'évaluer ce travail à savoir Mlle DERMECHE S. Maitre de Conférences classe B, présidente du jury et Mme CHAÏBI M. Maitre de Conférences classe B, examinatrice ainsi que toute personnes ayant contribué pour sa concrétisation.

## **Dédicaces**

**Je dédie ce modeste travail à :**

**❖ Mes parents,**

**❖ Mon frère et ma sœur,**

**❖ Toute ma famille et mes amis.**

## Table des matières

**Liste des figures. Liste  
des tableaux. Liste des  
abréviations. Résumé.**

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
Chapitre I. Généralités sur les huiles végétales .....	2
1. Définition .....	2
2. Les acides gras .....	3
2.1. Rôles des acides gras .....	4
3. Les composants mineurs .....	5
3.1. Les composés phénoliques .....	5
3.2. Les phytostérols.....	5
3.3. Les tocophérols et tocotriénols (Tocols ou Vitamine E) .....	5
3.4. Autres composants.....	6
4. Classification des huiles .....	6
4.1. Classification des huiles selon leurs composition en acides gras .....	6
4.1.1. La famille oléique .....	6
4.1.2. La famille linoléique .....	6
4.1.3. La famille alpha-linolénique .....	7
4.1.4. La famille riche en acides gras saturés (AGS).....	7
4.2. Autres classifications .....	7
4.2.1. Les huiles vierges.....	7
4.2.2. Les huiles obtenues par pressage à froid.....	7
4.2.3. Les huiles raffinées .....	7
5. La qualité d'une huile végétale .....	7
5.1. Les critères de qualité .....	8

5.1.1. Indice acide .....	8
5.1.2. Indice peroxyde (IP) : .....	8
5.1.3. Indice para-anisidine (IA):.....	8
5.1.4. Indice TOTOX.....	8
6. Différence entre les huiles végétales et les huiles essentielles .....	9
Chapitre II. Extraction des huiles végétales.....	10
1. Extraction par pressage mécanique .....	12
1.1. Extraction par pressage à froid .....	12
1.2. Extraction par pressage à chaud .....	12
2. Extraction par solvant organique.....	13
2.1. Principe.....	13
2.2. Avantages et inconvénients .....	14
3. Extraction par CO <sub>2</sub> supercritique SC-CO <sub>2</sub> .....	16
3.1. Définition d'un fluide supercritique .....	16
3.2. Le CO <sub>2</sub> supercritique (SC-CO <sub>2</sub> ) .....	17
3.3. Principe d'extraction avec le CO <sub>2</sub> supercritique.....	19
4. Variations et prétraitements .....	19
4.1. Extraction par hexane surchauffé .....	19
4.2. Prétraitements enzymatiques .....	20
4.3. Prétraitements aux microondes.....	20
Chapitre III. Les huiles végétales.....	22
1. Huile de pépins de raisin .....	22
1.1. Présentation .....	22
1.2. Composition.....	24
1.2.1. Profil en acides gras .....	24
1.2.2. Les polyphénols .....	26
1.2.3. Les tocophérols et tocotriénols .....	26

1.2.4. Les stérols .....	27
1.3. Paramètres physicochimiques.....	28
1.4. Effets et usages de l'huile de pépin de raisin.....	30
1.4.1. Effet antioxydant.....	30
1.4.2. Effet anti-inflammatoire.....	31
1.4.3. Effet antimicrobien .....	31
1.4.4. Effet anti-tumoral.....	32
1.4.5. Effet cardio-protecteur .....	33
1.4.6. Effet neuro-protecteur .....	34
1.4.7. Effet antidiabétique .....	34
1.4.8. Effet anti-ulcèreux .....	34
1.4.9. Usage alimentaire.....	35
1.4.10. Usage en cosmétique.....	35
2. L'huile de pépins de grenade .....	37
2.1. Présentation .....	37
2.2. Composition.....	39
2.2.1. Profil en acide gras.....	39
2.2.2. Les polyphénols .....	40
2.2.3. Les tocophérols et tocotriénols .....	41
2.2.4. Les stérols .....	42
2.3. Paramètres physicochimiques.....	43
2.4. Effets et usages de l'huile de pépin de grenade.....	43
2.4.1. Effet antioxydant.....	43
2.4.2. Effet anti-inflammatoire.....	44
2.4.3. Effet antimicrobien .....	44
2.4.4. Effet anti-tumoral.....	45
2.4.5. Effet cardio-protecteur .....	48

2.4.6. Effet neuro-protecteur .....	48
2.4.7. Effets antidiabétique .....	48
2.4.8. Effet anti-ulcéreux .....	49
2.4.9. Usage alimentaire.....	49
2.4.10. Usage en cosmétique.....	50
3. L'huile de figue de barbarie .....	51
3.1. Présentation .....	51
3.2. Composition.....	54
3.2.1. Profil en acide gras.....	54
3.2.2. Les polyphénols .....	55
3.2.3. Les tocophérols et tocotriénols .....	55
3.2.4. Les stérols .....	56
3.3. Paramètres physicochimiques.....	56
3.4. Effets et usages de l'huile de pépin de figue de barbarie .....	57
3.4.1. Effet antioxydant.....	57
3.4.2. Effet anti-inflammatoire.....	57
3.4.3. Effet antimicrobien .....	58
3.4.4. Effet anti-tumoral.....	59
3.4.5. Effet cardio-protecteur .....	59
3.4.6. Effet antidiabétique .....	60
3.4.7. Effet anti-ulcèreux .....	61
3.4.8. Usage alimentaire.....	61
3.4.9. Usage en cosmétique.....	62
V. Conclusion .....	63
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>64</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Structure d'une molécule de triglycéride.....	2
<b>Figure 2.</b> Représentation des composants d'un corps gras et leurs proportions (Morin et <i>al.</i> , 2012).(ppm : Part per million ; ppt : Part per trillion ; ppb : Part per billion). ....	2
<b>Figure 3.</b> Structure des acides gras, insaturé, mono-insaturé et polyinsaturé. ....	3
<b>Figure 4.</b> Les acides gras les plus fréquents (perles-gascogne.com, 2017). ....	4
<b>Figure 5 :</b> Structure du cholestérol et de quelque phytostérols (le Campestérol ; B-Sitostérol et le $\beta$ -Sitostanol) (Jones et AbuMweis, 2008). ....	5
<b>Figure 6.</b> Structure chimique des tocophérols et des tocotriénols (Landrier, 2011). ....	6
<b>Figure 7.</b> Structure chimique du Menthol et du Thymol.....	9
<b>Figure 8.</b> Schéma d'un Expeller (motoxmag.be, 2019). ....	10
<b>Figure 9.</b> Techniques d'extraction d'huile à partir de graines oléagineuses (Rombaut, 2013). .....	11
<b>Figure 10.</b> Schéma d'un système de pressage à froid (Pigeon et <i>al.</i> , 2012) ....	12
<b>Figure 11.</b> Structures de l'hexane et de ses différents isomères. ....	14
<b>Figure 12.</b> Appareil de Soxhlet (Do Tiên, 2016) ....	14
<b>Figure 13.</b> Illustration du fonctionnement d'un appareil de Soxhlet (Weggler et <i>al.</i> , 2020)...	15
<b>Figure 14.</b> Diagramme de phase d'un corps pur (Brunner, 2005). ....	16
<b>Figure 15.</b> Diagramme de phase du CO <sub>2</sub> (Laboureur et <i>al.</i> , 2015). ....	18
<b>Figure 16.</b> Schéma d'une installation d'extraction par CO <sub>2</sub> supercritique (Rombaut, 2013; Sovová et Stateva, 2011).....	19
<b>Figure 17.</b> Représentation des différents composants d'une baie de raisin (Rousserie, 2019). .....	23
<b>Figure 18.</b> Représentation du pépin de raisin et de ses structures cellulaires (Rombaut, 2013).C : cotylédons, E : endosperme (albumen), EM : embryon, Ep : épiderme, II : tégument Inférieur, MI : tégument intermédiaire, OI : tégument supérieur, R : radicule.....	24
<b>Figure 19.</b> Structure des acides gras présents dans l'huile de pépins de raisins (Martin et <i>al.</i> , 2020). ....	26
<b>Figure 20.</b> Structure du $\beta$ -sitostérol et du Stigmastérol (Martin et <i>al.</i> , 2020). ....	28
<b>Figure 21.</b> Photographies de l'angiogenèse et une courbe qui renseigne sur le poids de la tumeur en fonction de la concentration en GSP (Grape seeds proanthocyanidines) (Huang et <i>al.</i> , 2012). ....	32

<b>Figure 22.</b> Effets des proanthocyanidines sur l'expression des VEGF et des Ang1 dans des cellules SW620 (Huang et <i>al.</i> , 2012).....	33
<b>Figure 23.</b> Les constituants de la grenade (bio-provence.org).....	37
<b>Figure 24.</b> Diagramme d'une section longitudinale d'une graine de grenade incluant la partie juteuse (Melgarejo et <i>al.</i> , 2020).....	38
<b>Figure 25.</b> Structure de l'acide punique.....	39
<b>Figure 26.</b> Inhibition mycélienne de l'huile de pépins de grenade (Okan et <i>al.</i> , 2020). .....	45
<b>Figure 27.</b> Effet de l'huile de pépins de grenade sur l'incidence de la tumeur (Hora et <i>al.</i> , 2003). .....	46
<b>Figure 28.</b> Inhibition de l'invasion de cellules cancéreuses du sein humaine MCF-7 par l'huile de pépins de grenade pressée à froid (Kim et <i>al.</i> , 2002).....	47
<b>Figure 29.</b> Représentation de la figue de barbarie (Schweizer, 1997). .....	51
<b>Figure 30.</b> Coupe d'une graine de figue de barbarie (Schweizer, 1997; Habibi, 2004). .....	52
<b>Figure 31.</b> Photomicrographes (grossissement 400x) des îlots pancréatiques de Langerhans (barre d'échelle= 50 µm) (Berraaouan et <i>al.</i> , 2015).....	60

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.</b> Composition des huiles essentielles de la menthe poivrée et la menthe chocolat (Tsai et <i>al.</i> , 2013).....	9
<b>Tableau II.</b> La densité, la diffusivité et la viscosité des liquides, gazes et fluides supercritiques (Sapkale et <i>al.</i> , 2010).....	17
<b>Tableau III.</b> Températures et pressions critiques de quelques solvants utilisés en extraction par fluide supercritique (Rombaut, 2013). ....	17
<b>Tableau IV.</b> Résultats des rendements observés de l'huile de pépin de grenade avec les différents traitements (Đurđevića et <i>al.</i> , 2017). ....	21
<b>Tableau V.</b> Composition biochimique des pépins en pourcentage de poids frais (Cabanis et <i>al.</i> , 1998 ; Rombaut, 2013). ....	24
<b>Tableau VI.</b> Profil lipidique de l'huile de pépins de raisin.....	25
<b>Tableau VII.</b> Composition en Tocophérols and Tocotriénols en mg/Kg d'huile de pépins de raisins (Shinagawa et <i>al.</i> , 2015).....	27
<b>Tableau VIII.</b> Les principaux phytostérols contenus dans l'huile de pépins de raisin (V. vinifera) (Garavaglia et <i>al.</i> , 2016).....	27
<b>Tableau IX.</b> Comparaison des propriétés des huiles de pépins de raisins extraites par hexane et par dioxyde de carbone supercritique (Gómez et <i>al.</i> , 1996). ....	29
<b>Tableau X.</b> Valeurs de certains paramètres caractéristiques de l'huile de pépins de raisin (Mohamadi et <i>al.</i> , 2013).....	29
<b>Tableau XI.</b> Caractéristiques physico chimiques de l'huile de pépins de raisin (Interchimie.fr, 2013). ....	30
<b>Tableau XII.</b> Profil en acide gras de l'huile de pépins de grenade (g/100g) (Hajib et <i>al.</i> , 2021). ....	39
<b>Tableau XIII.</b> Profil des composés phénoliques (mg/100g) de l'huile de pépins de grenade. (Silva et <i>al.</i> , 2019).....	41
<b>Tableau XIV.</b> Composition en tocophérols (mg/100g) de l'huile de pépins de grenade (Hajib et <i>al.</i> , 2021). ....	42
<b>Tableau XV.</b> Composition en stérols (mg/100g) de l'huiles de pépins de grenade (Hajib et <i>al.</i> , 2021). ....	42
<b>Tableau XVI.</b> Paramètres physicochimiques de l'huile de pépins de grenade (Paul et <i>al.</i> , 2020) . ....	43

<b>Tableau XVII.</b> Composition chimique des graines du figuier de barbarie (Habibi, 2004). ....	51
<b>Tableau XVIII.</b> Rendement en huile, en fonction des méthodes d'extraction utilisées et de l'origine des graines de figues de barbarie. ....	53
<b>Tableau XIX.</b> Profil en acide gras de l'huile de pépins de barbarie selon différents pays (Al-Naqeb et <i>al.</i> , 2021).....	54
<b>Tableau XX.</b> CPT de l'huile de pépins de figue de barbarie. ....	55
<b>Tableau XXI.</b> Composition en tocots de l'huile de figue de barbarie. ....	55
<b>Tableau XXII.</b> Composition en stérols de l'huile de figue de barbarie.....	56
<b>Tableau XXIII.</b> Paramètres physico chimiques de l'huile de figue de barbarie. ....	57

## Liste des abréviations

**AGI** : acide gras insaturé

**AGMI** : acide gras mono insaturé

**AGPI** : acide gras polyinsaturé

**AGS** : acide gras saturé

**Ang1** : Angiopoietin 1

**aP2** : adipocyte protein 2

**CCl<sub>4</sub>** : tétrachlorure de carbone

**COX** : cyclooxygénases

**ABTS** : 2,20-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt

**DPPH** : 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl-hydrate

**FDA** : Food and Drug Administration

**EAG** : équivalent en acide gallique

**GLUT** : transporteurs de glucose

**GSO** : Grape Seed Oil (Huile de pépin de raisin)

**GSP** : Grape Seeds Proanthocyanidines

**IA** : Indice para-anisidine

**iNOS** : Inducible nitric oxide synthase

**INRS** : Institut national de recherche et de sécurité

**IP** : Indice peroxide

**LPS** : Lipopolysaccharides

**LXR** : liver X receptor

**NF- $\kappa$ B** : nuclear factor  $\kappa$ B

**OPC** : oligomères pro-cyan-doliques

**Pc** : pression critique

**PI3K** : phosphoinositide 3-kinase

**PKB** : protéine kinase B

**PPAR** : Peroxisome Proliferator-Activated Receptor

**SC-CO<sub>2</sub>** : Supercritical CO<sub>2</sub>

**Tc** : Température critique

**TGF** : Transforming Growth Factor

**TNF** : Tumor Necrosis Factor

**TOTOX** : TOTAl OXidation

**CPT** : Composes phénoliques totaux

**TRF** : fraction riche en tocotriénols

**Trolox** : 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid

**VEGF** : Vascular endothelial growth factor

**XO** : xanthine oxidase

## **Résumé**

Les bienfaits des huiles végétales sont connus depuis très longtemps ainsi diverses méthodes d'extraction ont été développées, permettant d'améliorer les taux de rendements et la qualité des produits obtenus, notamment l'extraction par pressage, par l'utilisation de l'hexane ou du CO<sub>2</sub> supercritique. Les huiles végétales sont bénéfiques pour la santé et ceci grâce à leurs différents composants notamment les acides gras, les polyphénols, les vitamines et les stérols. Aujourd'hui de nouvelles sources d'huiles sont exploitées dans le but de les valoriser et d'obtenir des produits ayant des activités et des propriétés intéressantes pour différentes utilisations. Ainsi, les huiles extraites à partir des pépins de raisin, de grenade et de figue de barbarie ont de puissants effets antioxydant, anti-inflammatoire, antidiabétique, antitumorale, cardioprotecteur et bien d'autres. Ce qui leur donne le mérite d'être des substituts aux médicaments.

**Mots clés :** Huiles végétales, extraction, effets biologiques, huiles de pépins.

## **Abstract**

The benefits of vegetable oils have been known for a very long time thus various extraction methods have been developed, allowing to improve the yield rates and the quality of the obtained products, in particular the extraction by pressing, by the use of hexane or supercritical CO<sub>2</sub>. Vegetable oils are beneficial for health thanks to their various components including fatty acids, polyphenols, vitamins and sterols. Today, new sources of oils are being exploited with the aim of valorizing them and obtaining products with activities and properties of interest for different uses. For example, oils extracted from grape, pomegranate and prickly pear seeds have powerful antioxidant, anti-inflammatory, antidiabetic, antitumor, cardioprotective and many other effects. This gives them the merit of being substitutes for drugs.

**Key words:** Vegetable oils, extraction, biological effects, seed oils.

## **Introduction.**

Depuis des millénaires, l'Homme a fait usage des huiles végétales dans divers domaines. Dans l'alimentation comme source d'énergie importante avec un apport significatif en lipides et en vitamines, en cosmétique pour des soins de la peau et des cheveux, utilisées aussi à des fins thérapeutiques, voir le traitement des blessures et la régénération des tissus. Elles sont même utilisées à des fins d'éclairage. Au temps de l'Égypte ancienne, les huiles étaient déjà en vigueur et elles sont même utilisées dans des rituels leurs donnant un côté sacré. En méditerranée, c'est l'huile d'olive qui est la plus exploitée et utilisée et fait partie de l'histoire et de la culture des populations. Des traces d'huile d'olive ont même été trouvées dans des pots datant de 8000 ans (Namdar et *al.*, 2014).

Dans pratiquement chaque région du globe, on trouvera par influence de nombreux facteurs comme le climat, les besoins et les préférences des habitants, un savoir faire et des connaissances développées spécifiquement pour certaines huiles. En ces temps modernes, les huiles végétales sont toutes aussi et même plus importantes qu'autrefois. Dans certaines sociétés, elles sont considérées comme la principale source de lipides devant la graisse animale et constituent jusqu'à 25% d'apport en calorie dans certains pays (Schmid et Ohlrogge, 2008). Le développement des technologies d'analyse et d'extraction a permis d'ouvrir la voie à l'exploration de nouvelles sources permettant l'obtention de différentes huiles qui ont différentes propriétés. Ce qui était dans le passé rejeté dans certaines industries est maintenant valorisé et constitue même d'importants marchés.

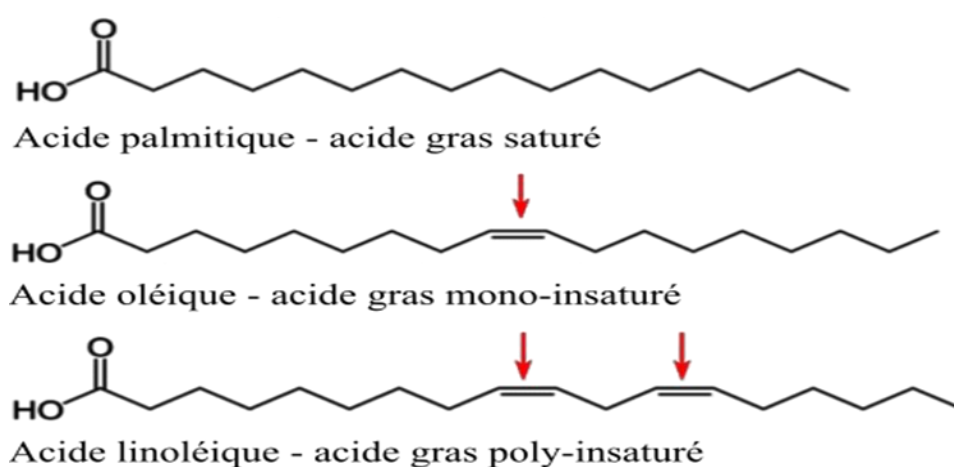
Dans cette étude trois huiles végétales seront présentées. Les huiles concernées sont, l'huile de pépins de raisin, de grenade et de figue de barbarie. Leurs choix n'est pas hasardeux, ce sont des huiles qui présentent un grand potentiel surtout en région méditerranéenne, où leurs fruits sont disponibles et adaptés au climat de la région. En effet, les raisins sont massivement cultivés, notamment pour l'industrie vinicole qui est très développée dans le bassin méditerranéen. Les grenades et les figues de barbarie sont elles aussi cultivées dans pas mal de pays de la région et dans le monde.



Les techniques et outils d'analyse avancés offrent la possibilité d'obtenir la composition de différentes huiles. Ce qui permet de s'informer sur leurs propriétés et prévoir leur usage le plus adéquat. De nombreuses graines sont maintenant connues pour donner des huiles avec des teneurs variées, des proportions variées en différents acides gras et en composants mineurs.

### 2. Les acides gras

Les acides gras, composants majoritaires des huiles, peuvent être en fonction de leur configuration chimique saturés ou insaturés (mono-insaturé ou polyinsaturé) (figure 3).



**Figure 3.** Structure des acides gras, insaturé, mono-insaturé et polyinsaturé.

Un acide gras saturé (AGS) est un acide gras dont toutes les liaisons entre les carbones sont simples, sans aucune double liaison carbone-carbone. Contrairement à un acide gras insaturé (AGI) qui lui en possède au minimum une. On parle d'un acide gras mono insaturé (AGMI) s'il contient qu'une seule double liaison carbone-carbone. Et d'un acide gras polyinsaturé (AGPI) s'il en contient plusieurs (Rustan et *al.*, 2005). C'est dans cette dernière catégorie (AGPI) qu'on trouve les oméga 6 et oméga 3 qui sont des familles d'acides gras dit essentiels, indispensables au bon fonctionnement et au développement du corps humain, et que l'organisme ne sait pas fabriquer et ils doivent être apportés par l'alimentation (Kaur et *al.*, 2014). Les acides gras insaturés ont généralement un point de fusion plus bas que celui des acides gras saturés (Cuvelier et *al.*, 2004). Et par conséquent plus une huile est riche en acides gras insaturés, mono-insaturés ou polyinsaturés plus elle sera fluide (figure 4) (perles-gascogne.com, 2017).



ACIDES GRAS	NOMBRE D'ATOMES DE CARBONE	FORMULE CHIMIQUE
<b>Saturés</b>		
Acide butyrique	4	$C_3H_7COOH$
Acide caproïque	6	$C_5H_{11}COOH$
Acide caprylique	8	$C_7H_{15}COOH$
Acide caprique	10	$C_9H_{19}COOH$
Acide laurique	12	$C_{11}H_{23}COOH$
Acide myristique	14	$C_{13}H_{27}COOH$
Acide palmitique	16	$C_{15}H_{31}COOH$
Acide stéarique	18	$C_{17}H_{35}COOH$
Acide arachidique	20	$C_{19}H_{39}COOH$
<b>Monoinsaturés</b>		
Acide palmitoléique	16	$C_{15}H_{29}COOH$
Acide oléique	18	$C_{17}H_{33}COOH$
<b>Polyinsaturés</b>		
Acide linoléique	18	$C_{17}H_{31}COOH$
Acide linoléinique	18	$C_{17}H_{29}COOH$
Acide arachidonique	20	$C_{19}H_{31}COOH$

**Figure 4.** Les acides gras les plus fréquents (perles-gascogne.com, 2017).

Selon l'origine de l'huile, différentes proportions de différents acides gras peuvent être retrouvées, cela concerne aussi les composants mineurs. Cette grande possibilité de combinaisons donne aux huiles des caractéristiques spécifiques qu'on peut répertorier. Ainsi, selon les besoins, certaines huiles sont plus privilégiées que d'autres.

## 2.1. Rôles des acides gras

Les acides gras sont une source d'énergie importante, ils peuvent être stockés dans l'organisme notamment dans les tissus adipeux et sont mobilisés selon les besoins (1 g de lipides fournit 9 Kcal). Ils jouent aussi un rôle structural, en entrant dans la composition des phospholipides qui forment la membrane cellulaire offrant à cette dernière une certaine fluidité indispensable à la communication et aux échanges cellulaires. Certains AGPI sont les précurseurs de molécules essentielles à la régulation de l'inflammation et à la régénération des tissus. Certains acides gras peuvent interagir avec de nombreux récepteurs nucléaires, et peuvent jouer un rôle de facteur de transcription, participant ainsi à la régulation des processus métaboliques, de la prolifération cellulaire ou de l'apoptose, à titre d'exemple : Le PPAR (Peroxisome Proliferator Activated Receptor) (Barbier et *al.*, 2002; Baran, 2014). Aussi, les acides gras peuvent entrer dans la composition de nombreux produits tels des savons, des lubrifiants ou même utilisés comme émulsifiants.

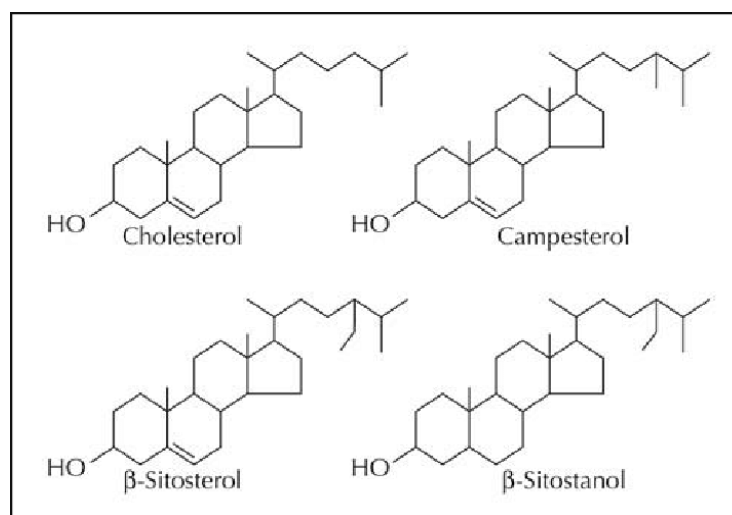
### 3. Les composants mineurs

#### 3.1. Les composés phénoliques

Ils sont classés en trois grandes catégories : les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins (Ba et *al.*, 2010). Ils possèdent d'importantes propriétés antioxydantes et ils sont impliqués dans la prévention de nombreux cancers et maladies cardio-vasculaires. Ils participent aussi à la qualité organoleptique et nutritionnelle (Fleuriet et *al.*, 1996).

#### 3.2. Les phytostérols

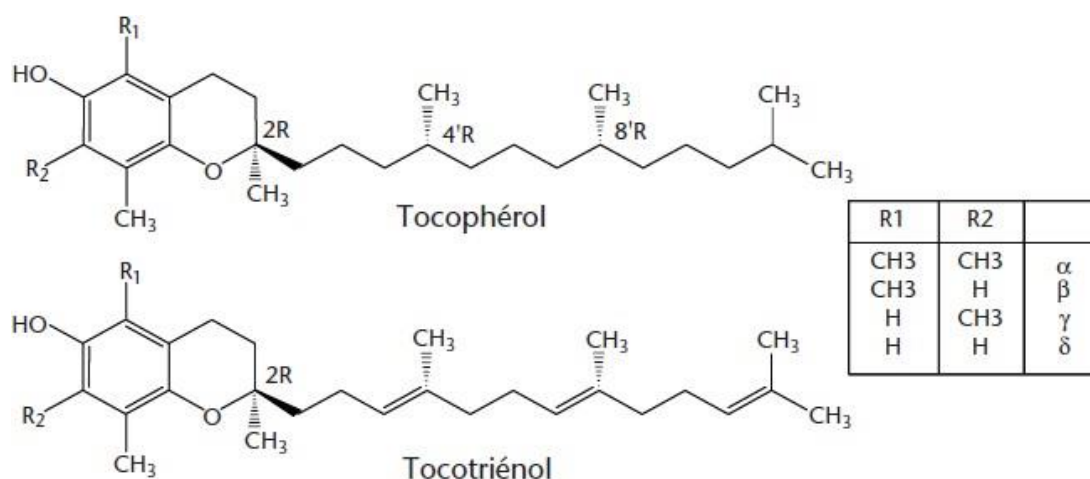
Ils sont présents à des proportions de 0,1 à 0,5 % en moyenne dans les huiles végétales. Leur structure moléculaire (figure 5) est très proche de celle du cholestérol qui lui, est d'origine animale. Ils ont un effet hypocholestérolémiant en diminuant son absorption intestinale par compétition (passeportsante.net).



**Figure 5 :** Structure du cholestérol et de quelque phytostérols (le Campesterol ; B-Sitostérol et le β-Sitostanol) (Jones et AbuMweis, 2008).

#### 3.3. Les tocophérols et tocotriénols (Tocols ou Vitamine E)

Ils sont deux familles possédantes chacune quatre formes distinctes avec des activités biologiques différentes (figure 6). Ils ont comme rôle d'antioxydant biologique, et protègent les acides gras polyinsaturés au niveau des membranes cellulaires et des lipoprotéines. Les huiles végétales sont l'une des principales sources avec les céréales et les fruits d'apports en vitamine E. Les formes les plus fréquentes sont les formes  $\alpha$ - et  $\gamma$ -tocophérol (Jiang et *al.*, 2001; Landrier, 2011).



**Figure 6.** Structure chimique des tocophérols et des tocotriénols (Landrier, 2011).

### 3.4. Autres composants

On peut trouver une multitude d'autres composants comme les caroténoïdes, les phospholipides, les hydrocarbures...etc. Leurs proportions varient d'une huile à une autre (perles-gascogne.com, 2017).

## 4. Classification des huiles

### 4.1. Classification des huiles selon leur composition en acides gras

Selon la composition d'une huile en acides gras, elles peuvent être classées en différentes familles. Selon les caractéristiques de ces familles, elles peuvent être nombreuses, mais d'après (Morin et *al.*, 2012) il existe 4 familles principales :

#### 4.1.1. La famille oléique

Dans cette famille l'acide gras majoritaire est l'acide oléique (C18:1  $\omega$ 9, ou n-9), un AGMI. Exemples : huiles d'olive, d'arachide, de noisette, et certaines variétés de l'huile de colza et l'huile de tournesol.

#### 4.1.2. La famille linoléique

Dans cette famille l'acide gras majoritaire est l'acide linoléique (C18:2  $\omega$ 6 ou n-6), un AGPI avec deux insaturations. Exemples : huiles de soja, de tournesol, l'huile de pépins de raisin.

### **4.1.3. La famille alpha-linolénique**

Dans cette famille l'acide alpha-linolénique (C18:3  $\omega$ 3 ou n-3), un AGPI avec deux insaturations et présent de façon significative. Exemples : huiles de soja, huile de noix et de lin (certaines variétés).

### **4.1.4. La famille riche en acides gras saturés (AGS)**

Dans cette famille de nombreux AGS peuvent être retrouvés en quantité moyenne à forte. Les principaux représentants sont : l'acide l'aurique (C12:0), l'acide palmitique (C16:0) et l'acide stéarique (C18:0).

## **4.2. Autres classifications**

Les huiles végétales alimentaires peuvent aussi être différenciées selon leurs procédés d'obtention et leur degré de raffinage (Rombaut, 2013):

### **4.2.1. Les huiles vierges**

Elles sont obtenues par pressage combiné à un chauffage et dont le raffinage est limité à des procédés physiques (décantation, filtration et centrifugation).

### **4.2.2. Les huiles obtenues par pressage à froid**

La seule différence entre celle-ci et les huiles vierges, c'est l'absence de chauffage pendant le procédé d'extraction mécanique.

### **4.2.3. Les huiles raffinées**

Après une extraction par un procédé mécanique ou par solvants (hexane), un procédé de raffinage est nécessaire afin d'éliminer les composés indésirables. Les huiles obtenues sont appelées huiles raffinées (Rombaut, 2013).

## **5. La qualité d'une huile végétale**

La qualité d'une huile est conditionnée par de nombreux paramètres physiques et chimiques, qui sont influencés par l'origine de l'huile (variable climatique, géographique...) et les conditions de traitement et de conservation (Shahidi et *al.*, 2020).

## 5.1. Les critères de qualité

Les critères de qualité sont multiples. Ils incluent le profile en acide gras, la teneur en composés polaires, en antioxydants, en polluants et en composés carbonyles, la couleur et l'apparence de l'huile et bien d'autres (Rombaut, 2013). Les critères les plus fréquents sont:

### 5.1.1. Indice acide

Correspond au nombre de mg d'hydroxyde de potassium nécessaires pour neutraliser les acides gras libres présents dans 1 g de corps gras. L'hydrolyse partielle des triglycérides que ce soit par action chimique (présence d'eau), ou par action enzymatique lipolytique, induit la formation d'acides gras libre qui cause la détérioration de l'huile. La valeur maximum de cet indice selon le codex Alimentarius Commission est de 0.6 mg KOH/g d'huile pour les huiles raffinées et de 4 mg KOH/g d'huile pour les huiles vierges et pressées à froid (Rombaut, 2013 ; Ollivier et *al.*, 2015).

### 5.1.2. Indice peroxyde (IP) :

L'Indice de peroxyde représente l'état d'oxydation de l'huile. Il mesure le milliéquivalent d'oxygène actif (hydroperoxydes) par gramme d'huile et s'exprime de différente manière : Milliéquivalent d'oxygène actif par kilogramme (meqO<sub>2</sub>/kg), microgrammes par gramme (µg/g) et mole par kilogramme (mol/kg). La valeur maximale permise est de 10 meq O<sub>2</sub>/kg d'huile pour les huiles raffinées et de 15 meqO<sub>2</sub>/kg d'huile pour les huiles vierges et pressées à froid (Ollivier et *al.*, 2015; Rombaut, 2013).

### 5.1.3. Indice para-anisidine (IA):

Il permet de quantifier la quantité des composés aldéhydiques responsables des odeurs de rance des huiles (Ollivier et *al.*, 2015). La p-anisidine réagit avec les aldéhydes dans de l'acide acétique et donne une couleur jaunâtre qui peut être mesurée à 350nm (Irwin et *al.*, 2004).

### 5.1.4. Indice TOTOX

La TOTAL OXYdation value, donne une représentation de l'état d'oxydation de l'huile. Elle est déterminée après connaissance de l'indice peroxyde (IP) et de l'indice para-anisidine (IA) sous cette formule : TOTOX = 2IP + IA. (Ollivier et *al.*, 2015).

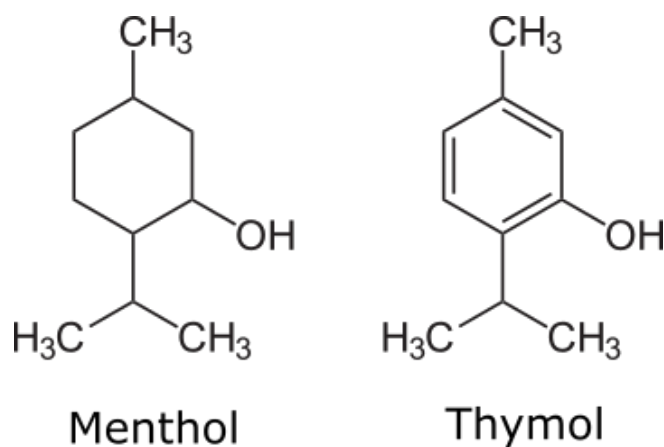
## 6. Différence entre les huiles végétales et les huiles essentielles

Les huiles essentielles sont différentes des huiles végétales d'un point de vue chimique. Les huiles essentielles sont des concentrés de composés volatiles et se composent essentiellement d'hydrocarbures et de composants oxygénés issus de différentes parties de certaines plantes et s'obtiennent souvent par distillation. Elles se dissolvent dans l'alcool contrairement aux huiles végétales. Les huiles essentielles se dissolvent aussi dans les huiles végétales et les corps gras en générale (wikipedia.org, futura-science.com).

Le tableau I résume la composition de deux huiles essentielles (menthe poivrée et menthe chocolat), elles ont un haut niveau d'alcool de 43,47% à 50,10% et le composant majeur est le menthol (figure 7) (Tsai et al., 2013). L'huile essentielle du thym (*Thymus vulgaris*) se compose majoritairement de thymol (47,59%), de  $\gamma$ -terpinene (30,90%) et de p-cymene (8,41%) (Borugă et al., 2014).

**Tableau I.** Composition des huiles essentielles de la menthe poivrée et la menthe chocolat (Tsai et al., 2013).

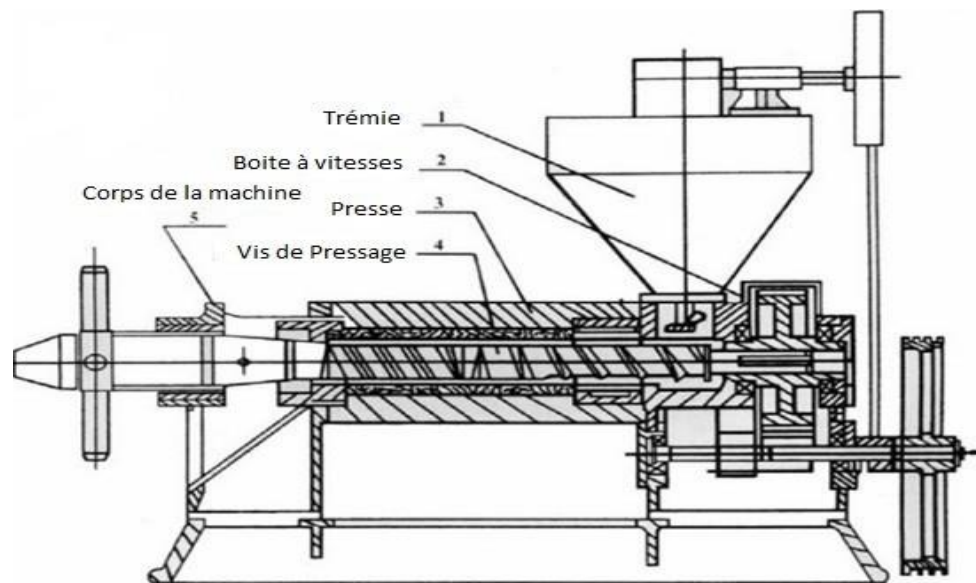
Classe	Menthe poivrée( <i>M. piperita</i> L.)	Menthe chocolat( <i>M. piperita</i> L.)
Alcools	43,47	50,10
Cétones	25,90	9,68
Terpènes	18,55	21,07
Esters	2,81	3,25
Autres	9,27	15,90



**Figure 7.** Structure chimique du Menthol et du Thymol.

## Chapitre II. Extraction des huiles végétales

Les méthodes d'extraction anciennes n'étaient pas très développées. En effet la principale méthode consiste à écraser la matière végétale afin d'en extraire l'huile en utilisant des outils basiques comme le mortier et le pilon. Au cours de l'évolution de la technologie, des instruments plus avancés ont été inventés, comme les presses hydrauliques ou les presses mécaniques (Expeller, figure 8), permettant d'améliorer le rendement et l'efficacité (aveno.com, 2020).

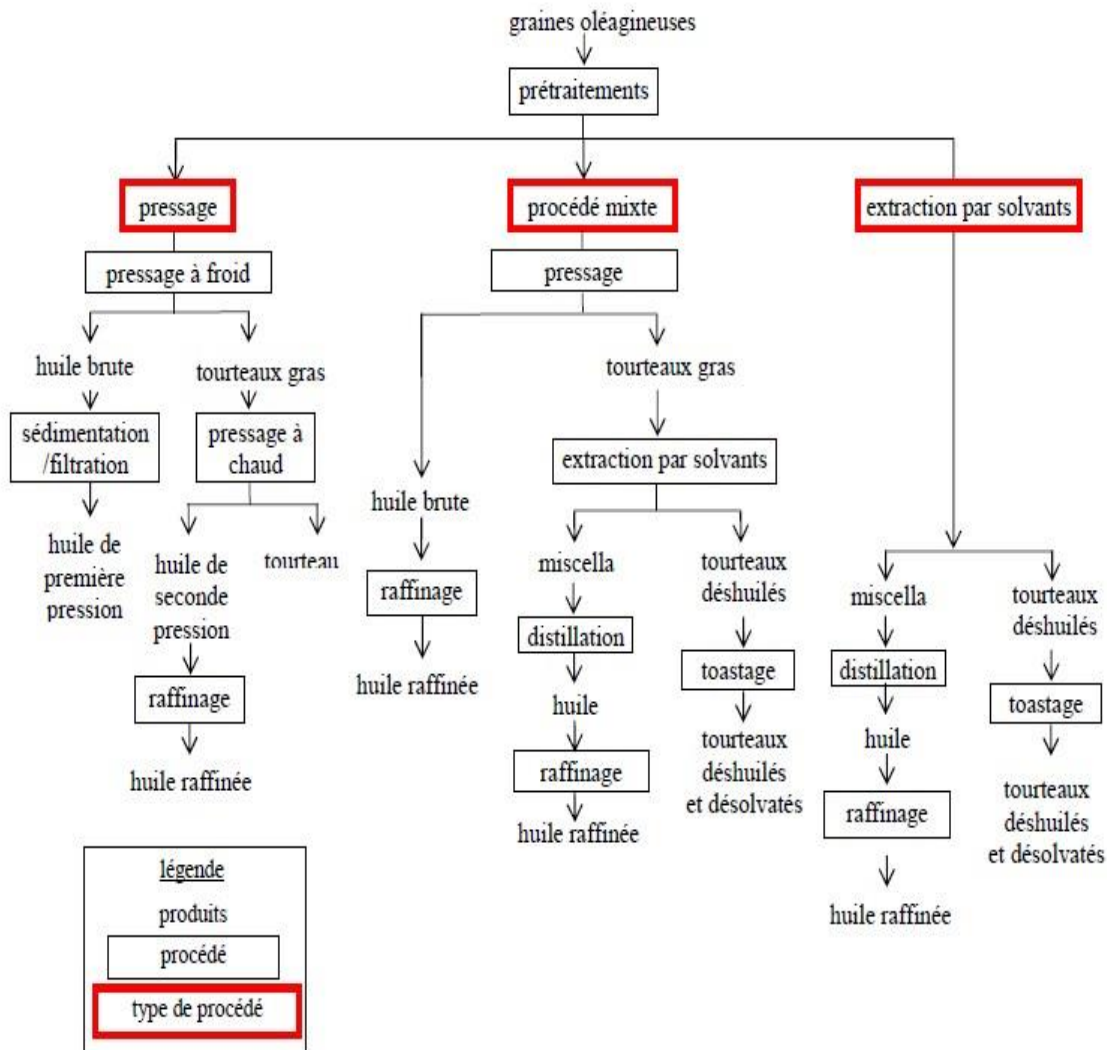


**Figure 8.** Schéma d'un Expeller (motoxmag.be, 2019).

Aujourd'hui, les techniques d'extraction des huiles sont bien développées, plusieurs sont utilisées au niveau industriel comme l'extraction par solvant organique ou par fluide supercritique. Ces dernières permettent d'avoir des rendements élevés et l'obtention de différentes huiles qui proviennent de différentes sources. Néanmoins les techniques à presse sont encore très utilisées et connues pour produire des huiles de bonne qualité et sont favorisées dans certains cas. Conventionnellement, il ya 3 procédés pour l'extraction d'huile de graines oléagineuses, comme l'illustre la figure 9. Il ya le pressage mécanique, l'extraction par solvant et le procédé mixte. Ce dernier consiste à faire d'abord un pressage, ensuite on applique une extraction par solvant aux résidus (tourteaux) (Rombaut, 2013).

Ces procédés présentent beaucoup d'avantages, néanmoins ils ont aussi des inconvénients, tels que des taux de rendements faibles pour le pressage et la présence dans l'huile de traces de résidus qui proviennent de l'utilisation de solvant organique comme l'hexane ou le dichlorométhane, ainsi de nouvelles variations et de techniques sont étudiées

afin de pallier ces problèmes. L'une des techniques de choix qui peut se positionner comme substituant à l'extraction par solvant organique est l'extraction par CO<sub>2</sub> supercritique. Cette dernière est réputée d'être sûre avec des taux de rendements acceptables (Sapkale et *al.*, 2010).



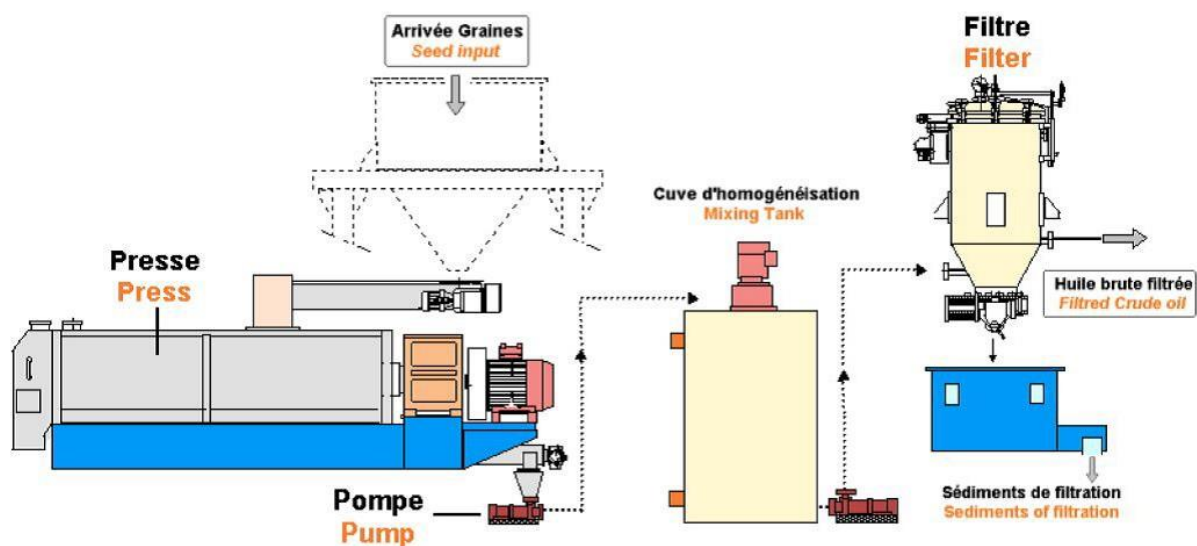
**Figure 9.** Techniques d'extraction d'huile à partir de graines oléagineuses (Rombaut, 2013).

Avant tout traitement, il faut d'abord préparer les graines, les nettoyer, éliminer les non mures, leur faire subir des lavages et les sécher. Des prétraitements peuvent être appliqués aussi et auront pour but de faciliter l'extraction de l'huile et d'augmenter le rendement. Toutes sortes de prétraitements peuvent être appliqués, que ce soit de nature physique, thermique, ou mécanique...etc. Des prétraitements à micro-ondes ou à enzymes peuvent aussi être utilisés et permettent d'améliorer le rendement sans dégrader les composants de l'huile (Rombaut, 2013).

## 1. Extraction par pressage mécanique

### 1.1. Extraction par pressage à froid

Dans cette méthode les graines sont pressées d'une façon simple ou successive avec une température inférieure à 60° C, ce qui permet d'obtenir après filtration des huiles de bonne qualité mais avec un faible rendement. On peut utiliser différents types de presses comme des presses à vis ou à barreaux. La figure 10 représente un exemple d'installation de pressage à froid (Pigeon et *al.*, 2012).



**Figure 10.** Schéma d'un système de pressage à froid (Pigeon et *al.*, 2012)

### 1.2. Extraction par pressage à chaud

L'extraction avec ce procédé nécessite que les graines soient broyées et chauffées avant de subir le pressage. Il ya aussi une variante ou les graines doivent d'abord subir une première pression à froid, ensuite le tourteau obtenu va d'abord être chauffé avant de se faire presser. La température peut atteindre 120°C (Pigeon et *al.*, 2012). Avec le traitement thermique, la fluidité de l'huile est augmentée, ce qui permet d'améliorer le rendement d'où l'utilisation de ce procédé dans l'industrie bien que certaines propriétés de l'huile risquent d'être altérées notamment la modification des acides gras et des polyphénols.

## 2. Extraction par solvant organique

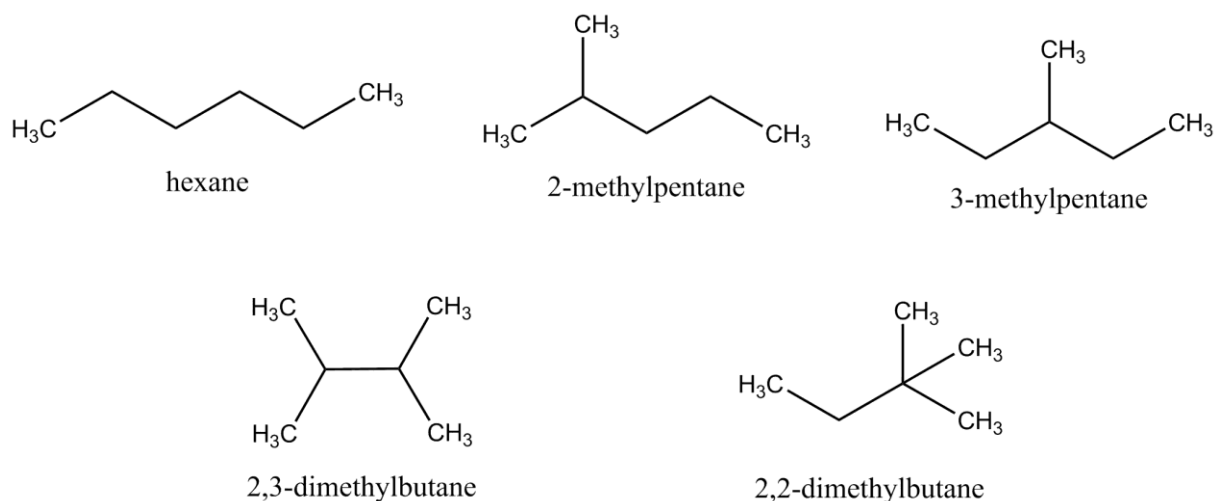
### 2.1. Principe

L'extraction des huiles végétales par solvant est le deuxième procédé le plus utilisé dans l'industrie après le pressage. L'hexane est le solvant le plus utilisé (Rombaut, 2013 ; Lavenburg et *al.*, 2021).

La transformation des graines ou des pépins en huile se fait d'abord par le broiement de ces derniers pour les transformer en farine. Une pression sera appliquée par la suite pour en faire des petits pellets. Ces derniers sont mis en contact avec le solvant pour l'obtention de l'huile. L'étape suivante est la séparation de l'huile et du solvant par distillation. De la chaleur ou de la vapeur peuvent être appliquées afin d'aider le processus de séparation (Pierron et *al.*, 2017).

Après ce traitement, on obtient une huile brute qui n'est pas encore prête à l'utilisation. De couleur foncée et un goût désagréable, elle contient aussi de la cire. Un procédé de raffinage est nécessaire qui permettra le décirage, la neutralisation, la décoloration ainsi que la désodorisation sous vide éliminant ainsi la couleur foncée et le mauvais goût (Luque-Rodriguez et *al.*, 2005; Pierron et *al.*, 2017).

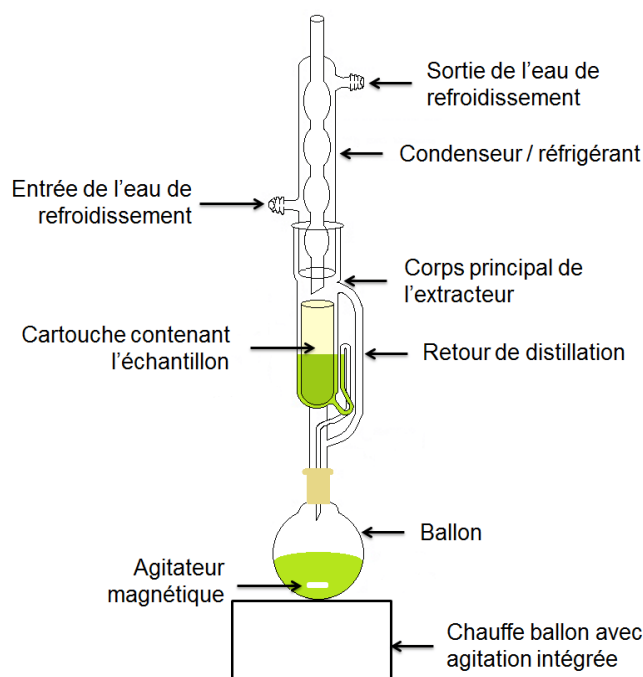
L'hexane commercial correspond à un mélange d'hydrocarbures saturé en C6 dont le n-hexane (normal hexane) est le constituant principal (50% en poids), les autres constituants sont des isomères de l'hexane et autres hydrocarbures (figure 11). L'hexane est un liquide incolore, volatil, insoluble dans l'eau. En plus de ces propriétés, son taux d'évaporation élevé et sa température d'ébullition relativement basse qui est de 68-69° C le rend parfait pour une utilisation comme solvant non-polaire afin d'extraire des huiles végétales (INRS, 2019, Lavenburg et *al.*, 2021).



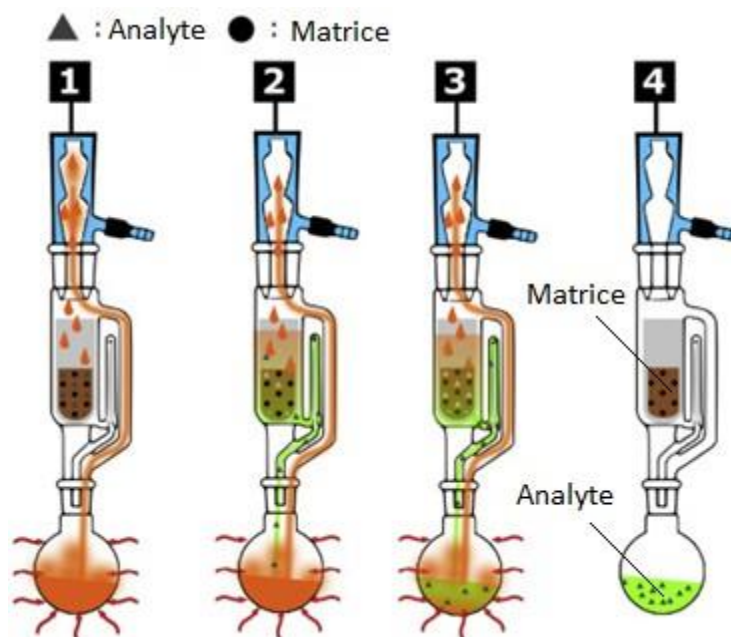
**Figure 11.** Structures de l'hexane et de ses différents isomères.

## 2.2. Avantages et inconvénients

L'extraction à l'hexane est très utilisée par les industries. Elle offre un taux de rendement élevé, cependant elle nécessite plusieurs heures (Luque-Rodriguez et *al.*, 2005). L'appareil de Soxhlet (figure 12) permet de réaliser ce type d'extraction, les figures 12 et 13 présentent les différentes parties de l'appareil et son principe de fonctionnement.



**Figure 12.** Appareil de Soxhlet (Do Tiên, 2016)



**Figure 13.** Illustration du fonctionnement d'un appareil de Soxhlet (Weggler et *al.*, 2020).

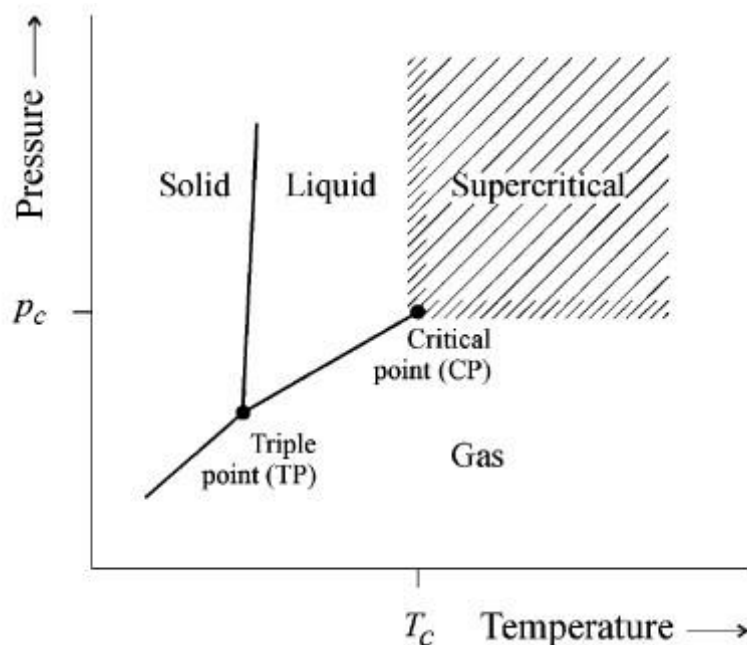
- 1) L'échantillon est placé dans la cartouche, le solvant est chauffé sous un reflux.
- 2) Etape de condensation et d'extraction avec du solvant « frais ». Les solutés seront transférés de la chambre d'extraction vers le réservoir.
- 3) On répète le cycle d'extraction jusqu'à l'achèvement de l'extraction (4).

Pour nos huiles d'intérêts, l'extraction à l'hexane est évidemment utilisée. Elle est même la méthode la plus utilisée pour extraire l'huile de pépins de raisin (Luque-Rodriguez et *al.*, 2005). Elle est largement utilisée pour l'obtention l'huile de pépins de grenade (Paul et *al.*, 2020) et est reconnue aussi pour l'extraction de l'huile de pépins de figue de barbarie (Koubaa et *al.*, 2016). Concernant les inconvénients, l'utilisation d'hexane est susceptible de causer des problèmes environnementaux et des problèmes de santé. Sa fiche toxicologique établie par l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité) nous informe qu'il peut provoquer de nombreuses complications, des irritations cutanées, des problèmes de fertilité, des somnolences ou vertiges, allant jusqu'à la mort en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires (INRS, 2019). Il est aussi remis en question en raison de sa toxicité possible notamment sur le système nerveux et de son inflammabilité. Il est même explosif, ce qui peut constituer un danger pour les travailleurs en usine (Lavenburg et *al.*, 2021) poussant les industriels à la recherche de nouvelles méthodes d'extraction plus rassurantes, respectueuses de l'environnement et qui offrent les mêmes taux de rendement (Fine et *al.*, 2013).

### 3. Extraction par CO<sub>2</sub> supercritique SC-CO<sub>2</sub>

#### 3.1. Définition d'un fluide supercritique

D'après Sapkale et *al.*(2010), un fluide supercritique est quelque substance soumise à une pression et à une température qui dépassent son point critique, c'est à dire, soumise à une pression qui dépasse sa pression critique ( $P_c$ ) et une température qui dépasse sa température critique ( $T_c$ ) (figure 14). Quand juste une seule de ces conditions est satisfaite on parle dans ce cas d'un fluide subcritique.



**Figure 14.** Diagramme de phase d'un corps pur (Brunner, 2005).

Cet état a été découvert par Baron Cagniard de la Tour en 1822. Le comportement d'un fluide supercritique est intermédiaire entre celui de l'état liquide et de l'état gazeux. Il peut dissoudre les matériaux comme un liquide et diffuser à travers les solides comme un gaz. Il possède une viscosité faible proche de celle des gaz et une masse volumique proche de celle des liquides (tableau II), ce qui lui confère un pouvoir solvant proche de celui des liquides avec une diffusivité intermédiaire (Rombaut, 2013).

**Tableau II.** La densité, la diffusivité et la viscosité des liquides, gazes et fluides supercritiques (Sapkale et *al.*, 2010).

	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosité (μPa·s)	Diffusivité (mm <sup>2</sup> /s)
Gazes	1	10	1-10
Fluides supercritique	100-1000	50-100	0.01-0.1
Liquides	1000	500-1000	0.001

Les propriétés des fluides supercritiques sont modulables et peuvent être modifiées en changeant la pression ou la température (Rombaut, 2013). Une augmentation de la température va faire diminuer la masse volumique du milieu et par conséquent, il y'aura une diminution de la viscosité et une augmentation de la fluidité des fluides supercritiques. En revanche, une élévation de la pression va faire augmenter la masse volumique, une élévation de la viscosité et une diminution de la diffusivité. Le transfert de matière est favorisé par une grande diffusivité et une faible viscosité qui permet une meilleure pénétration dans les solides (Herzi, 2013).

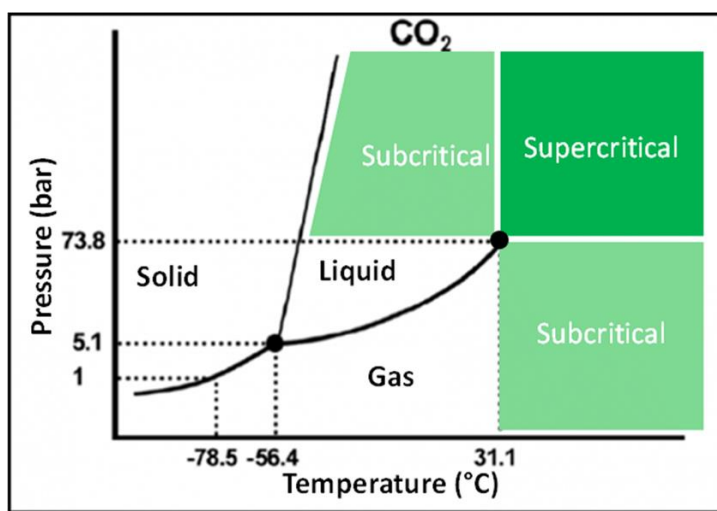
### 3.2. Le CO<sub>2</sub> supercritique (SC-CO<sub>2</sub>)

Depuis les années 70, un intérêt vers les fluides supercritiques pour des fins d'extraction s'est développé. Maintenant différents fluides supercritiques sont utilisés pour l'extraction (Sapkale et *al.*, 2010; Rombaut, 2013). Le tableau III présente les quelques fluides utilisés :

**Tableau III.** Températures et pressions critiques de quelques solvants utilisés en extraction par fluide supercritique (Rombaut, 2013).

Composé	Tc (°C)	Pc (MPa)	Molécules extraites
Dioxyde de carbone	31,1	7,38	Huile de lin
Ethane	32,3	4,87	Beurre de cacao, caféine, théobromine
Propane	98,6	4,25	Oléorésines, extraits de gingembre
Méthanol	239,6	8,09	Pesticides
Ethanol	240,9	6,14	Cellulose
Acétone	235,1	4,70	Acides gras du bois de hêtre
Hexane	234,5	3,01	Chaines aliphatiques
Eau	374,1	22,06	Hydrocarbures aromatiques polycycliques

Le dioxyde de carbone est actuellement le fluide supercritique le plus utilisé avec des conditions critiques intéressantes pour l'extraction ( $T_c = 31\text{ °C}$ ,  $P_c = 73,8\text{ bar}$ ) (figure 15) (Rombaut, 2013). En plus de produire une huile sans résidus de solvant qui peuvent être dangereux, la densité du  $\text{CO}_2$  supercritique à environ 200 bar et les caractéristiques de solvation sont similaires à celles de l'hexane (Sapkale et al., 2010), tout en offrant des taux de rendement semblables (Gómez et al., 1996).



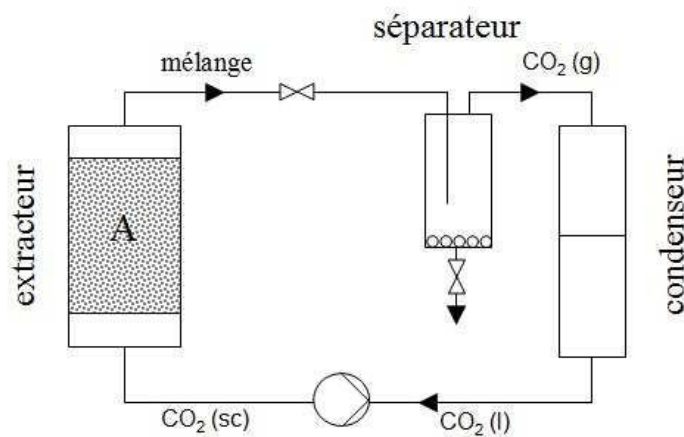
**Figure 15.** Diagramme de phase du  $\text{CO}_2$  (Laboureur et al., 2015).

L'extraction par  $\text{CO}_2$  supercritique permet de ne pas avoir recours aux étapes de distillation pour séparer le solvant et l'huile et aussi d'éviter les étapes de raffinage (Luque-Rodriguez et al., 2005). Autre avantage c'est la sélectivité et la vitesse du processus, ainsi en variant la température ou la pression on peut changer son pouvoir solvant permettant de cibler certaines substances. Le processus peut être accompli en 10 à 60 minutes contrairement à une extraction à l'hexane qui peut durer des heures (Sapkale et al., 2010).

Le dioxyde de carbone est non toxique, non inflammable, non corrosive, disponible en grande quantité à hauts degrés de pureté. Il est reconnu comme non dangereux (Generally Recognized As Safe) par la FDA (Food and Drug Administration), ce qui est rassurant pour les industries qui cherchent une alternative aux solvants organiques comme l'hexane, et pour les utilisateurs qui sont de plus en plus exigeants (Gómez et al., 1996 ; Rombaut, 2013).

### 3.3. Principe d'extraction avec le CO<sub>2</sub> supercritique

L'extraction par fluide supercritique consiste à séparer un composant d'un autre (une matrice), en utilisant le fluide supercritique comme solvant en l'occurrence le CO<sub>2</sub>. Ce dernier va diffuser dans l'extracteur (figure 16) qui contient la matière végétale, et va extraire l'huile, ce qui permettra d'obtenir un mélange huile-CO<sub>2</sub> supercritique qui seront séparés par une dépressurisation du CO<sub>2</sub> supercritique. Le CO<sub>2</sub> va être récupéré et recyclé dans l'appareillage pour une autre utilisation (Rombaut, 2013). L'huile obtenue est sans résidus de CO<sub>2</sub>, et l'absence de traitement thermique permet de ne pas dégrader certains de ses composants. Le coût d'une installation est l'un des inconvénients majeurs, aussi le fait que le CO<sub>2</sub> supercritique possède une très faible polarité, ce qui oblige dans certains cas à travailler sous des pressions très élevées ou à l'ajout de Co-solvants polaires comme l'éthanol afin d'augmenter le pouvoir solvant (Herzi, 2013).



**Figure 16.** Schéma d'une installation d'extraction par CO<sub>2</sub> supercritique (Rombaut, 2013; Sovová et Stateva, 2011).

## 4. Variations et prétraitements

### 4.1. Extraction par hexane surchauffé

Selon Luque-Rodriguez et *al.*(2005), l'hexane surchauffé permet de réduire le temps d'extraction de façon considérable, elle est même plus rapide que l'extraction avec le CO<sub>2</sub> supercritique.

### 4.2. Prétraitements enzymatiques

Des prétraitements enzymatiques peuvent être appliqués pour augmenter le rendement. En effet, Passos et *al.*(2009) ont démontré que selon certaines conditions, le rendement peut être drastiquement amélioré par l'utilisation d'un cocktail d'enzymes. Les cellules végétales sont entourées par une paroi composée de nombreuses protéines et de molécules (cellulose, hémicellulose et de polysaccharide pectique). A l'intérieur des cellules, l'huile est confinée dans des organites sphériques appelés corps huileux qui se résume en une matrice de triglycérides recouverte complètement par une monocouche de phospholipides liés à des protéines (oléosines et caléosines) qui assurent sa stabilité. Faire usage d'enzymes afin de perturber la structure rigide des parois et des corps huileux permettra de récupérer d'avantage d'huile. Cette étude a été faite sur l'extraction de l'huile des pépins de raisins en utilisant un appareil de Soxhlet, le rendement a été amélioré de 106% en 24h, et de 163% en 120h. Le Cocktail d'enzymes comprend des cellulases, protéases, xylanases, et des pectinases.

### 4.3. Prétraitements aux microondes

Une autre étude menée par Đurđevića et *al.*(2017) a montré une amélioration des rendements en utilisant des micro-ondes. Cette étude, a eu pour objectif de percevoir l'effet de tels traitements sur le rendement et la composition d'acide gras de l'huile de pépins de grenade par rapport à l'extraction par hexane et par CO<sub>2</sub> supercritique. Le tableau IV nous résume les résultats de l'étude et ainsi nous pouvons conclure qu'un traitement de quelques minutes aux microondes permet une amélioration des rendements. Les micro-ondes utilisent les ondes radio pour transférer de l'énergie et la convertir en chaleur à des fréquences entre 300 MHz et 300 GHz, en ces fréquences l'eau absorbe la majorité des ondes. Même si les graines sont séchées, il en reste un peu d'humidité qui va chauffer et s'évaporer sous l'effet des ondes, ce qui va générer une pression sur les membranes des cellules qui vont s'étirer et éventuellement se rompre, ce qui va faciliter la libération des constituants, la pénétration du solvant et l'extraction de l'huile.

**Tableau IV.** Résultats des rendements observés de l'huile de pépin de grenade avec les différents traitements (Đurđevića et *al.*, 2017).

#	Traitements aux microondes		Rendement %	
	Puissance (W)	Temps (min)	n-hexane	scCO <sub>2</sub>
<b>1</b>	Control		27,73 ± 1,18	21,62 ± 0,58
<b>2</b>	100	2	33,97 ± 1,51	25,52 ± 0,46
<b>3</b>	100	6	34,28 ± 1,30	24,00 ± 0,73
<b>4</b>	250	2	34,42 ± 0,88	25,87 ± 1,04
<b>5</b>	250	6	34,86 ± 1,02	27,24 ± 0,82
<b>6</b>	600	2	35,36 ± 0,97	23,91 ± 0,97
<b>7</b>	600	6	36,34 ± 0,96	25,21 ± 0,66

## Chapitre III. Les huiles végétales

### 1. Huile de pépins de raisin

#### 1.1. Présentation

L'huile de pépins de raisin est un coproduit de l'industrie vinicole. Après vinification du vin, au fond des cuves il en reste ce qu'on appelle les marcs qui sont composés d'environ 15 % de pépins, 30 % de pulpes et rafles, et 55 % d'eau. Les marcs sont livrés aux distilleries où ils vont être traités afin d'obtenir de nombreux produits (Pierron, 2007), principalement :

- ⌚ L'alcool éthylique ;
- ⌚ Le tartrate ;
- ⌚ Le pépin de raisin ;
- ⌚ La pulpe.

Certes, d'autres produits peuvent être obtenus comme des colorants alimentaires, du fructose et des oligomères pro cyan doliques (OPC). Avant, les industriels s'intéressaient plutôt au tartrate et à l'alcool éthylique plus rentables, mais maintenant la valeur ajoutée de la valorisation des marcs de vinification repose sur les ventes de la pulpe et surtout au marché des huiles de pépins de raisin qui produit à l'échelle mondiale 35 000 tonnes d'huile par an (Pierron, 2017).

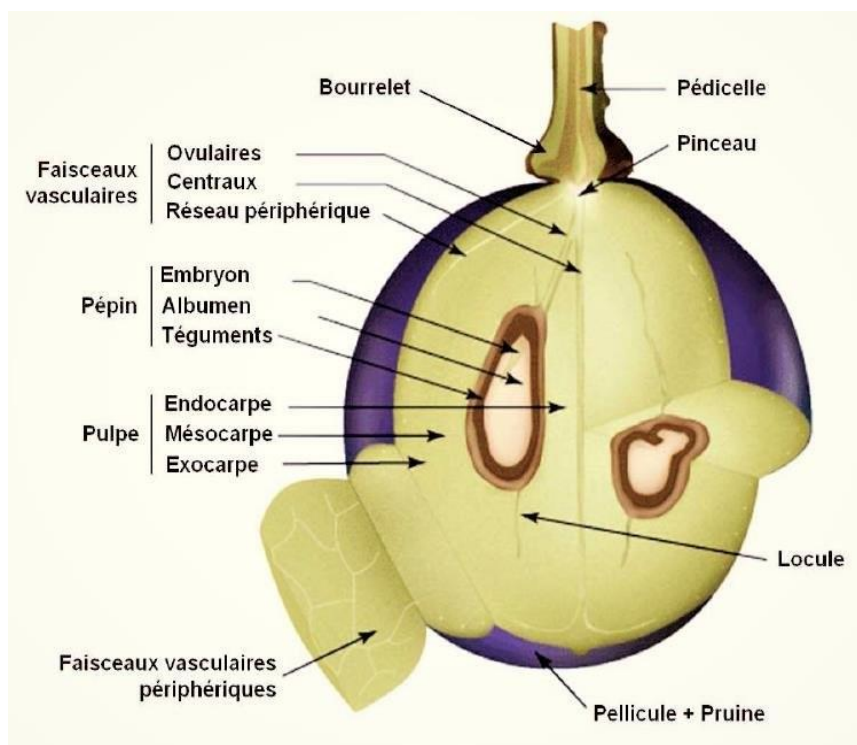
Le rendement dépend de la technique d'extraction, du type de solvant et des conditions d'opération utilisées, en plus de la variété des cultivars et de l'environnement de culture. En base sèche, les pépins de raisin contiennent en générale 8 à 20% d'huile (Rombaut et *al.*, 2015; Garavaglia et *al.*, 2016).

L'extraction peut se faire par différentes méthodes, permettant d'avoir des huiles plus ou moins pures et des rendements différents. La méthode la plus courante en industrie est l'extraction avec solvant, notamment par l'hexane (Fine et *al.*, 2013). D'autres méthodes peuvent être également utilisées comme l'extraction au dioxyde de carbone supercritique (Gómez et *al.*, 1996).

*Vitis vinifera* L. est la principale espèce de raisin cultivée. Une grappe de ce fruit est constituée de deux parties : la rafle et la baie.

- La rafle est la charpente et représente en générale 3 à 6% de la grappe.

- La baie qui est le fruit (figure 17), représente 94 à 97% de la grappe et est constituée essentiellement de 3 éléments : La pulpe qui représente 75 à 85% du poids des baies, les pellicules de 15 à 20% et les pépins de 3 à 6% (Rombaut, 2013).

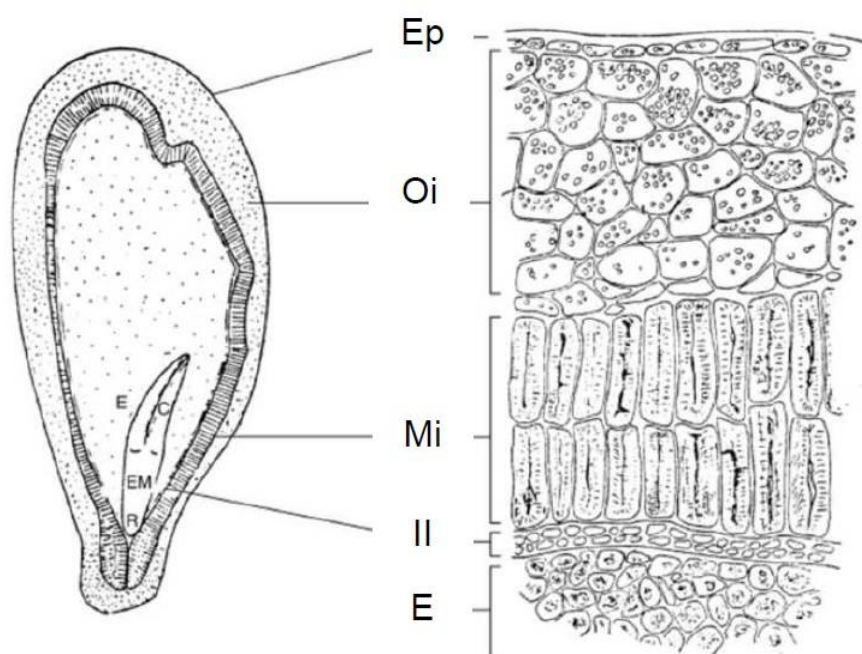


**Figure 17.** Représentation des différents composants d'une baie de raisin (Rousserie, 2019).

Le pépin de raisin fait partie des graines albuminées, et l'huile est localisée dans l'albumen, le tableau V nous renseigne sur la composition biochimique des pépins de raisin. La structure histologique de la graine présentée dans la figure 18 révèle la présence d'un embryon entouré d'un albumen qui lui-même est entouré d'une coque ligneuse faite de différentes parties du tégument (parties interne, intermédiaire et externe). L'épiderme est la dernière couche qui compose le pépin. Au fil du temps la couleur du pépin passe du vert au marron, ce changement de couleur serait dû à l'oxydation des composés phénoliques présents dans le tégument (Rombaut, 2013).

**Tableau V.** Composition biochimique des pépins en pourcentage de poids frais (Cabanis et *al.*, 1998 ; Rombaut, 2013).

Composés	Pourcentage
Eau	<b>25 - 45</b>
Composés glucidiques	<b>34 - 36</b>
Lipides	<b>8 - 13</b>
Polyphénols (tanins)	<b>4 - 10</b>
Composés azotés	<b>4 - 6,5</b>



**Figure 18.** Représentation du pépin de raisin et de ses structures cellulaires (Rombaut, 2013). C : cotylédons, E : endosperme (albumen), EM : embryon, Ep : épiderme, II : tégument Inférieur, MI : tégument intermédiaire, OI : tégument supérieur, R : radicule

## 1.2. Composition

### 1.2.1. Profil en acides gras

L'huile de pépin de raisin est très riche en acide gras insaturés (tableau VI) notamment en acides linoléique (65-78%) qui est un acide gras polyinsaturés, l'acide oléique est aussi

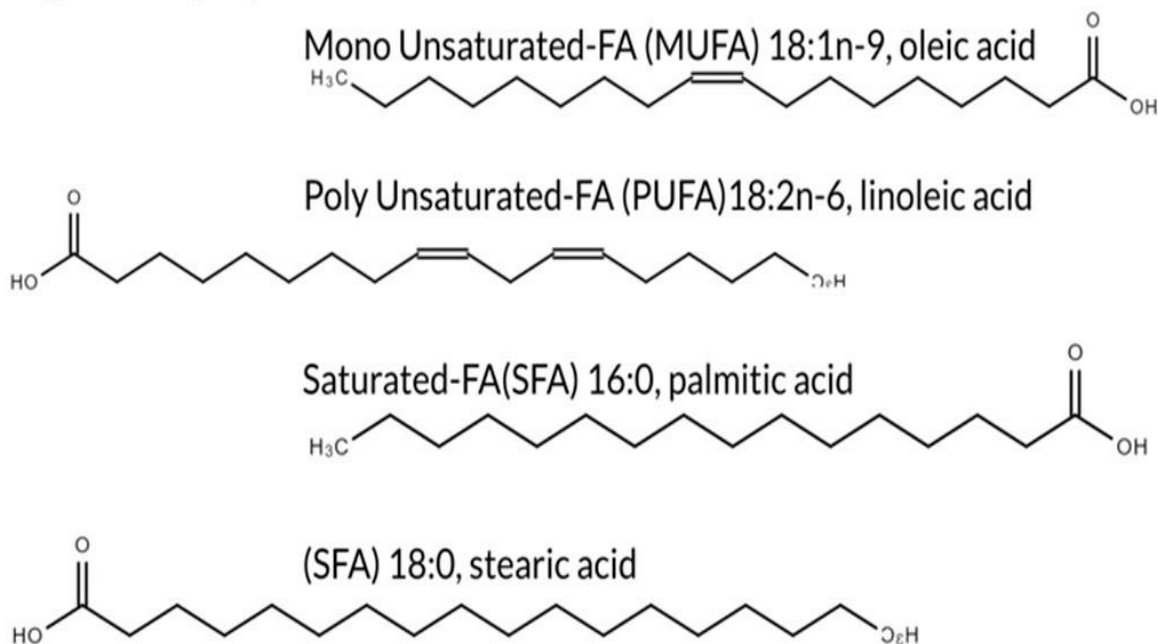
présent en quantité considérable (12-28%). Les acides gras saturés sont présents en proportion minimale aux alentours de 10%.

**Tableau VI.** Profil lipidique de l'huile de pépins de raisin.

Acide gras	%(Fediol, 2016)	% (Garavaglia et al., 2016)	%(Luque-Rodriguez et al., 2005)	%(Martin et al., 2020)
<b>C6:0</b>	Max. 0,05	Nd	-	-
<b>C8:0</b>	Max. 0,05	0,1	-	0,01
<b>C10:0</b>	Max. 0,05	Nd	-	-
<b>C12:0</b>	Max. 0,05	0,01	-	0,01
<b>C14:0</b>	Max. 0,03	0,05	0-0,2	0,05
<b>C15:0</b>	-	0,01	-	0,01
<b>C16:0</b>	5,5-11,0	6,6	7-13	6,7
<b>C16 :1</b>	Max. 1,2	0,08	0-0,9	0,2
<b>C17:0</b>	Max. 0,2	0,06	-	0,06
<b>C17:1</b>	Max. 0,1	Nd	-	Nd
<b>C18:0</b>	3,0-6,5	3,5	3-6	3,8
<b>C18:1</b>	12,0-28	14,3 (cis)	14-25	14,8 (cis n-9)
<b>C18:2</b>	65,0-78,0	74,7	61-73	74,2 (cis n-6)
<b>C18:3</b>	Max. 1,0	0,15	0-0,6	0,11 (n-3)
<b>C20:0</b>	Max. 1,0	0,16	-	0,16
<b>C20:1</b>	Max. 0,3	0,40	-	-
<b>C22:0</b>	Max. 0,2	Nd	-	Nd
<b>C22 :1</b>	Max. 0,3	-	-	-
<b>C24 :0</b>	Max. 0,4	-	-	-
<b>Acides gras saturés</b>	-	10,5	-	10,6
<b>Acides gras mono insaturés</b>	-	14,8	-	14,9
<b>Acides gras poly insaturés</b>	-	74,9	-	74,3

Nd: non-detecté

## Fatty acids (FA)



**Figure 19.** Structure des acides gras présents dans l'huile de pépins de raisins (Martin et *al.*, 2020).

### 1.2.2. Les polyphénols

Les composants phénoliques représentent 60 à 70% des constituants hydrophiles de l'huile (Martin et *al.*, 2020). La quantité en polyphénols rapportée par Rombaut et *al.*(2015) est de 32 à 356 mg EAG /kg d'huile suivant le type des pépins et la technique d'extraction. Les composants identifiés sont les acides galliques, les catéchines, les epicatéchines, le trans-resveratrol, les procyanidines et les proanthocyanidines (Maier et *al.*, 2009 ; Garavaglia et *al.*, 2016).

### 1.2.3. Les tocophérols et tocotriénols

L'huile de pépins de raisin est plus riche en tocotriénols (forme de vitamine E non saturé) qu'en tocophérols (tableau VII) (Shinagawa et *al.*, 2015). Elle peut contenir jusqu'à 1575mg de gamma-tocotriénol dans 1 kg d'huile, ce qui est considérable (Fernandes et *al.*, 2013).

**Tableau VII.** Composition en Tocophérols and Tocotriénols en mg/Kg d’huile de pépins de raisins (Shinagawa *et al.*, 2015).

	Navas (2009)	Fernandes <i>et al.</i> (2013)	Crews <i>et al.</i> (2006)		
			France	Italy	Spain
<b>Tocophérols</b>					
<b><math>\alpha</math>- tocophérol</b>	47-56	86-244	18-229	14-160	tr-75
<b><math>\beta</math>- tocophérol</b>	38-48	nd	nd-109	nd-133	nd-127
<b><math>\gamma</math>- tocophérol</b>	17-29	3-28	nd-61	nd-119	nd-168
<b><math>\Delta</math>- tocophérol</b>	nd-3	tr-1	nd-47	nd	nd-69
<b>Tocotrienols</b>					
<b><math>\alpha</math>- tocotrienol</b>	216-278	69-319	nd-163	nd-352	nd-60
<b><math>\beta</math>- tocotrienol</b>	-	4-18	nd-67	nd-22	nd-125
<b><math>\gamma</math>-tocotrienol</b>	482-556	499-1575	nd-500	nd-785	nd-399
<b><math>\Delta</math>- tocotrienol</b>	13-17	6-18	nd	nd	nd-82

Nd: non-detecté; tr: trace.

#### 1.2.4. Les stérols

Les phytostérols sont des molécules lipophiles présentes dans l’huile de pépins de raisin à environ 2–11 mg/g d’huile (Martin *et al.*, 2020). Comme tous les constituants, la quantité de stérols est conditionnée par plusieurs paramètres, comme la méthode d’extraction et les facteurs environnementaux ...etc. Le beta-sitostérol (figure 20) est le majeur phytostérol présent avoisinant les 65 %, suivi par le stigmastérol à environ 10% et le Sitostanol est présent à environ 4% (tableau VIII). Les phytostérols sont aussi dotés d’un pouvoir anti oxydant, ils ont aussi des effets anti inflammatoires et cardio-protecteurs (Garavaglia *et al.*, 2016).

**Tableau VIII.** Les principaux phytostérols contenus dans l’huile de pépins de raisin (*V. vinifera*) (Garavaglia *et al.*, 2016).

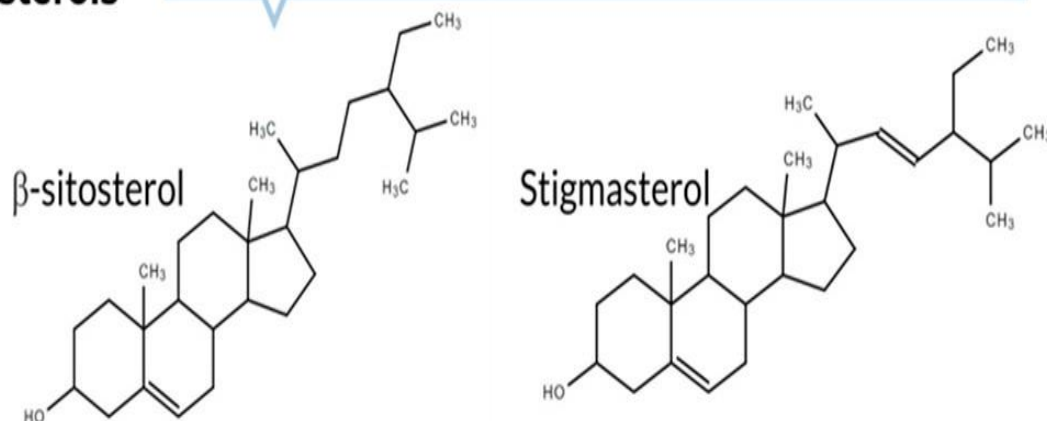
Phytostérols	mg/kg/huile
Cholestérol	Nd-0,10
Cholestanol	Nd
Brassicastérol	0,6-0,9
2,4 methylencholstérol	Nd-0,18

**Suite du tableau VIII.** Les principaux phytostérols contenus dans l'huile de pépins de raisin (*V. vinifera*) (Garavaglia et *al.*, 2016).

Phytostérols	mg/kg/huile
Campestérol	0,1-9,3
Campestanol	-
Stigmastérol	10,2-10,8
$\Delta$ -7 campestérol	0,16-0,27
$\Delta$ -5 2,3 stigmastadiérol	-
Clerostérol	0,90-0,94
$\beta$ -sitostérol	66,6-67,4
Sitostanol	3,92-4,70
$\Delta$ -5 avenastérol	1,98-2,09
$\Delta$ -5 2,4 stigmastadiérol	0,41-0,47
$\Delta$ -7 estigmastérol	1,99-2,30
$\Delta$ -7 avenastérol	0,98-1,10

Nd: non-detecté

## Phytosterols



**Figure 20.** Structure du  $\beta$ -sitostérol et du Stigmastérol (Martin et *al.*, 2020).

### 1.3. Paramètres physicochimiques

Les tableaux IX, X et XI nous donnent un aperçu sur les caractéristiques de l'huile de pépins de raisin.

**Tableau IX.** Comparaison des propriétés des huiles de pépins de raisins extraites par hexane et par dioxyde de carbone supercritique (Gómez et *al.*, 1996).

	Méthode d'extraction	
	SC-CO <sub>2</sub> (350 bar, 40 °C, 3 h)	Hexane, Soxhlet, 20 h
Indice de réfraction	1,475	1,474
Densité (g/ml)	0,924	0,928
Viscosité (cP)	69	66
Absorbance à 290 nm (IgE)	2,730	3,177
Acides gras libres (%)	3,4	33,8
Indice Iodine (g /100 g)	98	124
Indice de Saponification	259	289
Fraction non saponifiable (%)	0,27	2,89
Indice Peroxyde (meq / kg)	383	101

Les résultats énumérés dans le tableau ci-dessus montrent qu'une partie des paramètres restent similaires pour les deux méthodes d'extraction, exception pour la quantité en acides gras libres, l'indice iodine et la fraction non saponification qui augmentent avec l'utilisation de l'hexane et l'indice peroxyde qui augmente dans le cas de l'extraction par CO<sub>2</sub>- Supercritique.

**Tableau X.** Valeurs de certains paramètres caractéristiques de l'huile de pépins de raisin (Mohamadi et *al.*, 2013).

Paramètres	Valeur
Indice Peroxyde value (meq/kg)	0,67-11,95
Indice p-anisidine (meq/kg)	1,16-15,45
TOTOX	2,50-39,35

**Tableau XI.** Caractéristiques physico chimiques de l'huile de pépins de raisin (Interchimie.fr, 2013).

Paramètres	Valeur
Aspect à 25°C	Limpide, jaune pale a vert clair
Gout et odeur	Caractéristique
Indice d'acide %	≤ 1,0
Indice peroxyde (meq O <sub>2</sub> /kg)	≤ 10
Densité relative à 20 °C	0,91-0,93
Indice de réfraction à 20°C	1,470-1,477
Indice d'iode (g/100g)	125,150

#### 1.4. Effets et usages de l'huile de pépin de raisin

##### 1.4.1. Effet antioxydant

L'huile de pépins de raisin est dotée d'un grand pouvoir antioxydant qui est dû à sa composition en vitamine E, en phytostérols et en composés phénoliques. Ce pouvoir antioxydant prévient l'oxydation des lipides et des protéines, réduit la formation d'hydro-peroxyde et neutralise les espèces oxygénées libres qui peuvent s'attaquer aux protéines, à l'ADN et aux membranes cellulaires, les protégeant ainsi des dommages irréversibles. Aussi, la combinaison synergétique des différents composants phénoliques (acide gallique, catéchine, procyanidines et proanthocyanidines) présents dans l'huile est responsable de ce haut pouvoir antioxydant (Shinagawa et *al.*, 2015 ; Garavaglia et *al.*, 2016).

Martin et *al.*, (2020) ont rapporté que les composants phénoliques contenus dans les pépins de raisins ont une plus grande capacité à piéger les radicaux libres que la vitamine E, C ou la B-carotène. Aussi, l'élimination des radicaux libres, principalement le radical hydroxyle, et la chélation des métaux influencent la signalisation cellulaire, l'expression des gènes et le fonctionnement du système immunitaire. La vitamine E a aussi un pouvoir antioxydant, neuroprotecteur et anti-tumoral, et elle est susceptible de prévenir l'apparition de maladies chroniques et de ralentir le vieillissement (Soobrattee et *al.*, 2005 ; Garavaglia et *al.*, 2016).

Dimić et *al.*, (2020) ont rapporté une activité anti radicalaire de 1,33 à 9,97 µM Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) g<sup>-1</sup> envers les radicaux du

DPPH(1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl-hydrate), et de 3,14 à 9,67  $\mu\text{M}$  Trolox  $\text{g}^{-1}$  envers de l'ABTS (2,20-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammoniumsalt).

#### 1.4.2. Effet anti-inflammatoire

**Libération de l'acide arachidonique :** Les composés phénoliques sont réputés par leur pouvoir à moduler l'expression de gènes anti-inflammatoires, ce qui leur permet d'agir sur de nombreuses voies cellulaires comme la production de cytokines, l'activité de l'oxyde nitrique synthase et la libération de l'acide arachidonique (Martin et *al.*, 2020). D'ailleurs les polyphénols présents dans l'huile de pépin de raisin sont capables d'inhiber la libération d'acide arachidonique responsable de la production de leucotriènes et des prostaglandines qui à leur tour activent la réponse inflammatoire (Santangelo et *al.*, 2007 ; Garavaglia et *al.*, 2016).

**L'inflammation des adipocytes :** Une étude rapportée par Zhao et *al.*, (2015) a révélé que les cellules souches différenciées en adipocytes traitées avec de l'huile de pépins de raisin de muscadine (*Vitis rotundifolia* Michx) présentaient une faible accumulation en triglycérides par rapport à celle traitées avec de l'huile du son de riz et de l'huile d'olive. Aussi, des cellules souches traitées avec une fraction riche en tocotriénols (TRF) dérivée de l'huile a réduit l'expression de l'ARNm des protéines cruciales à l'adipogenèse comme les PPAR $\gamma$  (Peroxisome Proliferator-Activated Receptor gamma) et les aP2 (adipocyte protein 2). L'étude a mentionné aussi que le traitement des adipocytes humains avec le TRF de l'huile a également réduit l'expression des gènes pro-inflammatoires induite par les LPS (Lipopolysaccharides) et la sécrétion de cytokines dans le milieu (IL-6 et IL-8). On peut conclure qu'en atténuant la formation de nouvelles cellules adipeuses donc de l'obésité et de son inflammation associée, l'huile de pépins de raisin peut constituer une nouvelle stratégie alimentaire.

Le  $\beta$ -sitostérol peut empêcher la libération du modulateur pro inflammatoire par les macrophages dans certaines conditions. Aussi, l'acide linoléique est susceptible d'être un agent anti-inflammatoire naturel chez les mammifères (Kolar et *al.*, 2019 ; Martin et *al.*, 2020).

#### 1.4.3. Effet antimicrobien

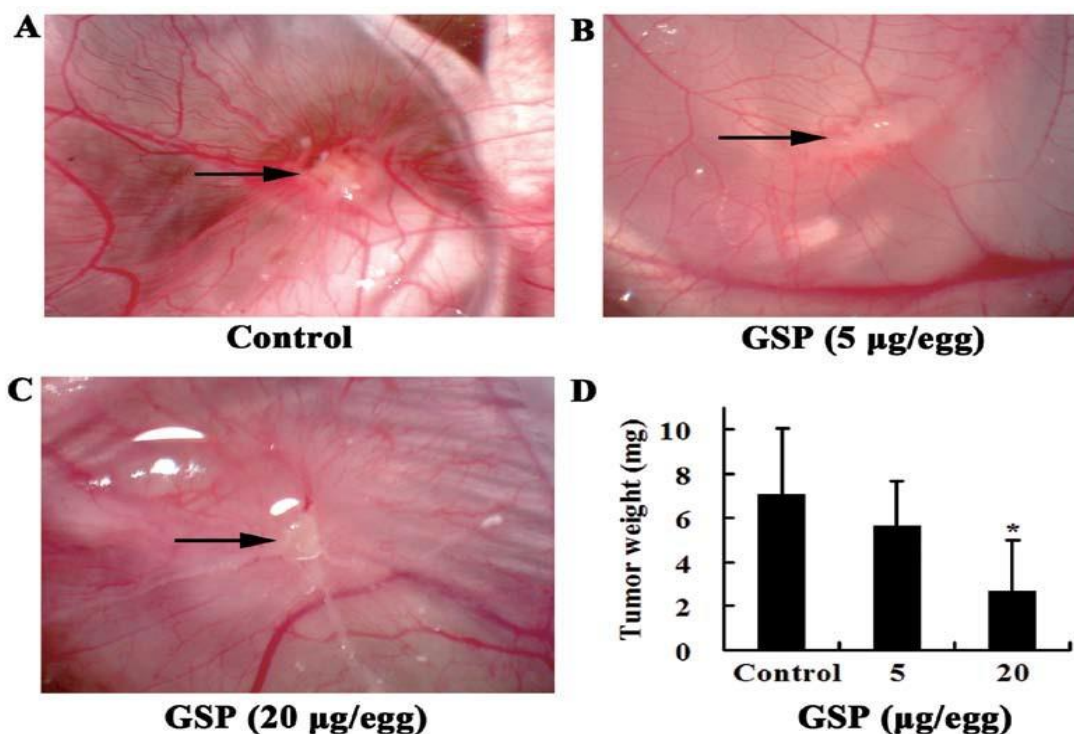
L'huile extraite des pépins de raisins possède une certaine toxicité vis à vis de certains pathogènes notamment le *Staphylococcus aureus* et l'*Escherichia coli*, en empêchant leurs proliférations. Ces propriétés antimicrobiennes peuvent suggérer une utilisation comme

conservateur afin de préserver les aliments et les boissons de la détérioration causée par certaines bactéries (Rotava et *al.*, 2009 ; Garavaglia et *al.*, 2016).

Le resveratrol, composant phénolique, présente une activité antimicrobienne qui affecte la membrane bactérienne en induisant un dommage oxydatif (spécialement sur l'E. coli) tout en épargnant les cellules de l'organisme. Ce qui rend possible son utilisation dans des thérapies comme alternative à des antibiotiques (Subramanian et *al.*, 2014 ; Garavaglia et *al.*, 2016).

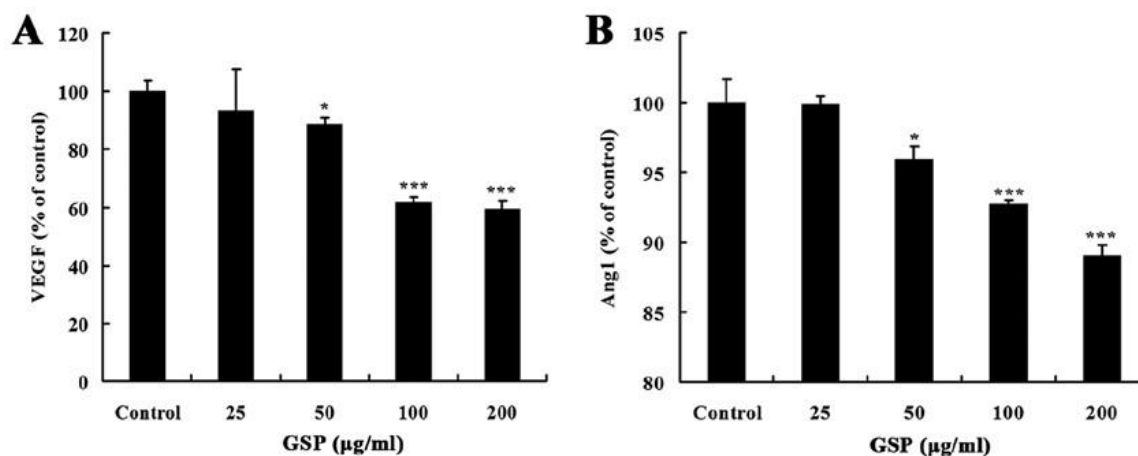
#### 1.4.4. Effet anti-tumoral

De nombreuses études ont révélé l'activité anti cancéreuse des composants de l'huile de pépins de raisin tels que les pro-anthocyanidines et les tocotriénols. Ces travaux ont montré des résultats prometteurs pour combattre la prolifération des cellules cancéreuses. Ainsi Huang et *al.*, (2012) ont rapporté qu'un traitement avec des proanthocyanidines extraites des pépins de raisin (GSP : Grape Seeds Proanthocyanidines) a inhibé la croissance de xénogreffes de tumeurs du côlon (cellules SW620 humaine) sur les membranes chorioallantoïques de poussins, en empêchant l'angiogenèse. Cependant, chez le groupe témoin de nombreux vaisseaux se sont développés d'une façon radiale autour de la tumeur (figure 21).



**Figure 21.** Photographies de l'angiogenèse et une courbe qui renseigne sur le poids de la tumeur en fonction de la concentration en GSP (Grape seeds proanthocyanidines) (Huang et *al.*, 2012).

L'Angiogenèse est déclenchée après production de facteurs proangiogéniques principalement le VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) et l'Ang1 (Angiopoïétine 1). Un traitement avec les proanthocyanidines a permis comme le montre la figure 22 d'avoir des effets inhibiteurs sur l'expression de ces deux facteurs.



**Figure 22.** Effets des proanthocyanidines sur l'expression des VEGF et des Ang1 dans des cellules SW620 (Huang *et al.*, 2012).

Une autre étude menée par Engelbrecht *et al.* (2007) a démontré l'effet antiprolifératif de l'huile de pépins de raisin sur les cellules cancéreuses du côlon en inactivant la voie de signalisation phosphoinositide 3-kinase (PI3K)/protéine kinase B (PKB) ce qui provoque l'apoptose des cellules cancéreuses.

#### 1.4.5. Effet cardio-protecteur

Olas *et al.*, (2012) ont rapporté que l'huile de pépins de raisin a un effet anti agrégation plaquettaire supérieur à celui du resveratrol, ce qui permettrait la prévention non pharmacologique de maladies circulatoires.

La richesse de cette huile en acide linoléique lui permet de réduire le cholestérol total du plasma et lui donne un effet protecteur vis va vis des maladies coronariennes (Wijendran *et al.*, 2004). Aussi, chez l'Homme, la consommation de cette huile permet d'augmenter les HDL-Cholestérols de 13% et de réduire les LDL-Cholestérols de 7% (Garavaglia *et al.*, 2016).

### 1.4.6. Effet neuro-protecteur

Chez les rats, l'huile de pépin de raisin a un effet protecteur contre les lésions cérébrales induites par le tétrachlorure de carbone (CCl<sub>4</sub>). Cet effet est probablement dû à la capacité de l'huile à piéger les radicaux libres, à améliorer l'activité des enzymes antioxydantes (superoxyde dismutase, catalase ...), à réguler négativement le niveau d'expression des gènes de XO (xanthine oxidase) et iNOS (Inducible nitric oxide synthase) et à supprimer les réponses inflammatoires en régulant à la baisse le niveau des marqueurs pro inflammatoire (TNF- $\alpha$ , IL-6 et TGF- $\beta$ 1) (Ismail et *al.*, 2015).

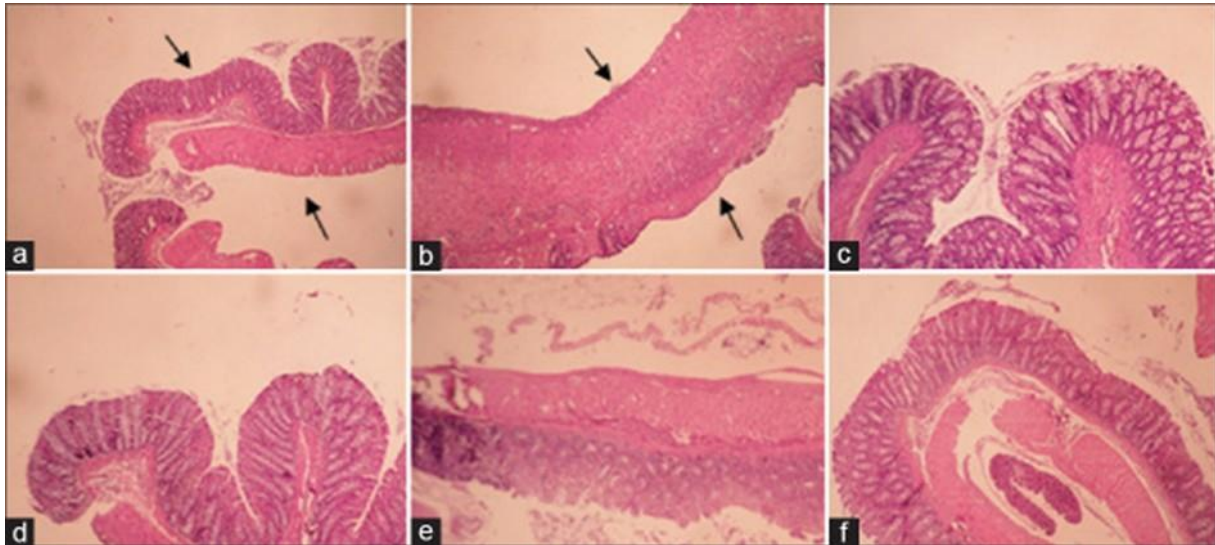
Une étude menée par Berahmand et *al.*, (2020) a montré l'effet d'un traitement avec l'huile de pépin de raisin sur la maladie d'Alzheimer induite par la scolpalamine. Les résultats ont montré que le traitement avec l'huile a permis une augmentation significative des performances de la mémoire spatiale, ainsi que des niveaux d'acétylcholine et de la viabilité cellulaire en présence de scolpalamine. Cet effet est similaire à celui obtenu avec le Donepezil (traitement pour l'Alzheimer). Ces résultats prometteurs nous révèlent le pouvoir neuroprotecteur potentiel de cette huile et la possibilité de l'intégrer à un régime en vue de combattre ce trouble neurodégénératif chronique.

### 1.4.7. Effet antidiabétique

D'après une étude rapportée par Irandoost et *al.*, (2013), la consommation d'huile de pépins de raisin peut diminuer l'état inflammatoire et la résistance à l'insuline probablement grâce aux tocotriénols et aux composés phénoliques. Une autre étude menée par Pinent et *al.*, (2004), a montré que les procyanidines extraites de pépins de raisin ont imité le rôle de l'insuline (propriétés insulino-mimétique) *in vivo* et *in vitro* et qu'une dose aiguë a un effet antihyperglycémiant sur un modèle animal déficient en insuline. Les procyanidines ont augmenté le nombre de transporteurs de glucose insulino-sensible (GLUT-4) et la stimulation de l'absorption du glucose.

### 1.4.8. Effet anti-ulcèreux

Niknami et *al.* (2020) ont étudié les effets thérapeutiques des extraits et de l'huile de pépins de raisin sur des rats qui présentent une colite induite par l'acide acétique. L'étude a rapporté que les groupes traités (administration orale) avec l'huile ont présenté une réduction du poids du côlon, de l'indice d'ulcère, de l'indice total de colite, de l'activité de myelopéroxydase et du contenu de malondialdéhyde (paramètre de stress oxydatif) (figure 23).



**Figure 23.** Illustrations Macroscopiques du tissu colique des rats.

- (a) Côlon normal traité avec une solution saline/Tween (5 mL/kg).
- (b) Colite témoin traité avec une solution saline/Tween (5 mL/kg).
- (c) Colite traitée avec les extraits de pépins de raisin (200mg /kg).
- (d) Colite traitée avec l'huile de pépins de raisin (8mg /kg).
- (e) Colite traitée avec du prednisolone (4mg /kg).
- (f) Colite traitée avec du mesalamine (100mg /kg).

Les flèches représentent des cryptes endommagées, des couches muqueuses, sous-muqueuses et l'infiltration de leucocytes

#### 1.4.9. Usage alimentaire

L'huile de pépins de raisin est une huile stable avec un haut point de fumé. Elle ne se dénature pas facilement lorsqu'on la chauffe, ce qui la rend parfaite pour les fritures. Elle peut aussi être utilisée pour faire des sauces du fait qu'elle s'émulsifie bien et quelle est sans odeur. Le traitement de la viande et des saucisses avec cette huile augmente leur qualité et les rends plus saines (Martin et *al.*, 2020). Les effets de l'huile sur les taux de cholestérol la rend plus adaptée à des régimes en plus de ses effets antioxydants et sa richesse en acide gras insaturés indispensables à une bonne santé cardiovasculaire. Dans le secteur agroalimentaire, les polyphénols sont incorporés dans des produits de consommation où ils jouent un rôle de conservateur ou de colorant (Rombaut, 2013).

#### 1.4.10. Usage en cosmétique

L'huile de pépins de raisin est largement utilisée en cosmétique. Grace à sa richesse en acide linoléique et en propriétés antioxydantes et anti inflammatoire, elle permet de lutter

contre l'acné. Une application régulière peut prévenir l'apparition des cernes sous les yeux qui sont en générale due à l'exposition au soleil, à la déshydratation et à la consommation excessive d'alcool (Sotiropoulou et *al.*, 2017). L'huile aide aussi à l'accélération du processus de cicatrisation en plus de ses propriétés astringentes qui resserrent les pores de la peau (khanna et *al.*, 2002).

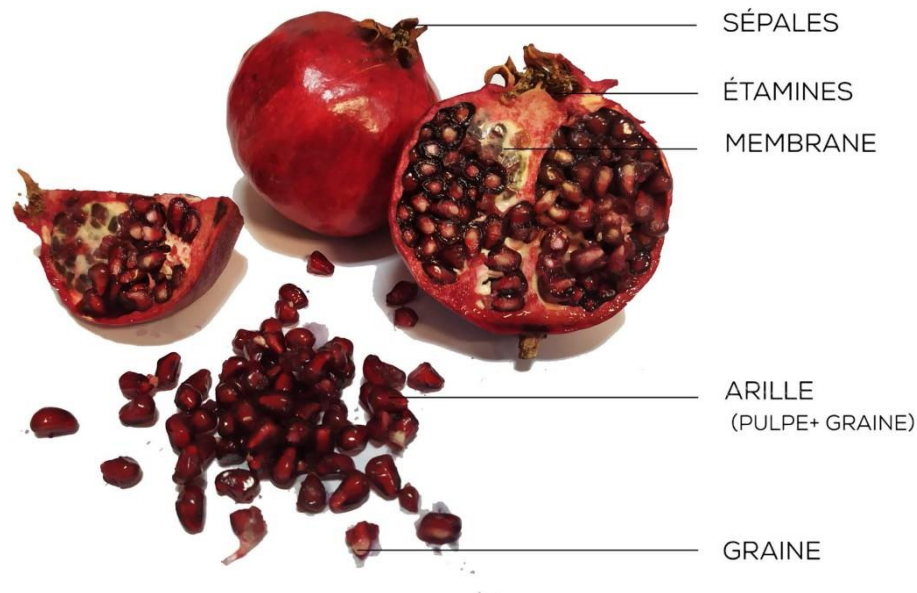
Le pouvoir antioxydant de l'huile de pépins de raisin permet de capter les radicaux libres qui seraient responsables de la formation des rides et des ridules. Elle offre aussi une protection contre les UV grâce à sa composition en polyphénols (Korać et *al.*, 2011). L'huile de pépins de raisin est facilement absorbée par la peau et ne provoque pas d'allergies ce qui la rends adéquate pour hydrater les peaux sensibles et sèches. Elle peut aussi être utilisée afin de traiter l'Alopécie androgénétique qui est la cause la plus commune de la perte de cheveux et qui peut affecter jusqu'à 70% des hommes âgés de plus de 50 ans (Sotiropoulou et *al.*, 2017).

## 2. L'huile de pépins de grenade

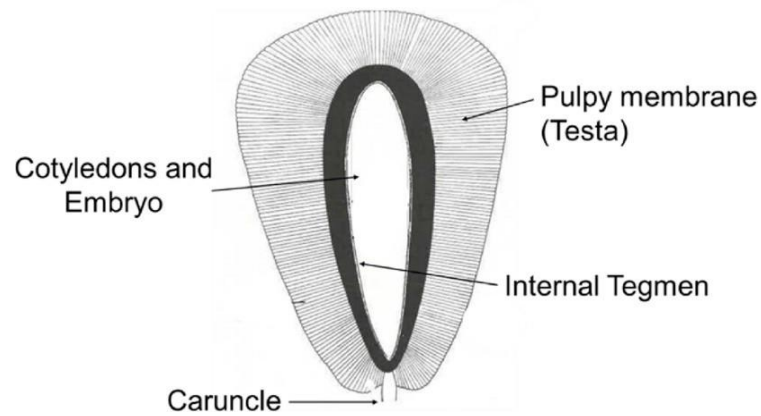
### 2.1. Présentation

La grenade (*Punica granatum L*) est un fruit très connu et très consommé. Le grenadier l'arbre dont elle est issue est un arbre caducifolié dont la hauteur moyenne est de 3 à 4 m. Il est originaire des Himalaya et de la région méditerranéenne (Paul et *al.*, 2020). Ce fruit est cultivé dans des régions tropicales et subtropicales comme l'Inde, l'Iran, la Chine, l'Espagne, la Tunisie et les Etats Unis (Californie), la production mondiale est plus de 3.5 millions de tonnes par an (Ramadan, 2019).

Le fruit (figure 23) est en forme d'une pomme ou d'une orange de 8 à 12 cm de diamètre, et contient une quantité considérable de graines qui est de 100g/kg de fruit (Nag et Sit, 2018 ; Ramadan, 2019). Il est devisé en 3 parties : la graine (figure 24), le jus et la peau (Ramadan, 2019 ; ko et *al.*, 2021). Le péricarpe est épais, coriace et très résistant. L'intérieur du fruit est divisé par des cloisons en compartiments ou loges (8-12) remplie d'arilles : des graines plus ou moins ligneuses enveloppées d'une pulpe juteuse d'un rose grenat plus ou moins foncé suivant les variétés (bio-provence.org).



**Figure 23.** Les constituants de la grenade (bio-provence.org).



**Figure 24.** Diagramme d'une section longitudinale d'une graine de grenade incluant la partie juteuse (Melgarejo et *al.*, 2020).

Il existe environ 500 variétés de grenades avec différentes tailles, formes, goûts et couleurs. On a tendance à les classer en trois catégories : doux, aigre, et aigre-doux. On peut aussi les classer en six catégories si on inclue un autre paramètre qui est la dureté de la graine (Ramadan, 2019). Les graines constituent approximativement 3% du poids du fruit, le jus 30% et le reste c'est l'écorce et les membranes internes (Lansky et Newman, 2007). Ko et *al.* (2021) rapportent que les graines peuvent constituer jusqu'à 11% du poids du fruits et le jus 46 %.

Les pépins de grenade sont souvent considérés comme un coproduit de l'industrie du jus et ils contiennent 7 à 27% d'huile en générale. Suivant la méthode d'extraction on peut obtenir différents rendements et différentes caractéristiques physicochimiques. Les huiles pressées à froid ont un meilleur profil d'acide gras et un haut taux de composés phénoliques et un arôme supérieur. Concernant l'extraction à l'hexane, des études ont rapporté un rendement de 20 à 39% (Paul et *al.*, 2020; Aruna et *al.*, 2018). D'autres études ont rapporté de meilleurs rendements et de meilleures caractéristiques en utilisant l'extraction avec des fluides supercritiques (Paul et *al.*, 2020; Liu et *al.*, 2012, Liu et *al.*, 2009).

L'huile de pépins de grenade est de couleur jaune avec une légère odeur. Son usage s'est énormément développé et elle est utilisée dans de nombreux domaines, nutritionnel, cosmétique, médical et dans la peinture. Elle est même utilisée comme lubrifiant et pour la production du biodiesel (Paul et *al.*, 2020).

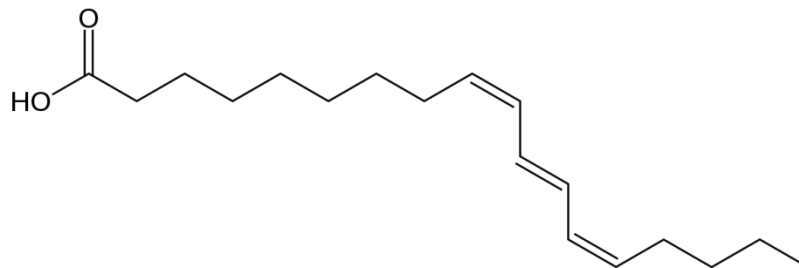
Les composants de l'huile lui confèrent un pouvoir bioactif, qui permet de moduler le système immunitaire et réduire le risque de maladies cardiovasculaires et de nombreuses

maladies chroniques, de combattre l'obésité et les cellules cancéreuses. Son pouvoir antioxydant lui permet aussi d'agir sur le stress oxydatif et l'inflammation. Ses principales propriétés sont : antioxydante, anti-inflammatoire, néphroprotectrice, hépato protectrice, neuroprotectrice, anticancéreuse, renforcement du système immunitaire et du métabolisme des carbohydrates et réduction de la résistance à l'insuline (Boroushaki *et al.*, 2016).

## 2.2. Composition

### 2.2.1. Profil en acide gras

On peut trouver jusqu'à 45 acides gras différents dans l'huile de pépins de grenade (ko *et al.*, 2021) et elle est très riche en acides gras insaturés (environ 95%) qui sont en majorité conjugués. Ces derniers sont des isomères géométriques et positionnels d'acide gras polyinsaturés avec des doubles liaisons alternatives (Ramadan, 2019). L'acide punique (figure 25) qui d'ailleurs tire son nom du fruit (*Punica granatum*) est l'acide gras majoritaire (80%) (Tableau XII), et il est un isomère de l'acide linoléique et appartient à la famille des oméga-5. En deuxième place c'est l'acide linoléique suivi par l'acide oléique comme représentant majeur des mono insaturés. Les acides gras saturés sont en proportion minimale (5-10%) dont l'acide palmitique est majoritaire suivi de l'acide stéarique et enfin de l'acide arachidonique.



**Figure 25.** Structure de l'acide punique.

**Tableau XII.** Profil en acide gras de l'huile de pépins de grenade (g/100g) (Hajib *et al.*, 2021).

Composants	(Hajib <i>et al.</i> , 2021)	(Jing <i>et al.</i> , 2012)	(Fadavi <i>et al.</i> , 2006)	(Sassano <i>et al.</i> , 2009)	(Hernandez <i>et al.</i> , 2011)	(Elfalleh <i>et al.</i> , 2011)
Acide myristique (C14:0)	–	–	0,1–4,7	–	–	Tr-0,85
Acide palmitique (C16:0)	2,64 ± 0,24	2,82–3,61	2,8–16,7	2,87–3,06	2,99–4,3	3,13–11,82

**Suite du Tableau XII.** Profil en acide gras de l'huile de pépins de grenade (g/100g) (Hajib et *al.*, 2021).

<b>Acide stearique (C18:0)</b>	1,73 ± 0,17	1,6–2,81	0,3–9,9	2,21–2,37	1,6–2,38	2,28–15,64
<b>Acide oléique (C18:1)</b>	3,64 ± 0,29	3,37–6,01	4,8–17,4	6,82–7,17	5,23–6,85	3,03–12,88
<b>Acide linoléique (C18:2)</b>	4,11 ± 0,57	3,74–5,13	0,7–24,4	6,46–6,84	4,98–8,54	3,57–13,92
<b>Acide linoléique (C18:3)</b>	–	7,43–11,71	–	–	–	–
<b>Acide arachidique (C20:0)</b>	0,37 ± 0,09	0,25–0,35	–	0,43–0,49	–	Tr-1,7
<b>Acide gadoléique (C20:1)</b>	–	–	–	–	–	0,6–9,94
<b>Acide ecosonéique (C20:1)</b>	0,42 ± 0,11	-	–	0,64–0,66	–	–
<b>Acide béhénique (C22:0)</b>	–	–	0–3,9	–	–	–
<b>acide punique (C18:3)</b>	75,1 ± 1,62	73,45–78,8	55,8–86,6	64,9–71,76	80,41–91,03	12,45–55,45
<b>acide α- éléostéarique (C18:3)</b>	3,73 ± 0,47	–	–	4,6–6,15	–	8,63–22,53
<b>acide catalpique (C18:3)</b>	6,7 ± 0,35	–	–	2,64–4,59	–	6,17–17,09
<b>Acide β- eleostearique (C18:3)</b>	1,43 ± 0,11	–	–	0,49–2,39	–	0–17,82
<b>Acide lignocérique (C24:0)</b>	–	–	–	0,04–0,51	–	0–8,1
<b>Acide nervonique (C24:1)</b>	–	–	–	0,15–0,24	–	–
<b>Acides gras saturés</b>	4,74	-	-	-	-	-
<b>Acides gras mono-insaturés</b>	4,06	-	-	-	-	-
<b>Acides gras polyinsaturés</b>	91,07	-	-	-	-	-
<b>Acides gras insaturés</b>	95,13	-	-	-	-	-
<b>CLnA (acides linoléiques conjugués)</b>	86,96	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	99,87	-	-	-	-	-

Tr : trace

### 2.2.2. Les polyphénols

On peut trouver jusqu'à 12 composants phénoliques suivant la technique d'extraction. L'étude rapportée par Silva et *al.* (2019) utilisant l'extraction à l'alcool a donné de meilleurs résultats que ce soit qualitativement et quantitativement. Le nombre total de composants phénoliques a atteint les 76,9 mg/100g (tableau XIII).

**Tableau XIII.** Profil des composés phénoliques (mg/100g) de l'huile de pépins de grenade. (Silva et al., 2019).

Composé phénolique	Teneur en composés phénoliques (mg/100 g) pour chaque méthode d'extraction d'huile de pépins de grenade		
	Pressage Expeller	Extraction d'alcool	CO <sub>2</sub> Supercritique
<b>Acides phénoliques</b>			
Acide 2,4-Dihydroxyphénylacétique	nd	nd	0,14± 0,00
Acide 3,4-Dihydroxyphénylacétique	0,07 ± 0,00	nd	Nd
Acide 5- Caféoylquinique	nd	7,62 ± 0,01	Nd
Acide férulique	0,22 ± 0,02	4,21 ± 0,06	0,29 ± 0,02
Acide p-coumarique	0,07 ± 0,00	2,49 ± 0,05	Nd
Acide p-hydroxybenzoïque	nd	1,37 ± 0,00	0,10 ± 0,00
Acide rosmarinique	0,05 ± 0,00	6,17 ± 0,00	nd
Acide trans-cinnamique	0,11 ± 0,00	1,63 ± 0,00	0,14 ± 0,00
Acide vanillique	0,07 ± 0,00	6,69 ± 0,22	0,19 ± 0,00
<b>Acides phénoliques totaux</b>	<b>0,59 ± 0,02</b>	<b>30,2 ± 0,34</b>	<b>0,86 ± 0,02</b>
<b>Ellagitanin</b>			
Hexoside HHDP (EA Eq.)	0,11 ± 0,00	22,4 ± 0,30	0,11 ± 0,00
<b>Flavonoïdes</b>			
Cyanidine-3-O-glucoside	nd	0,90 ± 0,00	nd
Cyanidine-3,5-O-diglucoside	nd	20,0 ± 0,61	nd
Delphinidine	nd	0,02 ± 0,00	nd
Naringénine	0,31 ± 0,03	3,37 ± 0,33	0,14 ± 0,00
<b>Flavonoïdes totaux</b>	<b>0,31 ± 0,03</b>	<b>24,3 ± 0,94</b>	<b>0,14 ± 0,00</b>
<b>Composés phénoliques totaux</b>	<b>1,01 ± 0,05</b>	<b>76,9 ± 1,58</b>	<b>1,11 ± 0,02</b>

### 2.2.3. Les tocophérols et tocotriénols

La composition en tocophérol peut varier fortement selon les études, comme le montre le tableau XIV, dans les deux premières études sur les huiles extraites de pépins de grenades

cultivées au Maroc et en Espagne respectivement, le tocophérols-gamma est majoritaire suivi du tocophérol alpha. Par contre dans l'autre étude qui suit et où les grenades proviennent de Géorgie c'est le alpha tocophérol qui est majoritaire suivi par le gamma tocophérol. Dans la dernière étude c'est le  $\delta$ -tocophérol.

**Tableau XIV.** Composition en tocophérols (mg/100g) de l'huile de pépins de grenade (Hajib et al., 2021).

Composants	(Hajib et al., 2021)	(Fernandes et al., 2015)	(Pande et Akoh, 2009)	(Jing et al., 2012)
$\alpha$ -Tocophérol	74,62 $\pm$ 1,77	7,3–17,9	161,2–173,7	71,87–138,83
$\gamma$ -Tocophérol	190,47 $\pm$ 3,52	123,0–449,7	80,2–92,8	3,42–5,49
Plastochromanol 8	10,56 $\pm$ 0,29	–	–	–
$\gamma$ -Tocotrienol	3,49 $\pm$ 0,16	–	–	–
$\delta$ -Tocophérol	53,3 $\pm$ 1,22	4,9–15,2	20,3–23,8	141,42–351,32

#### 2.2.4. Les stérols

La quantité en stérols dans l'huile de pépins de grenade se situe en générale entre 408,9 et 620,5 mg/100g. Le  $\beta$ -sitostérol est le principal stérol trouvé (tableau XV), suivi du Campestérol ou du stigmastérol suivant les études (Hajib et al., 2021).

**Tableau XV.** Composition en stérols (mg/100g) de l'huiles de pépins de grenade (Hajib et al., 2021).

Composants	(Hajib et al., 2021)	(Fernandes et al., 2015)	(Pande et Akoh, 2009)
Cholestérol	0,39 $\pm$ 0,01	–	–
Brassicastérol	–	–	0–2,2
Campestérol	38,18 $\pm$ 1,91	25,1–36,3	17,9–39,3
Stigmastérol	15,53 $\pm$ 1,28	11,8–17,0	27,8–46,3
$\beta$ -Sitostérol	404,59 $\pm$ 4,72	220,1–354,2	243,5–338,3
$\Delta$ -5-Avenastérol	17,86 $\pm$ 0,29	–	–
$\Delta$ -7-Stigmastérol	2,67 $\pm$ 0,17	–	–
Sitostanol	–	14,8–25,9	–
$\Delta$ -7-Avenastérol	0,76 $\pm$ 0,08	–	–
Autres	–	89,8–122,3	–

### 2.3. Paramètres physicochimiques

Le tableau suivant résume les paramètres physicochimiques de l'huile de pépins de grenade.

**Tableau XVI.** Paramètres physicochimiques de l'huile de pépins de grenade (Paul et *al.*, 2020) .

Propriétés	Valeur
Indice d'acide (mg/g)	0,63-8,36
Indice d'iode gI <sub>2</sub> /100g	206,9-221,64
Indice peroxyde mEqO <sub>2</sub> /kg	0,39-5,96
Indice de saponification mgKOH/g	156-199,61
Indice d'acide thiobarbiturique µg/g	0,22
Densité à 20 °C g/cm <sup>3</sup>	0,893-0,931
Indice de réfraction à 25 °C	1,461-1,527
Viscosité mPa.s	0,036-0,063

### 2.4. Effets et usages de l'huile de pépin de grenade

#### 2.4.1. Effet antioxydant

L'huile de pépins de grenade améliore l'activité des enzymes anti oxydantes, réduit la peroxydation des lipides, réduit le stress oxydatif et les radicaux libres, ce qui lui permet d'avoir tant d'effets protecteurs au niveau rénal, hépatique, cardiaque et cérébral (Boroushaki et *al.*, 2016). L'acide punique et les flavonoïdes contenus dans l'huile peuvent inhiber les cyclooxygénases (COX) et les lipoxygénases (Schubert et *al.*, 1999 ; Hora et *al.*, 2003), deux enzymes qui sont impliquées dans de nombreux cancers. La composition en Tocols et en phénols de l'huile contribue aussi largement à son activité antioxydante (Boroushaki et *al.*, 2016). Rojo-Gutiérrez et *al.* (2021) ont rapporté une activité anti radicalaire de 91.29% contre les radicaux du DPPH et 98.28% contre les radicaux de l'ABTS. L'huile a aussi inhibé de 95.99% l'oxydation des lipides.

### **2.4.2. Effet anti-inflammatoire**

Yamasaki et *al.*(2006) ont rapporté que des souris nourries avec des régimes expérimentaux contenant 0 %, 0,12 % ou 1,2 % de l'huile de pépins de grenade pendant 3 semaines, de grandes quantités d'immunoglobulines G et M ont été produites au niveau des splénocytes sans affecter les pourcentages de lymphocytes B ou T CD4-positifs ou CD8-positifs.

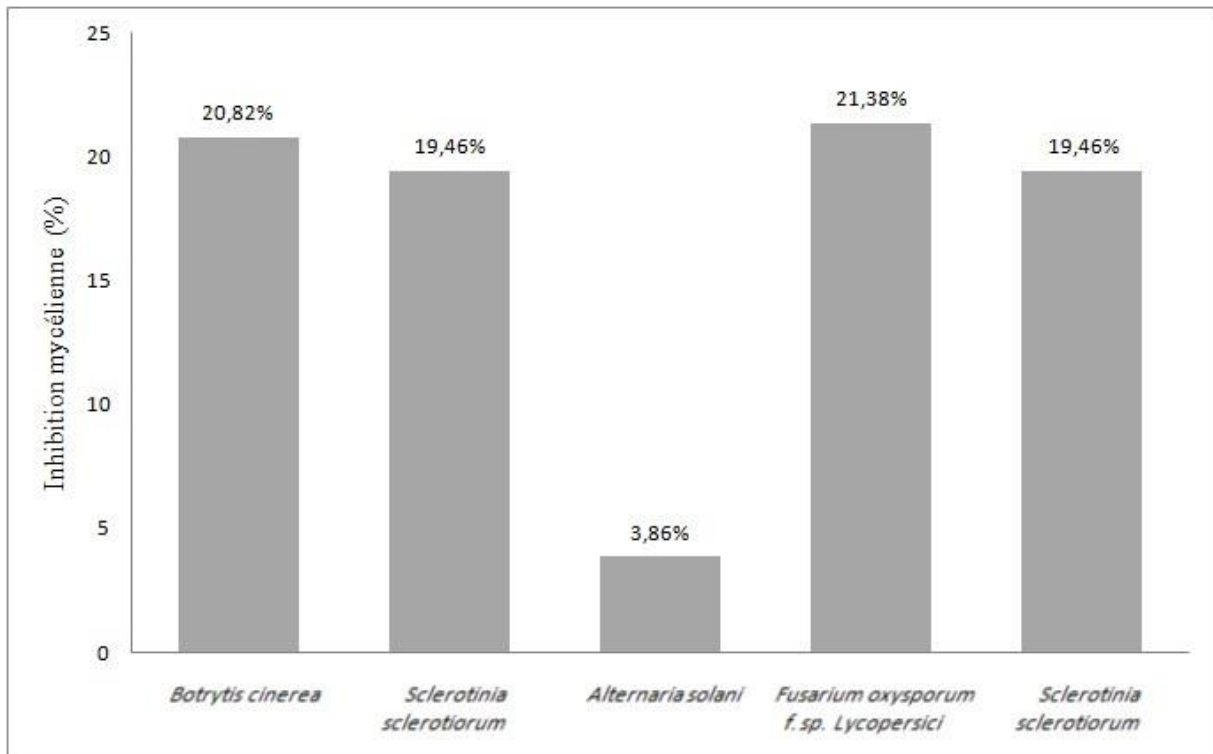
Selon Madlener et *al.*(2007), dans la cas de la leucémie promyélocytaire humaine, l'acide gallique, un polyphénol contenu dans l'huile peut inhiber les COX1 et COX2. Des enzymes qui catalysent la transformation de l'acide arachidonique en prostaglandines. Ces métabolites sont à l'origine des processus inflammatoires.

L'inflammation et ses médiateurs comme la prostaglandine E2, ont un rôle important dans la progression des cancers et des maladies vasculaires. Par le biais du  $\gamma$ -tocophérol présent dans l'huile, la formation de prostaglandines peut être inhibée, elle peut aussi inhiber l'activité des COX des macrophages et des cellules épithéliales et aussi induire la réduction de l'expression inductible de la nitrique oxyde synthase (Jiang et *al.*, 2000).

Dans une autre étude qui s'est portée sur l'effet de la fraction hydrophile de l'huile notamment les acides linoléiques conjugués sur certaines cellules cancéreuses. L'évaluation des cytokines exprimées par des cellules cancéreuses du sein MCF-7 et MDA-MB-231 a démontré une réduction des niveaux du facteur de croissance vasculaire endothélial (VEGF) et de neuf cytokines (IL-2, IL-6, IL-12, IL-17, IP-10, MIP-1 $\alpha$ , MIP-1 $\beta$ , MCP-1 et TNF- $\alpha$ ), ce qui mis en évidence l'effet anti-inflammatoire de l'huile de pépins de grenade (Costantini et *al.*, 2014).

### **2.4.3. Effet antimicrobien**

La figure 26 résume les résultats obtenus par Okan et *al.*(2020) concernant les propriétés antifongiques de l'huile contre cinq agents pathogènes végétaux différents.



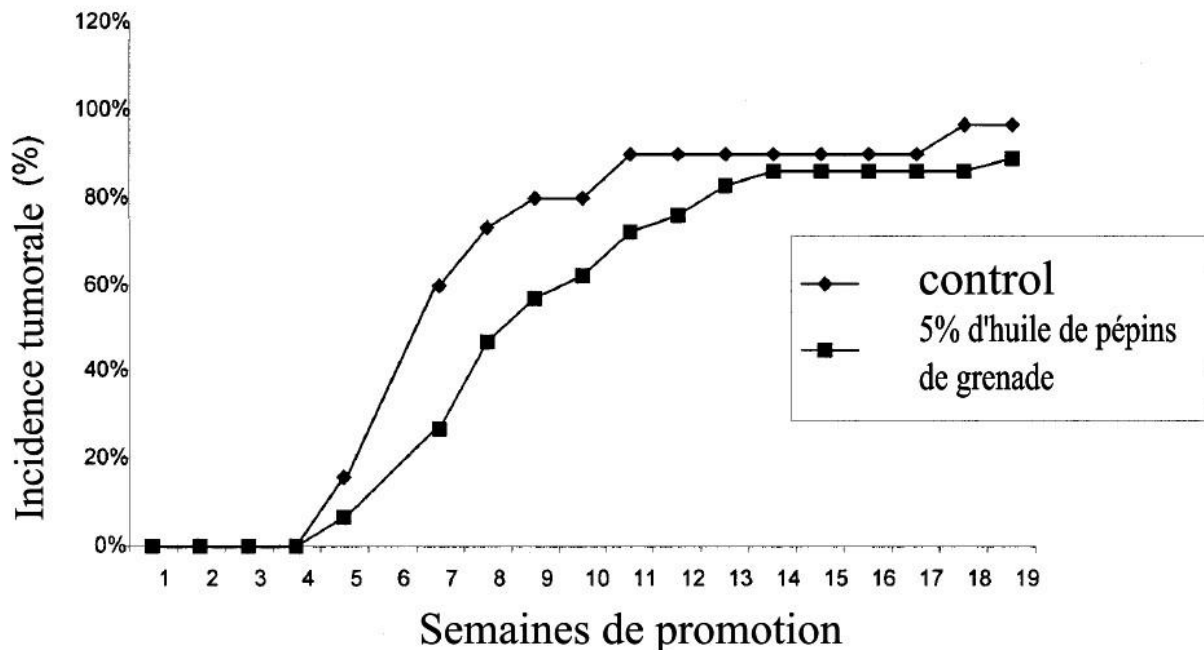
**Figure 26.** Inhibition mycélienne de l'huile de pépins de grenade (Okan et al., 2020).

Une étude de Lu et al. (2020) a mentionné que l'huile de pépins de grenade possède une activité antibactérienne meilleure que celle de l'huile d'olive contre *E. coli*, *B. subtilis* et les levures. Aussi, l'ozonation *in vitro* de l'huile améliore l'activité antibactérienne contre *Pseudomonas aeruginosa* et *Listeria monocytogenes* (Amri et al., 2020). L'activité antimicrobienne de l'huile a montré également un effet d'inhibition sur la croissance de *Micrococcus luteus* et *Salmonella enteritidis* (Koh et al., 2005). Récemment, Acar et al. (2018) ont rapporté qu'une administration diététique de cette huile sur des truites arc-en-ciel *Oncorhynchus-mykiss*, qui sont une variété de poissons cultivée pour l'alimentation a provoqué une résistance aux maladies causées par la bactérie *Yersinia ruckeri* (exemple : maladie de la bouche rouge) avec une réduction de la mortalité et une amélioration de la réponse immunitaire innée.

#### 2.4.4. Effet anti-tumoral

Des traitements contre les cancers à base de l'huile de pépins de grenade ont abouti à des résultats prometteurs. En effet, une application de cette huile sur des souris a permis de réduire de façon significative le développement de la tumeur de la peau, tumeur dû à l'activité de l'ornithine décarboxylase. L'inhibition de la biosynthèse de certaines prostaglandines spécifiquement les cyclooxygénases (cox1 et cox2) et la lipooxygénase par l'acide punicoïque très présent dans l'huile et l'inhibition de la phospholipase A2 a peut-être contribué à la

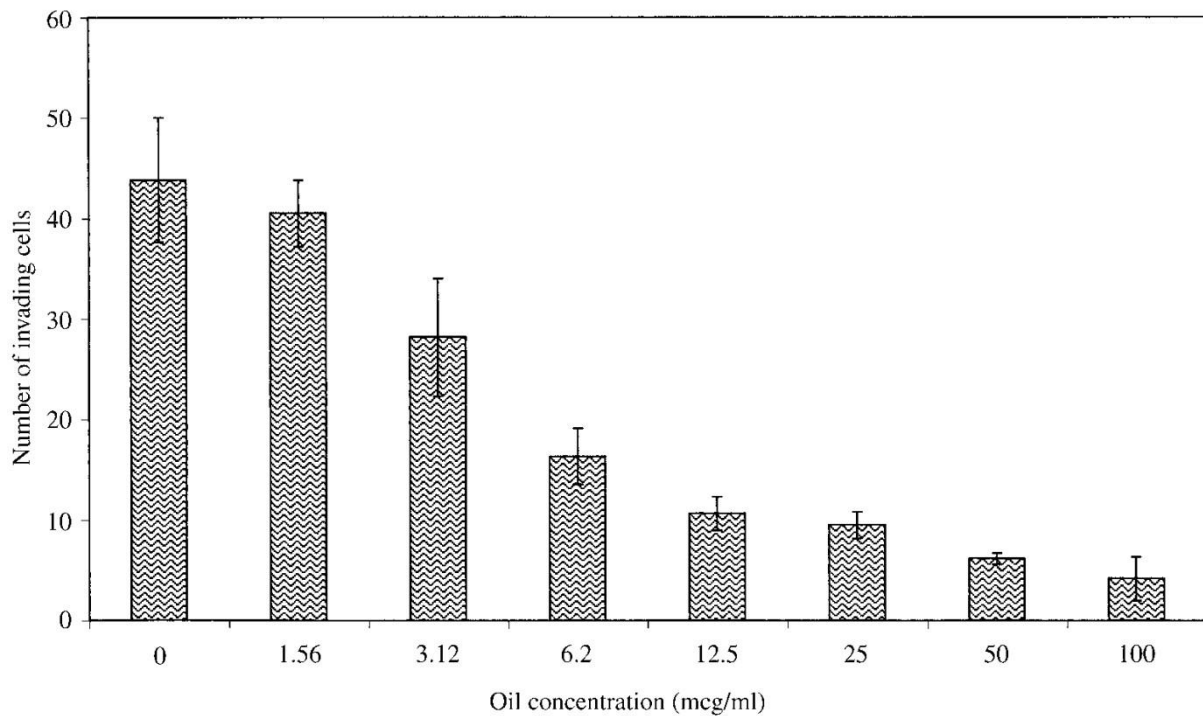
désactivation de l'ornithine décarboxylase. Comme le montre la figure 27, le traitement avec l'huile n'a pas retardé l'apparition de la tumeur mais a réduit significativement sa vitesse de développement (Hora et *al.*, 2003).



**Figure 27.** Effet de l'huile de pépins de grenade sur l'incidence de la tumeur (Hora et *al.*, 2003).

Une autre étude rapportée par Mota Ferreira et *al.* (2016) sur les gliomes qui sont des tumeurs cérébrales malignes à prolifération rapide, à croissance infiltrantes, chimio-résistantes et de mauvais pronostiques. Des traitements *in vitro* à base d'huile de pépins de grenade ont donné des résultats prometteurs sur la réduction de la viabilité des cellules cancéreuses.

Selon Kim et *al.* (2002), l'inhibition des cyclooxygénases par les polyphénols de pépins de grenade permet d'inhiber la prolifération et l'invasion des cellules cancéreuses du sein (MCF-7) et des lésions alvéolaires mammaires. La figure 28 montre l'effet d'un traitement avec l'huile sur le nombre de cellules cancéreuses du sein humain MCF-7. A une concentration de 100 $\mu$ g/ml l'inhibition de la prolifération a atteint les 90%.



**Figure 28.** Inhibition de l'invasion de cellules cancéreuses du sein humaine MCF-7 par l'huile de pépins de grenade pressée à froid (Kim et al., 2002).

Concernant des études faites sur le cancer du côlon, Kohno et *al.*(2004) ont rapporté que l'administration orale de l'huile de pépins de grenade chez les rats a diminué la multiplication des cellules cancéreuses sans toxicité apparente. Cet effet est du à l'augmentation de l'expression des récepteurs PPAR $\gamma$  (récepteurs activés par les proliférateurs de peroxydases  $\gamma$ ). Ces derniers sont des facteurs de transcription qui appartiennent à une superfamille de récepteurs nucléaires d'hormones, et jouent un rôle important dans de nombreux processus métaboliques, réactions inflammatoires, métabolisation du glucose par amélioration de la sensibilité à l'insuline. Ils participent aussi dans l'adipogénèse. Leur activation mène à un effet anti tumoral et bien entendu un effet contre le cancer colorectal (Jackson, 2003; Dai et *al.*, 2010).

Des études faites sur le cancer de la prostate ont aussi démontré des résultats encourageants. Le  $\gamma$ -tocophérol a pu inhiber la prolifération des cellules cancéreuses de la prostate mais semble n'avoir aucun effet sur la croissance d'une cellule épithéliale prostatique normale. Leur mécanisme d'action proposé pour cet effet serait l'inhibition de la synthèse des sphingolipides (Jiang et *al.*, 2004).

#### **2.4.5. Effet cardio-protecteur**

Selon Mirmiran et *al.*(2010), la consommation de 400mg de huile de pépins de grenade riche en acide linoléique conjugués par des sujets hyperlipidémiques, deux fois par jours pendant quatre semaines a eu des effets favorables sur les profils lipidiques. Aussi, un autre travail a montré que le prétraitement des cardiomyocytes H9c2 avec l'huile a induit une augmentation de leur viabilité, une diminution de la production élevée de espèces oxygénées réactives, une réduction de la peroxydation lipidique et une augmentation de l'activité de la superoxyde dismutase (Bihamta et *al.*, 2017). Cette huile possède un effet protecteur contre le stress oxydatif ce qui lui permet d'être considérée comme un agent cardioprotecteur naturel pour prévenir plusieurs maladies cardiovasculaires.

#### **2.4.6. Effet neuro-protecteur**

Grace à son activité anti oxydante, l'huile de pépins de grenade a un rôle neuro protecteur, en neutralisant les espèces réactives de l'oxygène ou en améliorant l'expression des gènes anti oxydants, en réduisant le ratio lactate/pyruvate, l'oxyde nitrique extracellulaire et la peroxydation des lipides (Boroushaki et *al.*, 2016).

Selon Sarkaki et *al.* (2013), l'administration permanente de l'huile chez des rats atteints d'une ischémie cérébrale a amélioré de façon remarquable la mémoire. Un effet qui serait lié en partie à ses actions antioxydantes et de piégeage des radicaux libres.

#### **2.4.7. Effets antidiabétique**

Les principales causes du diabète sucré de type 2 sont des anomalies au niveau de la fonction du transporteur de glucose de type 4 (GLUT-4) et la sécrétion d'insuline. Une étude clinique, menée par Khajebishak et *al.*(2019) a démontré qu'une supplémentation de l'huile de pépins de grenade à des patients diabétiques de type 2 avec 3 g/jour pendant 8 semaines a entraîné une multiplication de l'expression génique de GLUT-4 d'environ sept fois, et la glycémie à jeun a diminué significativement..

L'étude menée par Hontecillas et *al.* (2009) a rapporté que dans les tissus musculaires squelettiques et les tissus adipeux, l'acide punique a diminué les concentrations de glucose plasmatique à jeun, a supprimé l'activation de NF- $\kappa$ B (nuclear factor  $\kappa$ B) et l'expression de TNF-alpha et a augmenté les gènes sensibles aux PPAR $\gamma$ .

### 2.4.8. Effet anti-ulcéreux

Coursodon-Boyiddle et *al.* (2012) ont évalué les effets de l'administration orale de l'huile de pépins de grenade sur le développement d'entérocolite nécrosante chez des rats prématurés (néonataux). L'entérocolite nécrosante est une maladie dévastatrice associée à une inflammation intestinale sévère et excessive. L'étude a rapporté que l'huile a réduit l'incidence de l'entérocolite nécrosante de 61% à 26%, a amélioré la prolifération des entérocytes et de la protection de l'architecture intestinale et a réduit la réponse inflammatoire.

### 2.4.9. Usage alimentaire

La valeur nutritionnelle de l'huile de pépins de grenade est tout à fait reconnue, elle est la meilleure source naturelle d'acide punicique qui est bénéfique pour la santé. Sa richesse en acides gras polyinsaturés la place comme un candidat parfait pour substituer les acides gras saturés présents dans la matière grasse (Paul et *al.*, 2020).

Introduire cette huile dans la nourriture des animaux permet d'obtenir des produits de haute qualité nutritive. Ainsi, incorporée dans l'alimentation des chèvres laitières elle permet d'augmenter la teneur en matière grasse du lait produit, la teneur en acides gras insaturés et diminuer le contenu en acide gras saturés (Emami et *al.*, 2016). L'administration diététique de l'huile à des poules pondeuses comme source d'acide punicique a permis d'avoir un impact positif sur la couleur et le contenu en lipides des jaunes d'œufs, avec une réduction du cholestérol (Kostogryns et *al.*, 2017).

Le profil en acide gras de l'huile et ses propriétés antioxydantes en font d'elle un composant alimentaire fonctionnel efficace pour la croissance et aussi pour la prévention de nombreux désordres métaboliques. Cette huile peut être intégrée dans des emballages alimentaires pour améliorer les propriétés barrières et mécaniques et pour prolonger la stabilité des aliments pendant le stockage en inhibant la croissance des microorganismes pathogènes (Paul et *al.*, 2020).

L'addition de l'huile de pépins de grenade dans des huiles végétales (huile de canola et de tournesol) a amélioré leur potentiel antioxydant et le contenu phénolique total, en diminuant l'indice de peroxyde et en ralentissant la dégradation des tocophérols durant le stockage, ce qui suggère l'usage de cette huile comme antioxydant potentiel et une bonne alternative aux antioxydants synthétiques (Siraj et *al.*, 2019).

Cette huile a aussi la capacité d'améliorer les propriétés des films biopolymères utilisés dans les emballages alimentaires (Paul et *al.*, 2020). En combinaison avec d'autres éléments comme de l'agar ou l'amidon de tamarin, l'huile permet de conserver et d'améliorer les propriétés des aliments. Ainsi dans le cas de la goyave, un revêtement à base d'huile et d'amidon de tamarin a permis de retarder le développement de la noirceur et d'avoir une rétention de la fermeté, une perte de masse plus faible, et cela jusqu'à 21 jours de stockage (Onias et *al.*, 2018). Une autre étude a aussi rapporté une conservation de la qualité du fruit (la papaye) en utilisant cette fois l'huile avec l'agar (Morais et *al.*, 2019).

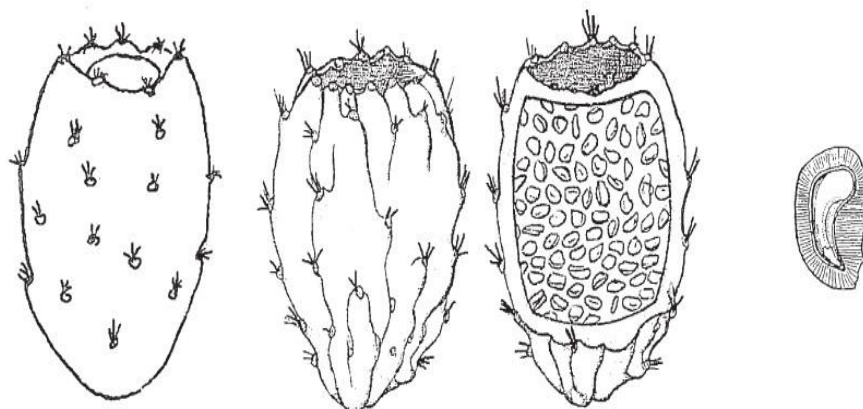
### **2.4.10. Usage en cosmétique**

L'acide punique confère à l'huile de pépin de grenade des propriétés protectrices et anti-inflammatoires pour agir contre les rayons UV, et peut agir comme un inhibiteur de la glycation due au vieillissement, un processus qui affecte négativement l'élasticité de la peau (ko et *al.*, 2021). L'huile a été testée dans une crème qui contient aussi de la résine Croton lechleri et a augmenté l'épaisseur, l'hydratation et l'élasticité de la peau, ce qui suggère qu'elle peut aider à améliorer et à prévenir des peaux atteintes de vergetures (Bogdan et *al.*, 2017). L'huile de pépins de grenade stimule aussi la prolifération des keratinocytes pour un léger épaissement de l'épiderme, stimule la synthèse du pro collagène de type I et inhibe les métalloprotéinases matricielles-1 (Boroushaki et *al.*, 2016).

### 3. L'huile de figue de barbarie

#### 3.1. Présentation

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica* L.) est une plante qui appartient à la famille de Cactaceae, nommée Nopal au Mexique (Schweizer, 1997), pays dont elle est originaire, aujourd'hui elle est présente dans différents endroits du monde notamment le bassin méditerranéen et l'Afrique, incluant l'Algérie, le Maroc et la Tunisie. La plante a de multiples usages que ce soit pour l'alimentation, la santé et la cosmétique. Les fruits sont des baies charnues ovoïdes ou piriformes pourvues d'épines (figure 29) et contiennent environ 300 graines par un fruit de 150g (Krifa *et al.*, 2019). La littérature mentionne que les graines contiennent 7-8% ou 5-15.5% d'huile. Les graines contiennent aussi des polysaccharides, de la cellulose, d'hémicelluloses et des protéines (Tableau XVII) (Habibi, 2004).



NOPAL : Fruit (tuna)

Aspect général et coupe.

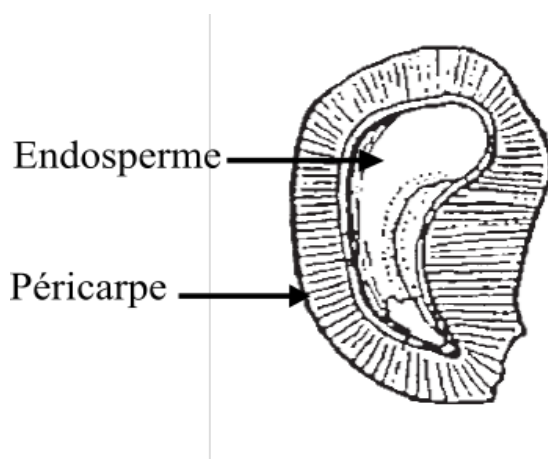
Graine (coupe)

**Figure 29.** Représentation de la figue de barbarie (Schweizer, 1997).

**Tableau XVII.** Composition chimique des graines du figuier de barbarie (Habibi, 2004).

Constituants	Pourcentage (par rapport à la matière sèche)
Eau	5-6 %
Huile	7-8%
Minéraux (cendres)	1,3%
Lignine Klason	18%
Protéines	11-12%
Cellulose	30%
Autres polysaccharides	27%

La graine est constituée de deux parties distinctes (figure 30) : Le noyau (endosperme) qui est constitué principalement de granules d'amidon enrobés dans une paroi cellulaire parenchymateuse en forme de tuile et il a un aspect visqueux qui est due à sa contenance en gluten. L'autre partie est l'enveloppe (péricarpe) qui est constituée de fibres de sclérenchyme dont les microfibrilles de cellulose disposées en couches successives concentriques (Habibi, 2004).



**Figure 30.** Coupe d'une graine de figue de barbarie (Schweizer, 1997; Habibi, 2004).

Le rendement de l'huile dépend de la variété, du cultivar, de la localisation géographique et de la saison de cultivation. La technique et le solvant utilisé et le temps pour effectuer l'extraction sont eux aussi très importants. Ces facteurs et paramètres affectent aussi la composition qualitative de l'huile notamment son profil en acide gras. L'huile de figue de barbarie est précieuse et souvent celle qui est commercialisée est issue d'une extraction par pression à froid, une technique qui certes ne donne pas un rendement énorme mais permet d'avoir une qualité supérieure. Pour une extraction à froid il faut 800kg à 1 tonne de fruit soit 30 à 50kg de pépins pour obtenir un Litre d'huile (Krifa et *al.*, 2019). Dans de nombreuses études l'extraction avec un appareil de Soxhlet est souvent employée. D'autres techniques peuvent être utilisées notamment l'extraction par un fluide supercritique. Le tableau XVIII rapporte les rendements en fonction des méthodes d'extraction utilisées et de l'origine des graines de figues de barbarie.

**Tableau XVIII.** Rendement en huile, en fonction des méthodes d'extraction utilisées et de l'origine des graines de figues de barbarie.

Origines	Méthodes	Solvants	Rendements (%)	Références
Algérie(Bejaïa)	Soxhlet extraction 9h	Hexane	7,3-9,3	Chougui et <i>al.</i> , (2013)
Algérie(Skikda)	Soxhlet extraction 18h	Hexane	10,45±0,10	Boukeloua et <i>al.</i> , (2012)
Tunisie	Soxhlet extraction 9h	Hexane	10,90 ± 0,10	Ennouri et <i>al.</i> , (2005)
Maroc	Soxhlet extraction 8h	Hexane	5,4-9,9	Taoufik et <i>al.</i> , (2015)
Espagne	Soxhlet extraction 3h	Ether diéthylique	2,61-7,69	Kolniak-Ostek et <i>al.</i> , (2020)
Grèce	Soxhlet extraction 4-6h	Hexane	5,4 ± 0,5	Karabagias et <i>al.</i> , (2020)
Mexique	Pression à froid	-	0,5–6,1	Regalado-Rentería et <i>al.</i> , (2018)
Tunisie	Extraction au CO <sub>2</sub> supercritique	-	1,94-3,4	Yeddes et <i>al.</i> , (2012)

L'huile de figue de barbarie est de couleur jaune verdâtre (Khémiri et *al.*, 2019), elle est riche en acide gras polyinsaturés, en vitamines, en polyphénols, et en différents stérols. Ses composants lui confèrent de nombreuses activités et de nombreux effets. Grâce à son haut pouvoir antioxydant, l'huile a la possibilité d'agir sur de nombreuses pathologies et offre la protection contre de nombreux facteurs qui agressent la peau et les tissus (exemple : les rayons UV) (Al-Naqeb et *al.*, 2021).

## 3.2. Composition

### 3.2.1. Profil en acide gras

Le tableau XIX nous montre le profil en acide gras des huiles qui proviennent de différents pays. L'acide gras le plus majoritaire est l'acide linoléique avec des proportions allant jusqu'à 70% des acides gras totaux. Dans la majorité des pays l'acide oléique est en deuxième position suivi de l'acide palmitique, exception pour l'huile allemande où on observe plutôt l'inverse (Al-Naqeb et *al.*, 2021). Ce profil est très proche de celui de l'huile de pépins de raisins dont les proportions en acides majoritaires sont relativement similaires.

**Tableau XIX.** Profil en acide gras de l'huile de pépins de barbarie selon différents pays (Al-Naqeb et *al.*, 2021).

	Acide Linoléique	Acide Oléique	Acide Linoléique	Acide Vaccénique	Acide Palmitique	Acide Stéarique
Allemagne	53,5 ± 4,9	18,3 ± 1,6	NR	2,6 ± 0,2	20,1 ± 2,3	2,7 ± ,.1
Chypre	55,9–60,1	15,6–17,6	NR	NR	12,4	4,0
Algérie	49,7–56,1	15,6–19,3	0,24	4,30	10,1 ± 0,2	2,8 ± 0,2
Égypte	54,03	22,41	0,63	NR	17,11	3,49
Maroc	60,2–64,6	18,2–22,3	0,3	NR	11,6–12,4	3,0–3,4
Maroc	62,0	21,0	0,30	NR	12,0	3,0
Tunisie	57,6–57,5	22,3–25,3	0,2–0,5	NR	14,3–11,3	3,12–4,3
Tunisie	61,6 ± 0,1	21,2 ± 0,16	0,20	NR	12,2 ± 0,03	3,3 ± 0,03
Tunisie	70,3 ± 0,6	16,8 ± 0,5	NR	NR	9,3 ± 0,2	3,1 ± 0,1
Italie	58,0	18,0	NR	6,3	12,0	4,0
Espagne	57,7–63,1	19,0–21,8	0,23–1,10	NR	12,5–15,1	2,6–4,1
Turquie	49,3–62,1	13,0–23,5	0,3	5,0–6,3	10,6–12,8	3,3–5,4
Mexique	66,5–76,1	9,3–19,9	NR	NR	5,6–56,2	15,5– 36,1
Mexique	60,5–78,8	10,7–19,9	NR	NR	2,9–6,1	2,9–5,2
Afrique du Sud	56,9–65,2	16,4–22,5	NR	NR	12,7–16,1	2,2–3,4
Yémen	57,0	22,30	0,23	NR	14,0	3,0

### 3.2.2. Les polyphénols

Différentes études ont rapporté différentes valeurs des composés phénoliques totaux (CPT) (tableau XX).

**Tableau XX.** CPT de l'huile de pépins de figue de barbarie.

Source	CPT
(Khémiri et al., 2019)	26,5 mg EAG/g
(Brahmi et al., 2020)	55,82 ± 3,84 mg EAG/100g
(Karabagias et al., 2020)	551 ± 0,300 mg EAG/L

Selon Khémiri et al.(2019) le CPT est de 26,5 EAG/g d'huile (Equivalence en Acide Gallique), les flavonoïdes sont de 3,1mg QuercetinEq/g , les caroténoïdes sont de 10,52 mg/kg et la chlorophylle est de 4,57 mg/kg.

### 3.2.3. Les tocophérols et tocotriénols

La teneur en vitamine K1 rapportée par Ramadan et al. (2003) est de 0,525±0,06 g/kg d'huile de pépins de figue de barbarie, ce qui est supérieure à la teneur en vitamine E dans la même étude qui est de 0,403±0,04 g/kg (tableau XXI). Cette étude a aussi rapporté une présence de caroténoïdes (0,047 g/kg d'huile).

**Tableau XXI.** Composition en tocols de l'huile de figue de barbarie.

	(Khémiri et al., 2019)mg/kg	(Ramadan et al., 2003) g/kg	(El Mannoubi et al., 2009) mg/kg
α-tocophérol	11,49±0,27	0,056±0,003	10,980±0,002
β-tocophérol	797,8±0,79	0,012±0,002	
γ-tocophérol		0,330±0,03	421,080±0,090
δ-tocophérol	53,92±0,46	0,005±0,001	15,320±0,003
Totale Vitamine E	863,21±1,16	0,403±0,04	447,380±0,140

### 3.2.4. Les stérols

Le beta-Sitostérol est le stérol majeur dans cette huile (jusqu'à plus de 80%). Suivant les études (tableau XXII), en deuxième place on peut trouver soit du stigmastanol ou du campestérol.

**Tableau XXII.** Composition en stérols de l'huile de figue de barbarie.

	(Brahmi et <i>al.</i> , 2020) Algérie (mg/100g d'huile)	(Taoufik et <i>al.</i> , 2015) Maroc (%)	(El Mannoubi et <i>al.</i> , 2009) Tunisie (g/kg)	(Ramadan et <i>al.</i> , 2003) Allemagne (g/kg)
$\beta$ -Sitostérol	387,44 $\pm$ 3,04	75,9-81	11,50 $\pm$ 0,12	6,75 $\pm$ 0,89
Stigmastanol	47,04 $\pm$ 0,02	-	-	-
Campestérol	21,65 $\pm$ 0,09	8,9-13,1	2,17 $\pm$ 0,10	1,66 $\pm$ 0,21
Stigmastérol	11,26 $\pm$ 0,51	1,8-3,0	0,76 $\pm$ 0,03	0,30 $\pm$ 0,04
Cholestérol	-	0,9-1,3	0,01 $\pm$ 0,00	$\pm$
Sitostanol	-	-	0,57 $\pm$ 0,02	-
$\Delta$ 5 -Avenastérol	-	3,6-6,7	0,82 $\pm$ 0,03	0,29 $\pm$ 0,03
$\Delta$ 7 -Avenastérol	-	0,1-0,9	0,23 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,006
$\Delta$ 7-Stigmastérol	-	0,3-1,5	-	-
Lanostérol	-	-	-	0,28 $\pm$ 0,05
Totale	467,39 mg /100g	-	16,06 $\pm$ 0,28 g/kg	9,05 g/kg

### 3.3. Paramètres physicochimiques

Les paramètres physico chimiques de l'huile de figue de barbarie sont résumés dans le tableau XXIII.

**Tableau XXIII.** Paramètres physico chimiques de l'huile de figue de barbarie.

Paramètres	Boukeloua et al., (2012)	Khémiri et al., (2019)
Indice acide	1,82±0.01	1,952 ± 0,034
Indice d'iode (g d'I <sub>2</sub> /100 g d'huile)	93,45±0.22	108,52 ± 0,250
Indice de Saponification (mg de KOH/g d'huile)	177,10±0,05	/
Indice Peroxyde (meq O <sub>2</sub> /kg d'huile)	2,04±0,05	2,230 ± 0,061
Densité (20°)	0,909±0,01	0,905 ± 0,001
Densité par gravimétrie a 20°C	/	0,931 ± 0,010
Indice Réfractive (20°)	1,476±0,01	1,475 ± 0,001
Etat physique a température ambiante	Liquide	Liquide
Couleur	Jaune marron	Jaune verdâtre
odeur	Légèrement fruité	/
propriété	Huile sèche	/
Texture	Non comédogène	/

### 3.4. Effets et usages de l'huile de pépin de figue de barbarie

#### 3.4.1. Effet antioxydant

Le bon choix du solvant utilisé et la variété du fruit sont décisifs pour avoir une activité antioxydante maximale. Selon Ramírez-Moreno et al.(2017) pour les différents fruits utilisés, l'utilisation de l'hexane a donné le meilleur rendement que l'éthanol et l'éthyle acétate alors que l'huile extraite par l'hexane a eu l'activité antioxydante la plus faible comparée aux autres.

L'activité anti radicalaire de l'huile est de 95%. Les tocophérols sont des antioxydants naturels très actifs, leur principale fonction biochimique est la protection des acides gras polyinsaturés contre la peroxydation (Chaalal et al., 2012). Egalement, Khémiri et al., (2019) ont rapporté que l'huile extraite par pressage à froid a une activité de piégeage de radicaux libres de 88.410% par le test de DPPH et 87.420% par le test de ABTS comparée à la vitamine C (Vit. C eq/g d'huile).

#### 3.4.2. Effet anti-inflammatoire

Bardaa et al. (2020) ont démontré qu'un traitement topique avec l'huile de pépins de figue de barbarie avec des doses de 25ul/patte avait un meilleur effet anti inflammatoire

comparé à d'autres huiles testées (huiles de citrouille et de graines de lin). L'expérimentation consistait à injecter à des rats par voie sous cutanée du Carraghénane (polysaccharide naturel qui induit une inflammation). Ceux traités avec l'huile de pépins de barbarie ont eu une réduction significative de la taille de l'œdème formé, une réduction du nombre de globules blancs et des plaquettes, de la concentration des protéines C-réactives et des fibrinogènes.

L'effet anti inflammatoire est dû aux composants de l'huile. Les acides gras insaturés sont considérés comme des anti-inflammatoires hautement actifs agissant comme des inhibiteurs de la cyclooxygénase. Les phytostérols, les tocophérols, les polyphénols et les caroténoïdes participent aussi à cet effet par le biais de leurs pouvoirs antioxydant en neutralisant les espèces oxygénées actives, ce qui permet d'inhiber l'oxydation des lipides et des protéines. Les flavonoïdes sont aussi connus pour leurs effets réducteurs des effets des prostaglandines qui causent la phase tardive de l'inflammation aiguë et la perception de la douleur. Ils neutralisent aussi les oxydants libérés par les leucocytes et les autres phagocytes (Al-naqeb et al., 2021). Aussi, le beta-Sitostérol peut inhiber l'activité de la myéloperoxydase et de l'adénosine désaminase et réduit aussi les niveau de IL-1 $\beta$  and TNF- $\alpha$  (Liz et al., 2012).

### 3.4.3. Effet antimicrobien

Khémiri et al. (2019) ont rapporté l'effet antimicrobien de l'huile de pépins de figue de barbarie contre des bactéries *Enterobacter cloacae*, contre les levures *Candida parapsilosis* et *Candida sake* et un effet anti fongique contre *Aspergillus niger*, *Penicillium digitatum*, et *Fusarium oxysporu*. Aussi l'étude de Ramírez-Moreno et al.(2017) a révélé l'effet antimicrobien de l'huile contre les grams positifs et négatifs, elle a pu inhiber l'activité de deux levures (*Saccharomyces cerevisiae* et *Candida albicans*) et quatre bactéries sur six testées. Les bactéries inhibées sont : *Escherichia coli* O58:H21, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* et *Pseudomonas aeruginosa*. Les bactéries pour lesquelles l'huile n'a pas eu d'effets sont : *Escherichia coli* O157:H7 et *Salmonella typhi*. Le mécanisme d'action suggéré par les auteurs était la perturbation de la membrane par l'inactivation de l'adhésion microbienne, des enzymes et des protéines de transport. La non inhibition de *Salmonella typhi* qui est un gram négatif peut être expliquée par le fait que ce dernier possède une membrane externe qui empêche la pénétration des composants amphipathiques et qui expulse les toxines, en plus de la présence des plasmides qui offrent une résistance aux médicaments. L'étude conclue que l'huile a un effet anti microbien comparable à l'ampicilline, la streptomycine et le sulfaméthoxazole/triméthoprime.

Une autre étude rapportée par Nazzaro et *al.*(2021) a confirmé l'efficacité de l'huile contre les bactéries grames positifs et négatifs. En effet, l'huile a pu inhiber le bio film de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginos* et *Pectobacterium carotovorum* (38,75%, 71,84%, et 63,06% d'inhibition, respectivement). L'huile a aussi bloqué à 64,97% le métabolisme de *Listeria monocytogenes*.

### **3.4.4. Effet anti-tumoral**

L'étude rapportée par Becer et *al.* (2018) a montré que l'huile de pépins de figue de barbarie a eu un effet anticancéreux en inhibant la croissance des cellules Colo-320 et Colo-741, des lignées cellulaires de carcinome du côlon. L'inhibition s'est faite d'une manière indépendante du temps et de la dose et en induisant l'apoptose. Cet effet est dû à la haute teneur en acide linoléique de l'huile. Ce dernier, composant majoritaire de l'huile est connu pour avoir un effet pro-apoptotique sur différents types de lignées cellulaires cancéreuses, comme la démontré l'étude de Zhang et *al.*(2015), ainsi l'effet de différents acides gras polyinsaturés incluant l'acide linoléique a été étudié sur des cellules LoVo et RKO qui sont des cellules cancéreuses du côlon. L'apoptose se fait par une voie médiée par la mitochondrie, par la perte du potentiel de la membrane mitochondriale, la génération d'espèces oxygénées réactives, l'accumulation de  $Ca^{+2}$  intracellulaire, l'activation de la caspase-9 et de la caspase-3, la diminution du niveau d'ATP et une augmentation dans le rapport d'expression Bax/Bcl2. Le Bax est un facteur pro-apoptotique et le Bcl2 est un facteur anti-apoptotique qui joue un rôle dans la régulation de l'intégrité de la membrane externe de la mitochondrie.

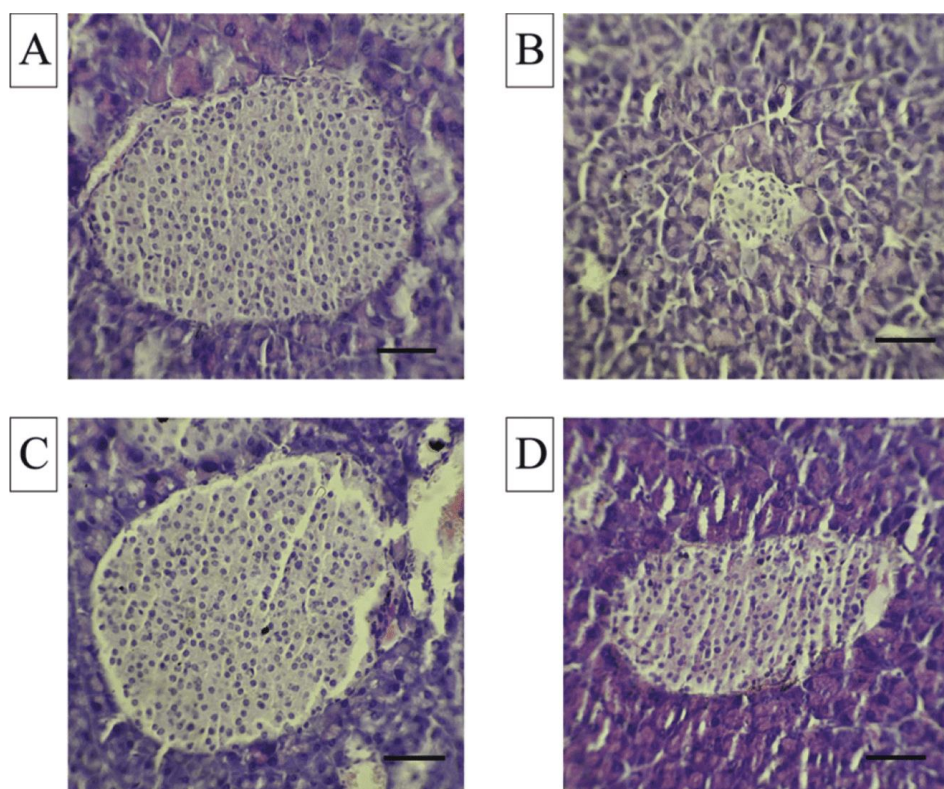
### **3.4.5. Effet cardio-protecteur**

L'Hypercholestérolémie peut constituer un facteur de risque important pour l'apparition de maladies cardiovasculaires. Une étude de Ennouri et *al.*(2006) a conclu que la supplémentation de l'alimentation de rats avec 25g/kg de l'huile de pépins de figue de barbarie a diminué les taux de cholestérol total et de LDL sans effets sur les concentrations des HDL. Selon les auteurs cet effet est probablement dû à la richesse de l'huile en phytostérols notamment le beta-sitostérol (6 g/kg d'huile) qui sont connus pour faire diminuer le taux de cholestérol dans le plasma.

L'huile de pépins de figue de barbarie peut aussi moduler l'expression de deux récepteurs nucléaires (liver X receptor (LXR)- $\alpha$  et LXR $\beta$ ) et leurs gènes cible (ABCA1 et ABCG1) qui sont impliqués dans la régulation du métabolisme du cholestérol (Al-Naqeb et *al.*, 2021).

### 3.4.6. Effet antidiabétique

L'effet antidiabétique de l'huile de pépins de figue de barbarie est l'un des effets plus étudiés. Berraouan et *al.*, (2015) ont rapporté l'effet protecteur de l'huile sur des rats rendus diabétiques par l'alloxane. L'administration orale de l'huile a atténué l'hyperglycémie et a amélioré le taux de survie chez les rats traités de 77.77% contre 40 % des rats non traités. L'étude morphométrique du pancréas a révélé que l'huile a protégé les îlots de Langerhans contre les altérations induites par l'alloxane en préservant le diamètre et la surface des îlots et le nombre de cellules insulaires (figure 31). L'huile a permis de prévenir l'apparition du diabète induit par l'alloxane grâce au travail synergique de ses composants antioxydants (tocophérols, beta carotène, polyphénols...) en inhibant la production des radicaux libres et/ou en neutralisant ces derniers s'ils sont produits. Les acides gras insaturés améliorent le pouvoir antioxydant et préservent l'homéostasie redox des cellules bêta pancréatiques contribuant ainsi à un effet antidiabétique.



**Figure 31.** Photomicrographes (grossissement 400x) des îlots pancréatiques de Langerhans (barre d'échelle= 50  $\mu$ m) (Berraouan et *al.*, 2015).

A : groupe de control ; B : groupe d'alloxane (100mg/kg) ; C : groupe d'alloxane avec l'huile de pépins de figue de barbarie (2 mL/kg) ; D : groupe d'alloxane avec du TCO (huile de cuisson enrichie avec le D-alpha-tocophérolacetate) (barre d'échelle= 50  $\mu$ m).

L'étude de Berraouan et *al.*, (2014) a rapporté que l'administration orale de 1 ou 2ml/kg d'huile de pépins de figue de barbarie n'a pas affecté de manière significative le taux de glycémie à jeun des rats en bonne santé. Cependant, l'administration de l'huile a amélioré la tolérance au glucose en réduisant l'hyperglycémie postprandiale chez des rats sains chargés au glucose et des rats diabétiques (diabète induit par la streptozotocine). Cet effet réducteur du taux de glucose peut être expliqué par une augmentation de la sécrétion de l'insuline et de l'absorption extra-pancréatique du glucose. En effet, les omégas-3 augmentent l'excrétion d'insuline et les acides gras polyinsaturés améliorent la fluidité des cellules membranaires et l'absorption du glucose en augmentant l'expression des transporteurs GLUT1 et GLUT4.

Ennouri et *al.*, (2006) ont aussi constaté une diminution de la concentration sérique de glucose chez des rats traités avec l'huile de pépins de figue de barbarie, et une augmentation des niveaux du glycogène dans le foie et dans le muscle squelettique. Cette augmentation peut être expliquée par une élévation de la sécrétion en insuline, ce qui va stimuler l'incorporation du glucose en glycogène pour la régulation de la glycémie.

### **3.4.7. Effet anti-ulcèreux**

L'administration de l'huile à des rats Wistar a protégé leurs muqueuses gastriques contre les effets ulcérants de l'éthanol. Le taux de guérison pour les rats traités a été de 91% en 2 jours et 99% en 3 jours. Au quatrième jour le taux de guérison était au complet, contrairement aux rats témoins non traités. Cet effet antiulcèreux est dû à la richesse de l'huile en composants qui agissent en synergie ou de manière différée pour optimiser la guérison par leurs propriétés antioxydantes, ou en agissant comme antagoniste au récepteur-H2 de l'Histamine, en stimulant la production du mucus et des bicarbonates et en exerçant un effet anti inflammatoire. La présence d'acides gras et de triacylglycérols contribue aussi au processus de guérison en aidant à la réparation et à la construction des membranes cellulaires (Khémiri et Bitri, 2019).

### **3.4.8. Usage alimentaire**

L'étude de Ennouri et *al.*, (2006) a rapporté que les rats nourris avec un régime à base d'huile de pépins de figues de barbarie possédaient une conversion alimentaire meilleure, nécessitant moins de nourriture pour augmenter leurs poids (par augmentation de la masse protéique) comparés au groupe témoin. Ces résultats s'ajoutent aux effets antidiabétiques et régulateurs du cholestérol et à la richesse de l'huile en vitamines et en acides gras insaturés, ce qui la rend intéressante pour un usage alimentaire sain.

### 3.4.9. Usage en cosmétique

L'huile de pépins de figue de barbarie est appréciée en cosmétique avec ses vertus anti âge, anti rides, régénératrices des cellules et protectrices contre les UV, son effet antioxydant permet de protéger la peau contre les radicaux libres. Ainsi, Al-Naqeb et *al.*, (2021) rapportent que grâce à ses composants comme les antioxydants et les acides gras polyinsaturés, l'huile a permis de réduire la mort cellulaire due au rayonnement UV des fibroblastes dermiques humaines. Elle peut potentiellement protéger contre différent types d'UV, elle absorbe les rayonnements UV-C dans un intervalle de 100-290 nm, les UV-B à un intervalle de 290-320 nm et les UV-A à un intervalle de 320-500nm là où les rayonnements causent la plupart des dommages.

## V. Conclusion

Les huiles végétales ont de nombreuses propriétés qui sont les résultats de leur composition en différentes molécules bioactives qui travaillent souvent en synergie entre elles.

Pour les huiles étudiées nous avons vu qu'elles présentent des activités intéressantes et multiples. Leurs modes d'action peuvent être différents d'une huile à une autre, ce qui est la conséquence de leurs différentes compositions. La technique d'extraction et le solvant utilisé influencent grandement le rendement et la bioactivité. Les techniques qui permettent d'avoir de grands rendements n'offrent pas toujours les meilleurs profils qualitatifs. L'huile de pépins de grenade est caractérisée par son acide gras majoritaire qui est l'acide punique alors que pour les deux autres huiles celle des pépins des raisins et de figes de barbarie c'est plutôt l'acide linoléique qui est majoritaire. Ces acides gras sont connus par leur bioactivité qui leur permet d'agir sur de nombreuses maladies comme les cancers et le diabète. Ils sont aussi très recherchés pour leur valeur nutritive étant des acides gras polyinsaturés et ayant des effets sur les niveaux du cholestérol. Grace à l'activité antioxydante de leurs composants notamment les vitamines, les stérols et les polyphénols, les huiles peuvent protéger contre les agents agresseurs comme les UV et les radicaux libres. Les huiles peuvent influencer de nombreuses voies métaboliques, améliorant l'activité d'enzymes antioxydants (superoxyde dimutase, catalase...) et inhibant certains enzymes (cyclooxygenase, lipoxygenase) responsables de causer des dommages notamment par le biais de la génération de radicaux libres.

## Références bibliographiques

Acar Ü., Parrino V., Kesbiç O.S., Lo Paro G., Saoca C., Abbate F., Yilmaz S. and Fazio F. (2018). Effects of different levels of pomegranate seed oil on some blood parameters and disease resistance against *Yersinia ruckeri* in rainbow trout. *Frontiers in Physiology*, 9: 1-7.

Al-Naqeb G., Fiori L., Ciolli M. and Aprea E. (2021). Prickly Pear Seed Oil Extraction, Chemical Characterization and Potential Health Benefits. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(16): 5018.

Amri Z., Ben Hamida S., Dbeibia A., Ghorbel A., Mahdhi A., Znati M., Ambat I., Haapaniemi E., Sillanpää M. and Hammami M. (2020). Physico-chemical Characterization and Antibacterial Activity of Ozonated Pomegranate Seeds Oil. *Ozone: Science & Engineering*, 42(6): 531-538.

Aruna P., Manohar B. and Singh R.P. (2018). Processing of pomegranate seed waste and mass transfer studies of extraction of pomegranate seed oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(5): 1–11.

Ba K., Tine E., Destaun J., Cissé N. and Thonart P. (2010). Etude comparative des composés phénoliques, du pouvoir antioxydant de différentes variétés de sorgho sénégalais et des enzymes amylolytiques de leur malt. *BASE*, 14(1): 131-139.

Baran K. P. (2014). Peroxisome Proliferator-Activated Receptors (PPARs). *Encyclopedia of Toxicology*, 812–814.

Barbier O., Torra I.P., Duguay Y., Blanquart C., Fruchart J.-C., Glineur C. and Staels B. (2002). Pleiotropic Actions of Peroxisome Proliferator–Activated Receptors in Lipid Metabolism and Atherosclerosis. In *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 22(5):717–726.

Bardaa S., Turki M., Ben Khedir S., Mzid M., Rebai T., Ayadi F. and Sahnoun, Z. (2020). The Effect of Prickly Pear, Pumpkin, and Linseed Oils on Biological Mediators of Acute Inflammation and Oxidative Stress Markers. *BioMed research international*, 2020:1-11.

Becer E., Kabadayı H., Meriçli F., Meriçli A.H., Kıvançlı B. and Vatansever S. (2018). Apoptotic Effects of *Opuntia ficus indica* L. Seed Oils on Colon Adenocarcinoma Cell Lines. *Proceedings*, 2(25): 1566.

- Berahmand F., Anoush G., Hosseini M-J. and Anoush M. (2020). Grape Seed Oil as a Natural Therapy in Male Rats with Alzheimer's Diseases. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 10(3): 430-436.
- Berraaouan A., Abderrahim Z., Hassane M., Abdelkhaleq L., Mohammed A. and Mohamed B. (2015). Evaluation of protective effect of cactus pear seed oil (*Opuntia ficus-indica* L. MILL.) against alloxan-induced diabetes in mice. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 8(7): 532–537.
- Berraaouan, A., Ziyat, A., Mekhfi, H., Legssyer, A., Sindic, M., Aziz, M., & Bnouham, M. (2014). Evaluation of antidiabetic properties of cactus pear seed oil in rats. *Pharmaceutical Biology*, 52(10), 1286–1290.
- Bihamta M., Hosseini A., Ghorbani A. and Boroushaki M. T. (2017). Protective effect of pomegranate seed oil against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> -induced oxidative stress in cardiomyocytes. *Avicenna journal of phytomedicine*, 7(1): 46-53.
- Bogdan C., Iurian S., Tomuta I., Moldovan M. (2017). Improvement of skin condition in striae distensae: development, characterization and clinical efficacy of a cosmetic product containing *Punica granatum* seed oil and *Croton lechleri* resin extract. *Drug design, development and therapy*, 11: 521–531.
- Boroushaki M.T., Mollazadeh H. and Afshari A.R. (2016). Pomegranate seed oil: A comprehensive review on its therapeutic effects. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(2): 1000-1013.
- Borugă O., Jianu C., Mișcă C., Goleț I., Gruia A.T. and Horhat F.G. (2014). *Thymus vulgaris* essential oil: chemical composition and antimicrobial activity. *Journal of medicine and life*, 7(3): 56–60.
- Boukeloua A., Belkhiri A., Djerrou Z., Bahri L., Boulebda N. and Hamdi Pacha Y. (2012). Acute toxicity of *Opuntia ficus indica* and *Pistacia lentiscus* seed oils in mice. *African journal of traditional, complementary, and alternative medicines : AJTCAM*, 9(4): 607–611.
- Brahmi F., Haddad S., Bouamara K., Yalaoui-Guellal D., Prost-Camus E., de Barros J.-P.P., Prost M., Atanasov A.G., Madani K., Boulekbache-Makhlouf L. and Lizard G. (2020). Comparison of chemical composition and biological activities of Algerian seed oils of

*Pistacia lentiscus* L., *Opuntia ficus indica* (L.) mill. and *Argania spinosa* L. Skeels. *Industrial Crops and Products*, 151: 112456.

Brunner G. (2005). Supercritical fluids: technology and application to food processing. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2): 21–33.

Cabanis J.C., Cabanis M.T., Cheynier V., Teissedre P.L. (1998). Caractérisation de la matière première et des produits élaborés. dans: *Oenologie: fondements scientifiques et technologiques*. Eds Flanzly, C., Lavoisier, Tec & Doc, Paris, pp 291-336

Chaalal M., Touati N. and Louaileche H. (2012). Extraction of phenolic compounds and in vitro antioxidant capacity of prickly pear seeds. *Acta Botanica Gallica*, 159(4): 467–475.

Chougui N., Tamendjari A., Hamidj W., Hallal S., Barras A., Richard T. and Larbat R. (2013). Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food Chemistry*, 139(1-4): 796–803.

Costantini S., Rusolo F., De Vito V., Moccia S., Picariello G., Capone F., Guerriero E., Castello G. and Volpe M.G. (2014). Potential anti-inflammatory effects of the hydrophilic fraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil on breast cancer cell lines. *Molecules* (Basel, Switzerland), 19(6): 8644-8660.

Coursodon-Boydiddle C.F., Snarrenberg C. L., Adkins-Rieck C. K., Bassaganya-Riera J., Hontecillas R., Lawrence P., Brenna J.T., Jouni Z. E. and Dvorak, B. (2012). Pomegranate seed oil reduces intestinal damage in a rat model of necrotizing enterocolitis. *American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology*, 303(6) : G744–G751.

Crews C., Hough P., Godward J., Brereton P., Lees M., Guiet S. and Winkelmann W. (2006). Quantitation of the main constituents of some authentic grape-seed oils of different origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(17): 6261-6265.

Cuvelier C., Cabaraux J.F., Dufrasne I., Hornick J.-L. and Istasse L. (2004). Acides gras: nomenclature et sources alimentaires. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 148(3): 133-140

Dai Y. and Wang W.H. (2010). Peroxisome proliferator-activated receptor  $\gamma$  and colorectal cancer. *World journal of gastrointestinal oncology*, 2(3): 159-164.

Dimić I., Teslić N., Putnik P., Bursać Kovačević D., Zeković Z., Šojić B., Mrkonjić Ž., Čolović D., Montesano D. and Pavlić, B. (2020). Innovative and Conventional Valorizations

of Grape Seeds from Winery By-Products as Sustainable Source of Lipophilic Antioxidants. *Antioxidants*, 9(7): 568.

Do Tiên T.D. (2016). Évaluation des performances de la chromatographie sur couche mince haute performance (HPTLC) dans l'analyse (qualitative et quantitative) des métabolites secondaires dans les extraits naturels. Thèse de doctorat, Université Côte d'Azur, Nice. France.

El Mannoubi I., Barrek S., Skanji T., Casabianca H. and Zarrouk H. (2009). Characterization of *Opuntia ficus indica* seed oil from Tunisia. *Chemistry of Natural Compounds*, 45(5): 616–620.

Elfalleh W., Ying M., Nasri N., Sheng-Hua H., Guasmi F., Ferchichi A. (2011). Fatty acids from Tunisian and Chinese pomegranate (*Punica granatum* L.) seeds. *Int J Food Sci Nutr*, 62(3): 200-206.

Emami A., Fathi Nasri M. H., Ganjkhanelou M., Rashidi L. and Zali A. (2016). Effect of pomegranate seed oil as a source of conjugated linolenic acid on performance and milk fatty acid profile of dairy goats. *Livestock Science*, 193: 1-7.

Engelbrecht A.M., Mattheyse M., Ellis B., Loos B., Thomas M., Smith R., Peters S., Smith C. and Myburgh K. (2007). Proanthocyanidin from grape seeds inactivates the PI3-kinase/PKB pathway and induces apoptosis in a colon cancer cell line. *Cancer Letters*, 258(1):144-153.

Ennouri M., Evelyne B., Laurence M. and Hamadi A. (2005). Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear seed oils. *Food Chemistry*, 93(3): 431–437.

Ennouri M., Fetoui H., Bourret E., Zeghal N. and Attia H. (2006). Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. 1. Influence of a seed oil supplemented diet on rats. *Bioresource Technology*, 97(12): 1382–1386.

Fadavi A., Barzegar M. and Azizi M.H. (2006). Determination of fatty acids and total lipid content in oil seed of 25 pomegranates varieties grown in Iran. *J Food Compost Anal*, 19(6-7): 676-680.

Fernandes L., Casal S., Cruz R., Pereira J.A. and Ramalhosa E. (2013). Seed oils of ten traditional Portuguese grape varieties with interesting chemical and antioxidant properties. *Food Research International*, 50(1), 161-166.

- Fernandes L., Pereira J.A., López-Cortés I., Salazar D.M., Ramalhosa E. and Casal S. (2015). Fatty acid, vitamin E and sterols composition of seed oils from nine different pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain. *J Food Compost Anal*, 39: 13-22.
- Fine F., Vian M.A., Tixier A.S.F., Carre P., Pages X. and Chemat F. (2013). Les agrosolvants pour l'extraction des huiles végétales issues de graines oléagineuses. *OCL*, 20(5): A502.
- Fleuriet A., Uhel C. and Dédaldéchamp F. (1996). Les composés phénoliques et la qualité des produits d'origine végétale consommés par l'homme. *Acta Botanica Gallica*, 143(6): 493–500.
- Garavaglia J., Markoski M.M., Oliveira A. and Marcadenti A. (2016). Grape Seed Oil Compounds: Biological and Chemical Actions for Health. *Nutrition and Metabolic Insights*, 9: 59–64.
- Gómez A.M., López C.P. and de la Ossa E.M. (1996). Recovery of grape seed oil by liquid and supercritical carbon dioxide extraction: a comparison with conventional solvent extraction. *The Chemical Engineering Journal*, 61(3): 227-231.
- Habibi Y. (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique. These de doctorat. Université Joseph-Fourier - Grenoble I. France.
- Hajib A., Nounah I., Harhar H., Gharby S., Kartah B., Matthäus B., Bougrin K. and Charrouf Z. (2021). Oil content, lipid profiling and oxidative stability of “Sefri” Moroccan pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil. *OCL*, (28):5.
- Hernandez F.C.A., Melgarejo P., Martínez J.J., Martínez R. and Legua P. (2011). Fatty acid composition of seed oils from important Spanish pomegranate cultivars. *Ital J Food Sci*, 23(2): 188.
- Herzi N. (2013). Extraction et purification de substances naturelles : comparaison de l'extraction au CO<sub>2</sub>-supercritique et des techniques conventionnelles. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse), Toulouse, France.
- Hontecillas R., O'Shea M., Einerhand A., Diguardo M. and Bassaganya-Riera J. (2009). Activation of PPAR gamma and alpha by puniolic acid ameliorates glucose tolerance and

suppresses obesity-related inflammation. *Journal of the American College of Nutrition*, 28(2): 184–195.

Hora J.J., Maydew E.R., Lansky E.P. and Dwivedi C. (2003). Chemopreventive Effects of Pomegranate Seed Oil on Skin Tumor Development in CD1 Mice. *Journal of Medicinal Food*, 6(3): 157-161.

Huang S., Yang N., Liu Y., Gao J., Huang T., Hu L., Zhao J., Li Y., Li C. and Zhang X. (2012). Grape seed proanthocyanidins inhibit colon cancer-induced angiogenesis through suppressing the expression of VEGF and Ang1. *International Journal of Molecular Medicine*, 30(6): 1410–1416.

Irandoost P., Ebrahimi-Mameghani M. and Pirouzpanah S. (2013). Does grape seed oil improve inflammation and insulin resistance in overweight or obese women?. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(6): 706–710.

Irwin J.W. and Hedges N. (2004). Measuring lipid oxidation. In *Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food*, Elsevier, (pp. 289–316).

Ismail, A. F. M., Moawad, F. S. M., & Mohamed, M. A. (2015). Protective mechanism of grape seed oil on carbon tetrachloride-induced brain damage in  $\gamma$ -irradiated rats. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 153, 317–323.

Jackson L. (2003). Potential role for peroxisome proliferator activated receptor (PPAR) in preventing colon cancer. *Gut*, 52(9): 1317-1322.

Jiang Q., Christen S., Shigenaga M.K. and Ames, B. N. (2001). Gamma-tocopherol, the major form of vitamin E in the US diet, deserves more attention. *The American journal of clinical nutrition*, 74(6) : 714–722.

Jiang Q., Elson-Schwab I., Courtemanche C. and Ames B.N. (2000). gamma-tocopherol and its major metabolite, in contrast to alpha-tocopherol, inhibit cyclooxygenase activity in macrophages and epithelial cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(21): 11494-11499.

Jiang Q., Wong J., Fyrst H., Saba J.D. and Ames B.N. (2004). gamma-Tocopherol or combinations of vitamin E forms induce cell death in human prostate cancer cells by

interrupting sphingolipid synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(51): 17825-17830.

Jing P., Ye T., Shi H., Sheng Y., Slavin M., Gao B., Liu L. and Yu L.L. (2012). Antioxidant properties and phytochemical composition of China-grown pomegranate seeds. *Food chemistry*, 132(3): 1457-1464.

Jones P.J.H., AbuMweis S.S. (2008). Cholesterol-lowering action of plant sterols. *Current Atherosclerosis Reports*, 10(6):467-472.

Karabagias V.K., Karabagias I.K., Gatzias I. and Badeka A.V. (2020). Prickly Pear Seed Oil by Shelf-Grown Cactus Fruits: Waste or Maste? *Processes*, 8(2): 132.

Kaur N., Chugh V. and Gupta A.K. (2012). Essential fatty acids as functional components of foods- a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10): 2289–2303.

Khajebishak Y., Payahoo L., Alivand M., Hamishekar H., Mobasserri M., Ebrahimzadeh V., Alipour M. and Alipour B. (2019). Effect of pomegranate seed oil supplementation on the GLUT-4 gene expression and glycemic control in obese people with type 2 diabetes: A randomized controlled clinical trial. *Journal of Cellular Physiology*, 234(11): 19621-19628.

Khanna S., Venojarvi M., Roy S., Sharma N., Trikha P., Bagchi D., Sen C.K. (2002). Dermal wound healing properties of redox-active grape seed proanthocyanidins. *Free Radical Biology and Medicine*, 33(8): 1089–1096.

Khémiri I. and Bitri L. (2019). Effectiveness of *Opuntia ficus indica* L. inermis Seed Oil in the Protection and the Healing of Experimentally Induced Gastric Mucosa Ulcer. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2019:1-17.

Khémiri I., Essghaier Hédi B., Sadfi Zouaoui N., Ben Gdara N. and Bitri L. (2019). The Antimicrobial and Wound Healing Potential of *Opuntia ficus indica* L. inermis Extracted Oil from Tunisia. *Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM*, 2019:1-10 .

Kim N.D., Mehta R., Yu W., Neeman I., Livney T., Amichay A., Poirier D., Nicholls P., Kirby A., Jiang W., Mansel R., Ramachandran C., Rabi T., Kaplan B. and Lansky E. (2002). Chemopreventive and adjuvant therapeutic potential of pomegranate (*Punica granatum*) for human breast cancer. *Breast Cancer Research and Treatment*, 71(3): 203-217.

- Ko K., Dadmohammadi Y. and Abbaspourrad A. (2021). Nutritional and Bioactive Components of Pomegranate Waste Used in Food and Cosmetic Applications: A Review. *Foods*, 10(3): 657.
- Koh J.H., Hwang M.O., Moon J.S., Hwang S.Y. and Son J.Y. (2005). Antioxidative and antimicrobial activities of pomegranate seed extracts. *Korean journal of food and cookery science*, 21(2): 171-179.
- Kohno H., Suzuki R., Yasui Y., Hosokawa M., Miyashita K. and Tanaka T. (2004). Pomegranate seed oil rich in conjugated linolenic acid suppresses chemically induced colon carcinogenesis in rats. *Cancer Science*, 95(6): 481-486.
- Kolar M.J., Konduri S., Chang T., Wang H., McNerlin C., Ohlsson L., Härröd M., Siegel D. and Saghatelian A. (2019). Linoleic acid esters of hydroxy linoleic acids are anti-inflammatory lipids found in plants and mammals. *The Journal of biological chemistry*, 294(27): 10698–10707.
- Kolniak-Ostek J., Kita A., Miedzianka J., Andreu-Coll L., Legua P. and Hernandez F. (2020). Characterization of Bioactive Compounds of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Seeds from Spanish Cultivars. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(23): 5734.
- Korać R.R. and Khambholja K.M. (2011). Potential of herbs in skin protection from ultraviolet radiation. *Pharmacognosy reviews*, 5(10): 164–173.
- Kostogryś R.B., Filipiak-Florkiewicz A., Dereń K., Drahun A., Czyżyńska-Cichoń I., Cieślik E., Szymczyk B. and Franczyk-Żarów M. (2017). Effect of dietary pomegranate seed oil on laying hen performance and physicochemical properties of eggs. *Food Chemistry*, 221: 1096–1103.
- Koubaa M., Mhemdi H., Barba F.J., Angelotti A., Bouaziz F., Chaabouni S.E. and Vorobiev E. (2016). Seed oil extraction from red prickly pear using hexane and supercritical CO<sub>2</sub>: assessment of phenolic compound composition, antioxidant and antibacterial activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(2): 613–620.
- Krifa O., KWC CONSULT. (2019). Market Screening – Huile de Pépins de Figues de Barbarie. SWISSCONTACT-SIPPO. Tunisie. <https://pampat.tn/wp-content/uploads/2019/03/Etude-de-marche-Huile-de-pepins-de-figue-de-barbarie.pdf>

- Laboureur L., Ollero M. and Touboul D. (2015). Lipidomics by Supercritical Fluid Chromatography. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(12): 13868-13884.
- Landrier J.F. (2011). Vitamine E et physiologie du tissu adipeux. *OCL*, 18(2) : 83–87.
- Lansky E.P. and Newman R.A. (2007). *Punica granatum* (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. *Journal of Ethnopharmacology*, 109(2): 177-206.
- Lavenburg V.M., Rosentrater K.A. and Jung S. (2021). Extraction Methods of Oils and Phytochemicals from Seeds and Their Environmental and Economic Impacts. *Processes*, 9(10): 1839.
- Liu G., Xu X., Gong Y., He L. and Gao Y. (2012). Effects of supercritical CO<sub>2</sub> extraction parameters on chemical composition and free radical-scavenging activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3): 573–578.
- Liu G., Xu X., Hao Q. and Gao Y. (2009). Supercritical CO<sub>2</sub> extraction optimization of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 42(9): 1491–1495.
- Liz R., Zanatta L., dos Reis G.O., Horst H., Pizzolatti M.G., Silva F.R.M.B. and Fröde T.S. (2012). Acute effect of  $\beta$ -sitosterol on calcium uptake mediates anti-inflammatory effect in murine activated neutrophils. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 65(1): 115–122.
- Lu L., Yang P., Chen T., Shen Y., Yao Q. and Yan J. (2020). Changes in Biological Activities after Olive Oil, Pomegranate Seed Oil, and Grape Seed Oil were Formulated into Self-Nanoemulsifying Systems. *Journal of Oleo Science*, 69(2): 161–166).
- Luque-Rodriguez J.M., Luque de Castro M.D. and Pérez-Juan P. (2005). Extraction of fatty acids from grape seed by superheated hexane. *Talanta*, 68(1): 126-130.
- Madlener S., Illmer C., Horvath Z., Saiko P., Losert A., Herbacek I., Grusch M., Elford H.L., Krupitza G., Bernhaus A., Fritzer-Szekeres M. and Szekeres T. (2007). Gallic acid inhibits ribonucleotide reductase and cyclooxygenases in human HL-60 promyelocytic leukemia cells. *Cancer letters*, 245(1-2): 156-162.

- Maier T., Schieber A., Kammerer D.R. and Carle R. (2009). Residues of grape (*Vitis vinifera* L.) seed oil production as a valuable source of phenolic antioxidants. *Food Chemistry*, 112(3): 551–559.
- Martin M.E., Grao-Cruces E., Millan-Linares M.C. and Montserrat-de la Paz S. (2020). Grape (*Vitis vinifera* L.) Seed Oil: A Functional Food from the Winemaking Industry. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9(10): 1360.
- Melgarejo P., Núñez-Gómez D., Legua P., Martínez-Nicolás J.J. and Almansa M.S. (2020). Pomegranate (*Punica granatum* L.) a dry pericarp fruit with fleshy seeds. *Trends in Food Science & Technology*. 102: 232–236.
- Mirmiran P., Fazeli M.R., Asghari G., Shafiee A. and Azizi F. (2010). Effect of pomegranate seed oil on hyperlipidaemic subjects: a double-blind placebo-controlled clinical trial. *British Journal of Nutrition*, 104(03): 402-406.
- Mohammadi M., Hajeb P., Seyyedian R., Mohebbi G.H. and Barmak A. (2013). Evaluation of oxidative quality parameters in imported edible oils in Iran. *British Food Journal*, 115(6): 789–795.
- Morais F.A.D., Araujo R.H.C.R., Oliveira A.M.F.D., Alves K.D.A., Vitor R.C.L., Morais S.K.Q., Teodosio A.E.M.M., Onias E.A. and Oliveira A. G.D. (2019). Agar and pomegranate seed oil used in a biodegradable coating composition for Formosa papaya. *Food Science and Technology*, 40(1):280-286.
- Morin O. and Pagès-Xatart-Parès X. (2012). Huiles et corps gras végétaux: ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel. *OCL*, 19(2): 63–75.
- Mota Ferreira L., Gehrcke M., Ferrari Cervi V., Eliete Rodrigues Bitencourt P., Ferreira da Silveira E., Hofstatter Azambuja J., Prates Ramos A., Nascimento K., Beatriz Moretto M., Braganhol E., Rorato Sagrillo M. and Cruz L. (2016). Pomegranate seed oil nanoemulsions with selective antiglioma activity: optimization and evaluation of cytotoxicity, genotoxicity and oxidative effects on mononuclear cells. *Pharmaceutical Biology*, 54(12): 2968-2977.
- Nag S. and Sit N. (2018). Optimization of ultrasound assisted enzymatic extraction of polyphenols from pomegranate peels based on phytochemical content and antioxidant property. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3): 1734–1743.

- Namdar D., Amrani A., Getzov N. and Milevski I. (2014). Olive oil storage during the fifth and sixth millennia BC at Ein Zippori, Northern Israel. *Israel Journal of Plant Sciences*, 62(1-2): 65–74.
- Navas P.B. (2009). Chemical composition of the virgin oil obtained by mechanical pressing from several grape seed varieties (*Vitis vinífera* L.) with emphasis on minor constituents. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 59(2): 214-219.
- Nazzaro F., Fratianni F., d'Acerno A., Caputo L., Feo V.D. and Coppola R. (2021). Antibiofilm Properties Exhibited by the Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Seed Oil. *International Electronic Conference on Microbiology*. MDPI.
- Niknami E., Sajjadi S.E., Talebi A. and Minaiyan M. (2020). Protective Effect of *Vitis vinifera* (Black Grape) Seed Extract and Oil on Acetic Acid-Induced Colitis in Rats. *International journal of preventive medicine*, 11: 102.
- Okan O.T., Kilic A., Onaran A., Öz M. and Deniz İ. (2020). Determination of chemical composition, antioxidant and antifungal properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) and Parsley (*Petroselinum crispum*) seed oil produced in industrial scale. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21(2): 1-11.
- Olas B., Wachowicz B., Stochmal A. and Oleszek W. (2012). The polyphenol-rich extract from grape seeds inhibits platelet signaling pathways triggered by both proteolytic and non-proteolytic agonists. *Platelets*, 23(4): 282–289.
- Ollivier V., Ollivier D. and Artaud J. (2015). Analyse des lipides - Constituants mineurs, qualité et authenticité. *Techniques de L'ingénieur*.
- Onias E.A., Araújo R.H.C.R., Queiroga T.B.D., Teodosio A.E.M.D.M., Onias E.A., Ferreira A.P.N., Rodrigues, M.H.B.S., Santos A.D.S., Oliveira Á.M.F.D. and Medeiros M.L.D.S. (2018). Coating Guava Postharvest With the Use of Starch of Tamarind Seed and Pomegranate Seed Oil. *Journal of Agricultural Science*, 11(1): 313.
- Pande G. and Akoh C.C. (2009). Antioxidant capacity and lipid characterization of six Georgia-grown pomegranate cultivars. *J Agric Food Chem*, 57(20): 9427-9436.
- Passos C.P., Yilmaz S., Silva C.M. and Coimbra M.A. (2009). Enhancement of grape seed oil extraction using a cell wall degrading enzyme cocktail. *Food Chemistry*, 115(1): 48–53

- Paul A. and Radhakrishnan M. (2020). Pomegranate seed oil in food industry: Extraction, characterization, and applications, *Trends in Food Science & Technology*, 105:273-283.
- Pierron J-C. (2017). L'huile de pépins de raisin en France et dans le monde. *OCL*, 24(5): D502.
- Pigeon S., Fortier C., Coderre F., Drolet J.Y. (2012). production d'huile végétale pure. BEIE. Disponible sur [https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/agroalimentaire\\_agricole/2-Production\\_d\\_huile\\_v%c3%a9g%c3%a9tale\\_pure.pdf](https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/agroalimentaire_agricole/2-Production_d_huile_v%c3%a9g%c3%a9tale_pure.pdf)
- Pinent M., Blay M., Bladé M.C., Salvadó M.J., Arola L. and Ardévol A. (2004). Grape seed-derived procyanidins have an antihyperglycemic effect in streptozotocin-induced diabetic rats and insulinomimetic activity in insulin-sensitive cell lines. *Endocrinology*, 145(11): 4985–4990.
- Ramadan M.F. 2019. *Fruit Oils: Chemistry and Functionality*. Springer International Publishing.
- Ramadan M.F. and Mörsel J.-T. (2003). Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.). *Food Chemistry*, 82(3): 339–345.
- Ramírez-Moreno E., Cariño-Cortés R., Cruz-Cansino N. del S., Delgado-Olivares L., Ariza-Ortega J.A., Montañez-Izquierdo V.Y., Hernández-Herrero M.M. and Filardo-Kerstupp T. (2017). Antioxidant and Antimicrobial Properties of Cactus Pear (*Opuntia*) Seed Oils. *Journal of Food Quality*, 2017: 1–8.
- Regalado-Rentería E., Aguirre-Rivera J.R., González-Chávez M.M., Sánchez-Sánchez R., Martínez-Gutiérrez F. and Juárez-Flores B.I. (2018). Assessment of Extraction Methods and Biological Value of Seed Oil from Eight Variants of Prickly Pear Fruit (*Opuntia* spp.). *Waste and Biomass Valorization*, 11(3):1181–1189.
- Rojo-Gutiérrez E., Carrasco-Molinar O., Tirado-Gallegos J.M., Levario-Gómez A., Chávez-González M.L., Baeza-Jiménez R. and Buenrostro-Figueroa J.J. (2021). Evaluation of green extraction processes, lipid composition and antioxidant activity of pomegranate seed oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2): 2098–2107.

- Rombaut N. (2013). Etude comparative de trois procédés d'extraction d'huile : aspects qualitatifs et quantitatifs : application aux graines de lin et aux pépins de raisin. Thèse de doctorat, Université de technologie de Compiègne, Compiègne, France.
- Rombaut N., Savoie R., Thomasset B., Castello J., Van Hecke E. and Lanoisellé J-L. (2015). Optimization of oil yield and oil total phenolic content during grape seed cold screw pressing. *Industrial Crops and Products*, 63: 26–33.
- Rotava R., Zanella I., da Silva L.P., Manfron M., Ceron C.S., Alves S.H., Karkow A.K. and Santos J.P.A. (2009). Antibacterial, antioxidant and tanning activity of grape by product. *Cienc Rural*, 39(3):941–944
- Rousserie P. (2019). de la biosynthèse des flavanols aux tanins du vin : quelle place pour les pépins de raisin ?.Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, Bordeaux, France.
- Rustan A.C. and Drevon C.A. (2005). Fatty Acids: Structures and Properties. *Encyclopedia of Life Sciences*.
- Santangelo C., Vari R., Scazzocchio B., Di Benedetto R., Filesi C. and Masella R. (2007). Polyphenols, intracellular signalling and inflammation. *Ann Ist Super Sanita*, 43(4):394–405.
- Sapkale G.N., Patil S.M., Surwase U.S. and Bhatbhage P.K. (2010). SUPERCRITICAL FLUID EXTRACTION. *International Journal of Chemical Sciences*, 8(2): 729-743
- Sarkaki A., Rezaiei M., Gharib Naseri M. and Rafieirad M. (2013). Improving active and passive avoidance memories deficits due to permanent cerebral ischemia by pomegranate seed extract in female rats. *The Malaysian journal of medical sciences : MJMS*, 20(2): 25-34.
- Sassano G., Sanderson P., Franx J., Groot P., van Straalen J. and Bassaganya-Riera J. (2009). Analysis of pomegranate seed oil for the presence of jacaric acid. *J Sci Food Agric*, 89(6): 1046-1052.
- Schmid K.M. and Ohlrogge J.B. (2008). Lipid metabolism in plants. Dans *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes* (pp. 97–130). Elsevier.
- Schubert S.Y., Lansky E.P. and Neeman I. (1999). Antioxidant and eicosanoid enzyme inhibition properties of pomegranate seed oil and fermented juice flavonoids. *Journal of Ethnopharmacology*, 66(1): 11-17.

Schweizer M. DOCTEUR NOPAL LE MÉDECIN DU BON DIEU. Paris. France. Aloe Plantes et Beauté.1997.ISBN 2-912978-07-6

Shahidi F. and Ambigaipalan P. (2020). Quality Assurance of Fats and Oils. Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 1-17.

Shinagawa F.B., De Santana F.C., Torres L.R.O. and Mancini-Filho J. (2015). Grape seed oil: A potential functional food?. Food Science and Technology, 35(3): 399-406.

Silva D.O.L., Ranquine L.G., Monteiro M. and Torres A.G. (2019). Pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil enriched with conjugated linolenic acid (cLnA), phenolic compounds and tocopherols: Improved extraction of a specialty oil by supercritical CO<sub>2</sub>. The Journal of Supercritical Fluids, 147: 126-37.

Siraj N., Shabbir M.A., Khan M.R. and Rehman K.U. (2019). Preventing oxidation of canola and sunflower oils by addition of pomegranate seed oil. Acta Alimentaria, 48(1): 18-27.

Soobrattee M.A., Neergheen V.S., Luximon-Ramma A., Aruoma O.I. and Bahorun T. (2005). Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and actions. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, 579(1-2): 200-213.

Sotiropoulou E.I., Varelas V., Liouni M. and Nerantzis E.T. (2017). Grape seed oil: from a winery waste to a value added cosmetic product-a review. Available online: <https://www.researchgate.net/publication/312578959>

Sovová H. and Stateva R.P. (2011). Supercritical fluid extraction from vegetable materials. Reviews in Chemical Engineering, 27(3-4): 79-156.

Subramanian M., Goswami M., Chakraborty S. and Jawali N. (2014). Resveratrol induced inhibition of *Escherichia coli* proceeds via membrane oxidation and independent of diffusible reactive oxygen species generation. Redox Biol, 2:865-872.

Taoufik F., Zine S., El Hadek M., Idrissi Hassani L.M., Gharby S., Harhar H., Matthäus B. (2015). Oil content and main constituents of cactus seed oils *Opuntia ficus indica* of different origin in Morocco. Mediterr. J. Nutr. Metab., 8:85-92.

Tsai M., Wu C., Lin T., Lin W., Huang Y. and Yang C. (2013). Chemical Composition and Biological Properties of Essential Oils of Two Mint Species. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 12(4) : 577-582.

Weggler B.A., Gruber B., Teehan P., Jaramillo R. and Dorman F.L. (2020). Inlets and sampling. Dans Separation Science and Technology (pp. 141–203). Elsevier.

Wijendran V. and Hayes K. C. (2004). DIETARY n-6 AND n-3 FATTY ACID BALANCE AND CARDIOVASCULAR HEALTH. Annual Review of Nutrition, 24(1): 597–615.

Yamasaki M., Kitagawa T., Koyanagi N., Chujo H., Maeda H., Kohno-Murase J., Imamura J., Tachibana H. and Yamada K. (2006). Dietary effect of pomegranate seed oil on immune function and lipid metabolism in mice. Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.), 22(1): 54-59.

Yeddes N., Chérif J.K., Jrad A., Barth D. and Trabelsi-Ayadi M. (2012). Supercritical SC-CO<sub>2</sub> and Soxhlet n-Hexane Extract of Tunisian Opuntia ficus indica Seeds and Fatty Acids Analysis. Journal of lipids, 2012: 1-6.

Zhang C., Yu H., Shen Y., Ni X., Shen S. and Das U.N. (2015). Polyunsaturated fatty acids trigger apoptosis of colon cancer cells through a mitochondrial pathway. Archives of medical science : AMS, 11(5): 1081–1094.

Zhao L., Yagiz Y., Xu C., Lu J., Chung S. and Marshall M.R. (2015). Muscadine grape seed oil as a novel source of tocotrienols to reduce adipogenesis and adipocyte inflammation. Food & Function, 6(7): 2293–2302.

Đurđević S., Milovanović S., Šavikin K., Ristić M., Menković N., Pljevljakušić D. Petrović S. and Bogdanović A. (2017). Improvement of supercritical CO<sub>2</sub> and n-hexane extraction of wild growing pomegranate seed oil by microwave pretreatment. In Industrial Crops and Products, 104: 21–27.

### Références webiographiques :

Aveno.com. (2020). When was vegetable oil invented ?.  
<https://www.aveno.be/2020/05/invention-vegetable-oil.html>

bio-provence.org. [https://www.bio-provence.org/IMG/pdf/fiche\\_technique\\_grenade\\_finale\\_bd.pdf](https://www.bio-provence.org/IMG/pdf/fiche_technique_grenade_finale_bd.pdf)

FEDIOL. (2016). Specifications for grapeseed oil. Disponible sur: <http://www.fediol.be/data/16SPEC212%20FEDIOL%20specifications%20for%20grapeseed%20oil%20FINAL.pdf>.

futura-sciences.com. <https://www.futura-sciences.com/sante/questions-reponses/divers-difference-huile-vegetale-huile-essentielle-6992/>

INRS. (2019). Hexane Fiche toxicologique n°113. [https://www.inrs.fr/dms/ficheTox/FicheFicheTox/FICHETOX\\_113-3/FicheTox\\_113.pdf](https://www.inrs.fr/dms/ficheTox/FicheFicheTox/FICHETOX_113-3/FicheTox_113.pdf)

interchimie.fr . (2013). Fiche technique de l'huile de pepins de raisin raffinee. Disponible Sur: [https://www.interchimie.fr/wp-content/uploads/HuileRaisin\\_FT13c.pdf](https://www.interchimie.fr/wp-content/uploads/HuileRaisin_FT13c.pdf)

Motoxmag.be. (2019). Expulseur d'huile de haute qualité. <https://www.motoxmag.be/high-quality-oil-expeller/>

passeportsante.net.

[https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/PalmaresNutriments/Fiche.aspx?doc=phytosterols\\_nu](https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/PalmaresNutriments/Fiche.aspx?doc=phytosterols_nu)

perles-gascogne. (2017). Composition, classement et rôle des huiles végétales. <https://www.perles-gascogne.com/actualites/2017/09/huiles-vegetales>

wikipedia.org. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Huile\\_essentiel](https://fr.wikipedia.org/wiki/Huile_essentiel)