

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

Université Mohammed  
Seddik Benyahia- de Jijel  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie  
Département : Microbiologie  
Appliquée et Sciences  
Alimentaires



جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل  
كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم: الميكروبيولوجيا التطبيقية  
و علوم التغذية

## THÈSE

Présentée par :

**SALIMA CHERRAT-ROMEIH**

Pour l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT EN SCIENCES**

Filière : Biologie

Option : Sciences Alimentaires

Thème

**Séchage et Analyse de la Composition du gingembre  
(*Zingiber Officinale Roscoe*) et Essai D'enrichissement  
de l'huile d'olive**

Soutenue le : 17/03/2022

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Mr. Idoui Tayeb  
Mme. Boulkebach Makhoul Lila  
Mr. Gavin Walker  
Mme. Brahmi Fatiha  
Mme. Akroum Souad  
Mme. Ait Meddour Amel

Professeur Univ. de Jijel  
Professeur Univ. de Bejaia  
Professeur Univ. de Limerick Ireland  
M.C.A. Univ. de Bejaia  
M.C.A. Univ. de Jijel  
M.C.A. Univ. de Jijel

Président  
Rapporteur  
Co Rapporteur  
Examinatrice  
Examinatrice  
Examinatrice

Année Universitaire 2021-2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

Université Mohammed  
Seddik Benyahia- de Jijel  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie  
Département : Microbiologie  
Appliquée et Sciences  
Alimentaires



جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل  
كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم: الميكروبيولوجيا التطبيقية  
و علوم التغذية

## THÈSE

Présentée par :

**SALIMA CHERRAT-ROMEIH**

Pour l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT EN SCIENCES**

Filière : Biologie

Option : Sciences Alimentaires

Thème

**Séchage et Analyse de la Composition du gingembre  
(*Zingiber Officinale Roscoe*) et Essai D'enrichissement  
de l'huile d'olive**

Soutenue le : 17/03/2022

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Mr. Idoui Tayeb  
Mme. Boulkebach Makhoul Lila  
Mr. Gavin Walker  
Mme. Brahmi Fatiha  
Mme. Akroum Souad  
Mme. Ait Meddour Amel

Professeur Univ. de Jijel  
Professeur Univ. de Bejaia  
Professeur Univ. de Limerick Ireland  
M.C.A. Univ. de Bejaia  
M.C.A. Univ. de Jijel  
M.C.A. Univ. de Jijel

Président  
Rapporteur  
Co Rapporteur  
Examinatrice  
Examinatrice  
Examinatrice

Année Universitaire 2021-2022

### Remerciements

✚ Tout d'abord, Alhamdoulilah, Dieu le tout puissant de m'avoir guidé et de m'avoir donné la patience et la persévérance pour arriver au terme de ce travail.

✚ Mes chaleureux remerciements et mon témoignage de respect vont à ma directrice de thèse, le Professeur **Boulkebach Lila** (Université de Béjaia) pour avoir accepté de diriger cette thèse, pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail et son suivie durant toute ces années. Je vous remercie pour vos conseils, vos remarques et tout le temps que vous m'avez consacré,  
Veuillez recevoir l'expression de ma sincère reconnaissance

✚ Thank you to Mr **Gavin Walker**, Co-supervisor Professor at University of limerick for your valuable help and for all the arrangements that you have set for me in your laboratory which helped me to achieve this work. Please receive the expression of my sincere appreciation

✚ Merci à Mr. **Idoui Tayeb** Professeur à l'université de Jijel, de m'avoir honoré de votre présence, votre disponibilité et d'avoir accepté de présider ce jury. Veuillez trouver ici le témoignage de ma plus grande gratitude.

✚ Merci à Mme **Brahmi Fatiha**, MCA à l'université de Bejaia, de m'honorer de votre présence dans ce jury et d'avoir accepté de juger cette thèse. Recevez ici l'expression de mon respect.

✚ Merci à Mme **Ait Meddour Amel** MCA à l'université de Jijel, pour avoir accepté de juger cette thèse, Pour votre intérêt à ce travail et votre disponibilité, Veuillez accepter mes remerciements et ma profonde reconnaissance

✚ Merci à Mme **Akroum Souad** MCA à l'université de Jijel, Pour avoir accepté de juger cette thèse, Pour votre intérêt à ce travail et votre disponibilité, Veuillez accepter mes remerciements et ma profonde reconnaissance

✚ Merci également au membre du laboratoire BBBS

✚ I would like to express my gratitude to all those who helped me at Bernal, University of Limerick, Ireland

## *Dédicace*

*A la mémoire de mon père*



## *A ma très chère tendre mère,*

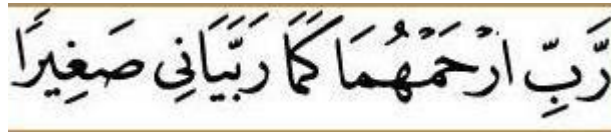
Tous les mots du monde ne seront suffisants pour exprimer mes sentiments et ma gratitude  
envers l'être le plus chère au monde ma maman (**Ima**)

Vous étiez toujours à mes côtés, vous m'avez enseigné la patience, le courage et que rien  
n'est impossible dans la vie

Vous êtes et vous resterez à jamais ma référence et ma lumière qui éclaire mon chemin

Merci pour ce que vous avez fait pour nous et pour toutes ces années de sacrifices, vous étiez  
et vous resterez à jamais mon exemple dans la vie

J'implore Dieu, le tout puissant, de vous accueillir dans son vaste paradis



رَبِّ ارْحَمُهُمَا كَمَا رَبَّيْتَانِي صَغِيرًا

## *Je dédie ce travail*

*I express my deep gratitude to my dear husband and friend Ehab, thank you for your support in every step of the way, for your love, your presence, your listening, and your precious advice. Thank you for being a part of my life who always encourages me to make my dreams come true*

*With love, my thank you goes to my kids Ayman, Ali and Enjy first to be a part of my life and to encourage me, to give me the power to continue and support me all these years*

*À mes chers frères (Rachid, Mouloud et Salim) un grand merci et une grande reconnaissance pour vos grands supports et encouragements surtout Nacer merci beaucoup d'être là et de m'avoir aidé à ta façon*

*À mes chères sœurs (Louisa, Hassiba et Farida) un vif et chaleureux merci qui viens droit du cœur pour vos encouragements, votre présence et vos soutiens durant toutes ces années et bien sûr un spécial remerciement à Souad merci d'être là, à mes cotés*

*À tous mes neveux et nièces surtout Asma*

*À mes belles sœurs et mes beaux frères*

*À toute ma belle famille*

*À mes amies (Sabrina, Saida, Nadjia, Nadra, Meriem.....) et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail*

*Et enfin à tous ceux que j'aime.*

*Salima*

## **Résumé**

Dans le présent travail nous avons étudié le gingembre (*Zingiber officinale*), cette plante tant utilisée pour sa valeur culinaire, mais aussi pour ses vertus thérapeutiques. Le séchage des rhizomes a été effectué de manière conventionnelle par étuve à différentes températures 40°C, 60°C, 80 °C et 100°C. L'analyse physico-chimique, par HPLC et l'étude de la microstructure des différentes poudres obtenues montre que le séchage rapide à haute température préserve mieux les flavonoïdes et les polyphénols totaux. La teneur en caroténoïde et en 6-gingerol diminue alors que le 6-shogaol et la zingerone augmente à haute température. La microstructure est plus altérée à haute température. L'incorporation du gingembre à l'huile d'olive vierge a révélé une augmentation dans les taux des flavonoïdes, des polyphénols et dans l'activité antioxydante tandis que les paramètres de qualité d'huile d'olive (acidité et indice de peroxyde) ne montrent pas de changement significatif.

**Mots clés :** Séchage du gingembre, activité antioxydante, Flavonoïdes, 6-gingerol, 6-shogaol, zingerone, enrichissement, l'huile d'olive.

## Abstract

In this investigation we have studied ginger (*Zingiber officinale*), this plant widely used not only for its culinary value but also for its therapeutic virtues. The drying of the ginger rhizomes was carried out in a conventional manner by oven at different temperatures 40°, 60°, 80° and 100°C. The physico-chemical analysis, HPLC and the study of the microstructure of various powders obtained shows that rapid drying at high temperature preserves better the flavonoids and the polyphenols. The total content of carotenoids and 6-gingerol decrease while 6-shogaol and zingerone increase at high temperature. The microstructure is more altered at high temperature. Incorporation of ginger into virgin olive oil revealed increased flavonoids, polyphenols and antioxidant activity while quality parameters of the olive oil (acidity and peroxide value) showed no significant changes.

**Key words:** dried ginger, antioxidant activity, flavonoids, 6-gingerol, 6-shogaol, Enrichment, olive oil.

## المخلص

درسنا في هذا العمل الزنجبيل (*Zingiber officinale*) ، هذا النبات يستخدم كثيراً لقيمته في الطهي ، وكذلك أيضاً لفوائده العلاجية. تم إجراء تجفيف الجذور بطريقة تقليدية بواسطة فرن عند درجات حرارة مختلفة 40 درجة و 60 درجة و 80 درجة و 100 درجة مئوية. يُظهر التحليل الفيزيائي والكيميائي ، بواسطة الكروماتوغرافيا HPLC . و دراسة البنية المجهرية للمساحيق المختلفة التي تم الحصول عليها أن التجفيف السريع في درجة حرارة عالية يحافظ بشكل أفضل على مركبات الفلافونويد والبوليفينول. ينخفض محتوى الكاروتينات 6-gingerol مع زيادة في كل من zingerone و shogaol عند ارتفاع درجة الحرارة. وكذلك تتغير البنية المجهرية بدرجة أكبر في درجات الحرارة العالية. أظهر دمج الزنجبيل مع زيت الزيتون البكر زيادة في نشاط مركبات الفلافونويد والبوليفينول ومضادات الأكسدة بينما معايير الجودة (قيمة الحموضة والبيروكسيد) لم تتغير

**الكلمات المفتاحية:** الزنجبيل المجفف ، النشاط المضاد للأكسدة ، الفلافونويد ، 6-جينجيرول ، 6-شوغوال ، زيت

الزيتون

## **Liste des abréviations**

**AG** : Acide Gallique

**AGI** : Acide Gras Insaturé.

**AGMI** : Acide Gras Mono Insaturé.

**AGPI** : Acides Gras Polyinsaturés.

**AGS** : Acide Gras Saturé.

**COI** : Conseil Oléicole International

**CT** : Caroténoïdes totaux

**DPPH** : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl.

**EC** : Épi catéchine

**Eq** : Equivalent gramme

**HPLC** : Chromatographie en phase liquide à haute performance

**HTC** : Huile traitée (+gingembre) Chauffé

**HTS** : Huile traitée (+gingembre) sans chauffage

**MS** : Matière sèche

**PT** : Polyphénols totaux

**Rpm** : rotation par minute

**TF** : Total Flavonoïdes

**TPr** : Totale protéine

**β.C**: Beta carotène

## Liste des Figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 1</b> : Plante de <i>Zingiber officinale</i> .....  | 4  |
| <b>Figure 2</b> : Photographie d'une tige florale de gingembre .....  | 5  |
| <b>Figure 3</b> : Rhizome de <i>Zingiber officinale</i> .....   | 6  |
| <b>Figure 4</b> : Distribution géographique du gingembre.....   | 8  |
| <b>Figure 5</b> : Composition en macronutriments du gingembre.....  | 9  |
| <b>Figure 6</b> : Structure chimique de quelques composants de l'huile essentielle du gingembre..                                   | 13 |
| <b>Figure 7</b> : Structure chimique du 6-gingerol, 8-gingerol et 10-gingerol.....  | 14 |
| <b>Figure 8</b> : Structure chimique du shogaol .....   | 15 |
| <b>Figure 9</b> : Structure chimique de la Zingerone.....   | 15 |
| <b>Figure 10</b> : Structure chimique de quelques flavonoïdes .....   | 16 |
| <b>Figure 11</b> : L'olivier ( <i>Olea europaea</i> L).....   | 21 |
| <b>Figure 12</b> : Structure générale des polyphénol .....  | 27 |
| <b>Figure 13</b> : Structures chimiques représentatives des sécoïridoïdes majoritaires présents dans<br>l'huile d'olive.....        | 28 |
| <b>Figure 14</b> : Structures chimiques représentatives des flavonoïdes de l'huile d'olive.....                                     | 39 |
| <b>Figure 15</b> : Structures chimiques représentatives des tocophérols de l'huile d'olive.....                                     | 30 |
| <b>Figure 16</b> : Structures chimiques représentatives des stérols de l'huile d'olive .....  | 31 |
| <b>Figure 17</b> : Structure du squalène.....   | 32 |
| <b>Figure 18</b> : Réactions d'oxydation des lipides.....   | 41 |
| <b>Figure 19</b> : Présentation du taux d'humidité dans les rhizomes du gingembre ( <i>Zingiber<br/>officinale</i> ).....           | 56 |
| <b>Figure 20</b> : Cinétique de séchage et la perte en eau dans les rhizomes de gingembre séchés à<br>différentes températures..... | 58 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 21</b> : Chromatogrammes des pics des trois composés identifiés (6-Gingerol, 6-shogoal et zingerone) obtenus à différentes températures de séchage (40°, 60°, 80°, 100°C) .....  | 62 |
| <b>Figure 22</b> : Photomicrographies des poudres de gingembre (1000x) obtenues à différentes températures de séchage. (A) 40 °C; (B) 60 °C; (C) 80 °C and (D) 100 °C. Les flèches noires indiquent les agrégats de tissu de parenchyme de gingembre et les flèches blanches indiquent les grains d'amidon. La barre d'échelle est de 50 µm..... | 70 |
| <b>Figure 23</b> : Effet de la charge sur le taux de polyphénols totaux.....   | 72 |
| <b>Figure 24</b> : Comparaison des teneurs en polyphénols totaux des différentes huiles d'olives (huile olive, huile d'olive + gingembre chauffé et huile d'olive +gingembre sans chauffage).....  | 73 |
| <b>Figure 25</b> : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH° par les extraits de l'huile d'olive .....   | 74 |
| <b>Figure 26</b> : Acidité des huiles d'olive étudiées.....  | 75 |
| <b>Figure 27</b> : Indice de peroxyde des huiles d'olive étudiées.....   | 75 |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau I :</b> La production mondiale en gingembre .....   | 9  |
| <b>Tableau II :</b> composition du gingembre .....   | 10 |
| <b>Tableau III :</b> Temps de séchage et poids final des poudres séchées à différentes températures .....          | 57 |
| <b>Tableau IV :</b> Teneurs en PT et flavonoïdes des extraits éthanoliques ( <i>Zingiber officinale</i> ) ..       | 59 |
| <b>Tableau V :</b> Effet de la température de séchage sur le 6-gingerol, 6-shogol et zingerone.....                | 61 |
| <b>Tableau VI :</b> Effet de la température de séchage sur la teneur en caroténoïdes et en $\beta$ –carotène ..... | 65 |
| <b>Tableau VII :</b> Effet de la température de séchage sur l'activité antioxydante.....                           | 66 |
| <b>Tableau VIII :</b> Composition chimique des extraits obtenus à différentes températures.....                    | 68 |



# TABLE DES MATIÈRES

*Liste des abréviations*

*List des figures*

*Liste des tableaux*

*Introduction Générale*.....1

## *Partie bibliographique*

### **CHAPITRE I – GENERALITES SUR LE GINGEMBRE**

|  |    |
|--|----|
| I.1 Généralités sur le gingembre.....                          | 3  |
| I.1.1. Historique sur le gingembre.....                        | 3  |
| I.1.2. Dénomination du gingembre.....                          | 4  |
| I.1.3. Description botanique du gingembre.....                 | 4  |
| I.1.3.1. Partie aérienne.....                                  | 4  |
| I.1.3.2. Partie souterraine.....                               | 6  |
| I.1.4. Classification botanique.....                           | 6  |
| I.1.5. Conditions climatiques.....                             | 7  |
| I.1.6. Répartition Mondiale de la production du gingembre..... | 7  |
| I.1.7. Production Mondiale du gingembre.....                   | 9  |
| I.1.8. Etude de la composition du gingembre.....               | 9  |
| I.1.8.1. Huile essentielle ou la partie volatile.....          | 12 |
| I.1.8.2. L'oléorésine ou la partie non volatile gingembre..... | 14 |
| I.1.8.2.1 Les composés phénoliques.....                        | 14 |
| I.1.8.2.2. Les Flavonoïdes.....                                | 15 |
| I.1.9. Les effets thérapeutiques du gingembre.....             | 16 |
| I.1.9.1. Antiémétique.....                                     | 16 |
| I.1.9.2. Antidiabétique.....                                   | 17 |
| I.1.9.3. Troubles hépatiques.....                              | 17 |
| I.1.9.4. Anti Inflammatoire.....                               | 18 |
| I.1.9.5. Maladies dues au stress oxydatif.....                 | 18 |
| I.1.9.6. Anticancéreux.....                                    | 18 |
| I.1.9.7. Maladies cardiovasculaires.....                       | 19 |
| I.1.9.8. Antimicrobien.....                                    | 19 |

---

**CHAPITRE II – GENERALITES SUR L'HUILE D'OLIVE**

|  |    |
|--|----|
| I.2. Généralités sur l'huile d'olive.....                      | 20 |
| I.2.1. Introduction.....                                       | 20 |
| I.2.2. Taxonomie et origine génétique de l'olivier.....        | 21 |
| I.2.3. Définition de l'huile d'olive.....                      | 22 |
| I.2.4. Classification des huiles d'olive.....                  | 22 |
| I.2.4.1. Huiles d'olive vierge .....                           | 22 |
| I.2.4.2. Huiles d'olive raffinées.....                         | 23 |
| I.2.5. Composition de l'huile d'olive.....                     | 24 |
| I.2.5.1. La fraction glycérique (saponifiable).....            | 24 |
| I.2.5.1.1 Les acides gras.....                                 | 24 |
| I.2.5.1.2 Les triglycérides.....                               | 25 |
| I.2.5.2. La fraction non glycérique (insaponifiable).....      | 26 |
| I.2.5.2.1 Les composés phénoliques.....                        | 27 |
| I.2.5.2.2. Les Tocophérols .....                               | 29 |
| I.2.5.2.3. Les stérols.....                                    | 30 |
| I.2.5.2.4. Les Hydrocarbures.....                              | 32 |
| I.2.5.2.5. Les phospholipides.....                             | 32 |
| I.2.5.2.6. Les pigments.....                                   | 33 |
| I.2.5.2.7. La chlorophylle.....                                | 33 |
| I.2.5.2.8. Les caroténoïdes .....                              | 33 |
| I.2.6. Les Vertus de l'huile d'olive.....                      | 34 |
| I.2.6.1. Protection contre les cancers.....                    | 34 |
| I.2.6.2. Protection contre les maladies cardiovasculaires..... | 34 |
| I.2.6.3. Protection contre l'hypertension .....                | 35 |
| I.2.6.4. Protection contre l'inflammation .....                | 36 |
| I.2.6.5. Protection contre le vieillissement .....             | 36 |
| I.2.7. Paramètres de qualité de l'huile d'olive.....           | 37 |
| I.2.7.1 Paramètres sensorielles.....                           | 37 |
| I.2.7.2. Paramètres physicochimiques.....                      | 38 |
| I.2.7.2.1. Acidité.....  | 38 |
| I.2.7.2.2. Indice de peroxyde.....                             | 39 |
| I.2.7.2.3. Absorbance dans l'UV.....                           | 39 |

|   |    |
|---|----|
| I.2.8. Oxydation de l'huile d'olive.....              | 40 |
| I.2.8.1. Facteurs d'oxydation de l'huile d'olive..... | 40 |
| I.2.8.2. Mécanisme de l'oxydation.....                | 40 |
| I.2.8.2.1. Auto oxydation.....                        | 41 |
| I.2.8.2.1.1. Initiation.....                          | 41 |
| I.2.8.2.1.2. Propagation.....                         | 42 |
| I.2.8.2.1.3. Terminaison.....                         | 42 |

## *Partie expérimentale*

### **CHAPITRE I – MATERIEL ET METHODES**

|   |    |
|---|----|
| I. Matériel et méthodes.....  | 43 |
| I.1. Etude du rhizome du gingembre.....   | 43 |
| I.1.1. Collecte et préparation du matériel végétale ( <i>Zingiber officinale</i> )..... | 43 |
| I.1.2. Détermination de l'humidité.....   | 43 |
| I.1.3. Séchage des rhizomes du gingembre.....   | 43 |
| I.1.4. Extraction des composés phénoliques.....   | 44 |
| I.1.4.1. Dosage des polyphénols totaux.....   | 44 |
| I.1.4.2. Dosage des flavonoïdes.....  | 45 |
| I.1.5. Détermination des caroténoïdes totaux.....                                       | 45 |
| I.1.6. Détermination de l'activité antioxydante (DPPH <sup>•</sup> ).....               | 46 |
| I.1.7. Détermination et identification des composés phénoliques par HPLC.....           | 46 |
| I.1.8. Détermination du $\beta$ carotène par HPLC.....                                  | 47 |
| I.1.9. Etude de la composition nutritionnelle des poudres de gingembre.....             | 48 |
| I.1.9.1. Dosage de la matière grasse.....   | 48 |
| I.1.9.2. Dosage des protéines.....  | 49 |
| I.1.9.2.1. Extraction des protéines solubles.....                                       | 49 |
| I.1.9.3. Taux d'humidité.....   | 49 |
| I.1.10. Analyse de la microstructure des différentes poudres.....                       | 50 |
| I.2. Enrichissement de l'huile d'olive.....   | 51 |
| I.2.1. Analyse de l'huile d'olive.....  | 51 |
| I.2.1.1. Détermination des paramètres de qualité de l'huile d'olive utilisée.....       | 51 |
| I.2.1.2. Détermination de l'acidité.....  | 51 |
| I.2.1.3. Détermination de l'indice de peroxyde.....                                     | 52 |
| I.2.1.4. Extraction des composés phénoliques.....                                       | 53 |

|  |    |
|--|----|
| I.2.1.4.1 Dosage des polyphénols dans les extraits méthanoliques ..... | 53 |
| I.2.1.5. Détermination de l'activité antiradicalaire.....              | 53 |
| I.2.2. Incorporation du gingembre dans l'huile d'olive.....            | 53 |
| I.2.2.1. Etude préliminaire.....                                       | 53 |
| I.2.2.2. Procédure de macération.....                                  | 54 |
| I.2.2.3. Analyse de l'huile d'olive après enrichissement.....          | 54 |
| I.3. Analyse statistique.....  | 55 |

## **CHAPITRE II – RESULTATS ET DISCUSSION**

|   |           |
|---|-----------|
| II. Résultats et discussion.....  | 56        |
| II.1. Teneur en humidité et cinétique de séchage conventionnel du gingembre.....                    | 56        |
| II.2. Dosage des polyphénols et des flavonoïdes.....  | 59        |
| II.2.1. Les polyphénols .....   | 59        |
| II.2.2. Les flavonoïdes .....   | 60        |
| II.3. Caractérisation des composés phénoliques par HPLC.....  | 61        |
| II.4. Les teneurs en caroténoïdes .....   | 64        |
| II.4.1. Les caroténoïdes totaux.....  | 64        |
| II.4.2 Identification et détermination du $\beta$ carotène par HPLC.....                            | 65        |
| II.5. Activité antioxydante des extraits éthanoliques au radical (DPPH°).....                       | 66        |
| II.6. Etude analytique de la qualité du gingembre.....  | 68        |
| II.6.1. Teneurs en humidité.....  | 68        |
| II.6.2. Teneur en matières grasses.....   | 69        |
| II.6.3. Détermination des protéines totales.....  | 69        |
| II.7. Etude morphologique des différentes poudres de gingembre sous microscope<br>électronique..... | 70        |
| II.8. Enrichissement de l'huile d'olive.....  | 72        |
| II.8.1. Paramètres de qualité de l'huile d'olive.....   | 72        |
| II.8.1.1. Etude préliminaire.....   | 72        |
| II.8.1.1. Dosage des composés phénoliques .....   | 72        |
| II.8.1.2. Activité Antioxydante des huiles d'olives enrichies.....                                  | 74        |
| II.8.2. Paramètres de qualité de l'huile enrichie.....  | 75        |
| II.8.2.1. Acidité et indice de peroxyde.....  | 75        |
| <b>Conclusion.....</b>  | <b>77</b> |
| <b>Références bibliographiques.....</b>   | <b>80</b> |

# *Introduction*

## **Introduction**

Le gingembre (*Zingiber officinale Roscoe*), cette plante miraculeuse aux multiples propriétés est très utilisée dans la cuisine indo-asiatique pour ses qualités tant gustatives que facilitatrices de la digestion. Connus depuis des siècles, il est aussi considéré comme un important ingrédient dans la phytothérapie ayurvédique et chinoise pour le traitement de diverses maladies (Nile et Park, 2015). Ses vertus thérapeutiques très connues dans la médecine traditionnelle depuis longtemps lui ont conféré une place distincte et une large utilisation dans de nombreux pays tels que la Chine, la Corée et l'Australie (Gigon, 2012 ; Si et al., 2018). Il est également utilisé comme épice dans les aliments et les boissons en raison de ses caractéristiques odorantes et de sa saveur piquante (Srinivasan, 2017).

Les multiples pouvoirs du gingembre et ses propriétés bénéfiques pour la santé peuvent être liés à sa composition qui constitue une excellente source de plusieurs composés phénoliques bioactifs, y compris les composés piquants non volatils tels que les gingérols, les paradols, les shogaols et les zingérones (Huang et al., 2012 ; Srinivasan, 2017; Ghafoor et al., 2020) d'où les nombreuses études scientifiques réalisées et continuent toujours afin de dévoiler au maximum les vertus de cette plante.

Le gingembre, cette plante millénaire exceptionnelle peut être utilisée à l'état frais ou en poudre après séchage. La déshydratation du gingembre est la procédure de traitement la plus utilisée pour inhiber la croissance microbienne et retarder les réactions biochimiques détériorantes (An et al., 2015). Toutefois le processus de séchage peut causer des dommages thermiques et des modifications importantes dans les propriétés physiques, chimiques et organoleptiques des plantes aromatiques. Les technologies de séchage ont déployé d'importants efforts de recherche et de développement en raison de la demande croissante pour une meilleure qualité des produits et des coûts d'exploitation inférieurs, ainsi que pour préserver l'environnement (Mujumdar et al., 2010). Le gingembre en poudre occupe une

place importante surtout dans les pays non productifs comme l'Algérie ou il est utilisé comme remède ou encore pour apporter plus de saveurs aux différents plats.

L'huile d'olive est un produit largement consommé pour ses effets bénéfiques sur la santé et cela grâce à sa composition en acides gras et sa richesse en antioxydants naturels, particulièrement en composés phénoliques. Ces derniers ne cessent de prendre une importance croissante à cause de leurs vertus sur la santé. Aussi, ils présentent une excellente source d'antioxydants, responsables de la stabilité à l'oxydation des huiles d'olive vierges. Toutefois leur présence dans l'huile d'olive reste faible (Rubió et al., 2012). Ces dernières années, plusieurs procédés d'enrichissement ont été mis en place, entre autres l'enrichissement exogène par l'incorporation de matières végétales afin d'améliorer la capacité oxydante et le profil nutritionnel de l'huile d'olive.

L'objectif de ce projet de thèse est la valorisation des propriétés des métabolites secondaires du gingembre (*Zingiber officinale*) et l'étude de l'effet de la température du séchage sur leur composition dans les poudres obtenues de manière conventionnelle à l'étuve à différentes températures ainsi que l'influence des poudres de gingembre obtenues sur les paramètres de l'huile d'olive enrichie. Cette étude a été réalisée en trois étapes :

1. Séchage conventionnel à l'étuve des rhizomes de gingembre à différentes températures 40°C, 60°C, 80°C et 100°C.
2. Extraction éthanolique des composés phénoliques à partir des poudres obtenues,
  - Étude de leur composition, de leur activité antioxydante, caractérisation de leur profil phénolique par HPLC, étude de la composition analytique (nutritionnelle) des poudres. Enfin observation et étude de la microstructure des particules des différentes poudres de gingembres obtenues sous microscope électronique.
3. Enrichissement de l'huile d'olive extra vierge avec les poudres de gingembre
  - Étude et détermination des indices de qualité de l'huile utilisée ;
  - Evaluation de l'activité antioxydante de l'huile d'olive enrichie.

# *Chapitre I*

*Généralités sur le gingembre*



## I.1. Généralités sur le gingembre

### I.1.1. Historique sur le gingembre

La contrée d'origine du gingembre est inconnue ; son histoire remonte à plus de 5000 ans lorsque les Indiens et les anciens Chinois le cultivaient comme racine tonique pour tous les maux (Santos-Braga, 2019). Certains la situent aux Indes, d'autres croient qu'elle est originaire des îles du Pacifique (Liu et al., 2019) alors que certains l'attribue à la Chine du moment qu'elle est mentionnée par le grand philosophe chinois, *Confucius* dans ses "*Analectes*", 500 ans BC par sa célèbre citation "Le gingembre éclaire l'intelligence et dissipe toutes les impuretés" (Confucius, 2016) ou encore attribué à l'Égypte antique, où l'on cultivait et l'utilisait dans leur cuisine pour empêcher les épidémies et aussi dans le procédé de momification chez les pharaons (Chouleur et al, 2009).

Le gingembre fut très utilisé par les pays du Moyen Orient, il est d'ailleurs mentionné dans le Coran. C'est une des premières épices orientales à avoir rallié le bassin méditerranéen grâce aux Phéniciens. Il a également été mentionné que le gingembre était l'une des premières espèces orientales connues en Europe au IX<sup>e</sup> siècle. Il a été introduit dans le nord de l'Europe par les Romains qui l'ont obtenu des commerçants arabes (Shahrajabian et al., 2019).

L'introduction du gingembre en Afrique a lieu au XIII<sup>e</sup> siècle, grâce au commerce entre les Arabes avec l'Afrique de l'Est. Sa culture s'étendra ensuite rapidement jusqu'en Afrique occidentale grâce aux colons Portugais au XVI<sup>e</sup> siècle (Kochhar, 1981 ; Shahrajabian et al., 2019).

Concernant son introduction au continent Américain, c'était grâce à Francesco de Mendoca, le fils du vice-roi du Mexique, qui fut le premier à l'introduire et cela, peu de temps après la découverte du Nouveau Monde. Le gingembre connaît alors un bel essor et son prix devient plus abordable dans le monde grâce à sa culture et à sa forte production à sa culture et à sa forte production outre l'atlantique (Butin, 2017).

### I.1.2. Dénomination du Gingembre

*Zingiber officinale*, est connu sous différentes dénominations, en arabe on l'appelait le zanjabil d'où découlerait plus tard son nom grec ziggiberis, alors qu'en français il est connu sous le nom de gingembre qui provient du mot sanskrit shringavera et qui signifie « en forme de bois de cerf », en allusion à la forme des jeunes pousses sortant de son rhizome. Le terme latin zingiber apparaît plus tard, grâce au botaniste anglais William Roscoe qui a donné à la plante le nom de « *Zingiber officinale Roscoe* » en 1807 (Kaufman, 2016 ; Gernot, 2016).

### I.1.3. Description botanique du gingembre

Le gingembre est l'une des épices les plus connues à travers le monde, elle est universellement utilisée à travers l'histoire pour ses vertus thérapeutiques (Adhikari et al., 2007) ; il existe depuis plus de vingt-cinq siècles dans la formulation d'un grand nombre de remèdes orientaux. Le gingembre est cultivé dans presque tous les pays tropicaux et subtropicaux (Chine, Inde, Nigeria, Indonésie, Philippines) (Bruneton, 2005 ; Sharifi-Rad et al., 2017).



**Figure 1:** Plante de *Zingiber officinale* (Gigon, 2012)

Le gingembre est une plante tropicale, herbacée et aromatique, parfois de taille imposante, en moyenne se dressant sur une tige de 1,50 m mais pouvant atteindre 3 m de haut (Gigon, 2012 ; Wang, 2020). La plante est divisée en deux parties :

#### I.1.3.1. Partie aérienne

Cette partie est composée de feuilles, de tige et de fleurs.

#### **I.1.3.1.1. La tige**

La tige est en moyenne de 1,50 mètre de hauteur et peut atteindre 3 mètres (Braga et al., 2006 ; Gigon, 2012 ; Wang, 2020). Elle se forme annuellement à la suite du bourgeonnement du rhizome. On distingue deux sortes de tiges :

- Les hautes tiges sont stériles et servent à l'assimilation (capter la chlorophylle) et portent des feuilles alternes, longues et étroites.
- Les basses tiges sont d'environ 20 cm de long portent les fleurs et servent à la reproduction et ne présentent pas de feuilles (Faivre et al., 2006 ; Braga et al., 2006).

#### **I.1.3. 1.2. Les fleurs**

Les fleurs sont parfumées de couleur blanche et jaune, avec des traînées rouges sur les lèvres. La floraison a lieu entre les mois d'août et novembre. Après la floraison, un court épi axillaire renfermant les graines noires enfermées dans des capsules trivalves apparaît au bout d'une tige couverte d'écailles (Faivre et al., 2006 ; Wang, 2020).

#### **I.1.3 .1.3. Les feuilles**

Les feuilles de *Zingiber officinale* sont longues d'environ 20 cm, engainantes, lancéolées, persistantes et odorantes (Wikipidia, 2021). Comme toutes les *Zingiberaceae*, elles sont lancéolées et alternes. Le limbe des feuilles est dit penninervé, c'est à dire que les nervures secondaires partent de la nervure centrale de façon oblique, comme les barbes d'une plume (Faivre et al., 2006 ; Wang et al., 2020).



**Figure 2 :** Photographie d'une tige florale de gingembre

### I.1.3.2. Partie souterraine

La partie souterraine est la partie utilisée de la plante, elle est appelée le rhizome. Ce dernier est tubéreux, charnu et ramifié. Il se divise dans un seul plan et il est constitué de tubercules globuleux et ramifiés. Il mesure en moyenne 10 cm de longueur, jusqu'à 2 cm de largeur et 1,5 cm d'épaisseur. La peau du rhizome est de couleur beige pâle et sa chair est jaune pâle juteuse chez les jeunes rhizomes. En vieillissant il se couvre d'épaisses écailles et devient plus fibreux. L'odeur du gingembre est aromatique avec une saveur chaude et piquante (Gigon, 2012). Les rhizomes sont récoltés après 9 à 10 mois de culture après dessèchement des parties vertes, le goût devient plus prononcé ce qui annonce leur maturité (Faivre et al., 2006 ; Sharifi-Rad, 2017).



**Figure 3:** Rhizome de *Zingiber officinale* (Oreka, 2016)

### I.1.4. Classification botanique :

Le gingembre appartient au Zingiberaceae, dans l'ordre des Zingibérales, c'est une famille de plantes à fleurs monocotylédones, composée d'environ 1600 espèces d'herbacées vivaces aromatiques à rhizomes horizontaux ou tubéreux rampants (Botineau, 2010 ; Xu et al., 2017).

*Zingiber officinale* est l'espèce la plus connue dans la famille des *Zingiberaceae*, toutefois il existe d'autres espèces qui ont montré d'intéressantes propriétés, tel que le *Curcuma longa* connu sous le nom de curcuma (très utilisés comme épice). Une autre espèce connue dans la

famille des zingibéracées est connue sous le nom de gingembre rouge (lavande rouge). Il s'agit de l'espèce *Alpinia purpurata* appartenant au genre *Alpinia* et non au genre *Zingiber* ; elle est utilisée comme plante ornementale (Alpinia, 2016 ; Meutia et al., 2018).

Le gingembre (*Zingiber officinale*) est classé comme suit :

- ⇒ Règne : Végétal
- ⇒ Embranchement : Spermatophyte
- ⇒ Sous-embranchement : Angiospermes (Magnoliophyta)
- ⇒ Classe : Monocotylédones (Liliopsida)
- ⇒ Sous-classe : *Zingiberidae*
- ⇒ Ordre : *Zingiberales*
- ⇒ Famille : *Zingiberaceae*
- ⇒ Genre : *Zingiber*
- ⇒ Espèce : *Zingiber officinale* Roscoe.

#### **I.1.5. Conditions climatiques**

Inconnue à l'état sauvage, le gingembre (*Zingiber officinale*) est une plante tropicale qui ne peut se développer seule dans la nature. C'est une plante héliophile qui exige un bon ensoleillement et sa culture requiert un climat tropical, c'est à dire des températures élevées (moyenne ou supérieure à 21°C) et une humidité élevée. Sa croissance nécessite également une irrigation abondante et régulière (environ 2000 mm). C'est une plante qui se développe très bien sur des altitudes allant jusqu'à 1500 m ; elle est cultivée sur des sols légers et fertiles, argilo-sablonneux et bien drainés (Euring, 2016).

#### **I.1.6. Répartition mondiale de la production de gingembre**

La culture du gingembre se concentre essentiellement dans les pays de l'hémisphère sud comme toutes les *Zingiberaceae*. Malgré qu'elle soit implantée sur tous les continents, la culture du gingembre s'est intensifiée dans certains pays tels que la Chine et l'Inde qui sont d'ailleurs les principaux exportateurs du gingembre (environ la moitié de la production mondiale). Les autres pays d'Asie du Sud Est (Bangladesh, Indonésie, Thaïlande, Japon...) ont également leur

propre production (Bruneton, 2009). Tandis que la plupart du gingembre originaire d'Afrique est produit au Nigeria, le Cameroun, et l'Ethiopie alors que la production du continent Américain se concentre sur la République Dominicaine et la Jamaïque (Botineau, 2010).



**Figure 4 :** Distribution géographique du gingembre (FAO, 2019).

La qualité et la saveur du gingembre dépendent de son origine, plusieurs types sont distingués :

- Le gingembre de Chine qui est caractérisé par un goût plus léger que les autres et il est principalement commercialisé sous forme confite ;
- Le gingembre provenant de l'Inde est doté d'un goût piquant et citronné. Il est divisé en sous catégories en fonction de la région ;
- Le gingembre Africain est caractérisé par un goût corsé. Son huile essentielle est destinée aux filières cosmétique et alimentaire ;
- Le gingembre de Jamaïque considéré de bonne qualité, se distingue par un arôme délicat et son utilisation est essentiellement culinaire.
- Enfin, le gingembre du Brésil, utilisé sous forme fraîche, et le gingembre provenant d'Australie, très utilisé dans la fabrication de confiseries (Pinson, 2012).

### I.1.7. Production mondiale du gingembre

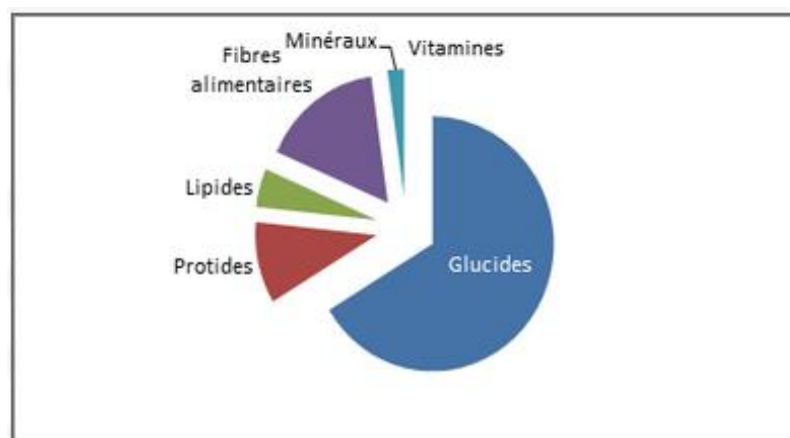
La production mondiale du gingembre est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau I :** Production mondiale du gingembre (FAO 2020)

| Pays           | Production (tonnes, année 2020) |
|----------------|---------------------------------|
| Inde           | 893,242                         |
| Chine          | 510,035                         |
| Nigeria        | 369,019                         |
| Népal          | 284,000                         |
| Indonésie      | 207,412                         |
| Thaïlande      | 167,952                         |
| Reste du monde | 2,785,574                       |

### I.1.8. Etude de la composition du gingembre

La composition chimique du gingembre est complexe, les principaux constituants des rhizomes sont les glucides ou l'amidon qui est le constituant majeur (50-70%) (Grzanna, 2005 ; Srinivasan, 2017), l'oléorésine riche en lipides (3-8%) et en composés phénoliques et une fraction d'huile essentielle allant de 10 à 40 mL/kg contenant de nombreuses molécules odorantes (terpènes) (Srinivasan, 2017 ; Mahboubi, 2019).



**Figure 5:** Composition en macronutriments du gingembre (Aprifel, 2016)

Les composants terpéniques du gingembre comprennent sont le zingiberène, le  $\beta$ -bisabolène, le  $\alpha$ -farnésène, le  $\beta$ -sesquiphellandrène et le  $\alpha$ -curcumène, tandis que les composés phénoliques comprennent les gingérols, les paradols et le shogaol. Ces gingérols (23-25%) et shogaol (18-25%) sont des composés majoritaires se trouvent en plus grande quantité que les autres. On trouve aussi, Des acides aminés, des fibres brutes, des cendres, des protéines et des phytostérols sont aussi présents dans le gingembre (Prasad et al., 2015 ; Mahboubi, 2019).

*Zingiber officinale* contient aussi une quantité importante de minéraux comme le fer, le calcium, le magnésium, le manganèse, le sodium et du phosphore. Concernant sa composition en vitamines, le gingembre contient celles de la famille B et C, l'acide nicotinique et la vitamine A (Prasad et al., 2015).

**Tableau II :** Composition du gingembre (Aprifel, 2016)

| Nutriment                         | Quantité par 100 g | % de l'apport journaliers recommandés |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| <b>Energie</b>                    | 332 Kcal           | 17%                                   |
| <b>Eau</b>                        | 9,94 g             | -                                     |
| <b>Protéines</b>                  | 8,98 g             | 18%                                   |
| <b>Lipides</b>                    | 4,24 g             | 6%                                    |
| <b>Les acides gras</b>            |                    |                                       |
| <b>Acide gras saturés</b>         | 2,6 g              | -                                     |
| <b>Oméga 3</b>                    | 0,223 g            | 6%                                    |
| <b>Oméga 9</b>                    | 0,357 g            | -                                     |
| <b>Glucides</b>                   | 57,5 g             | 21%                                   |
| <b>Sucre</b>                      | 3,34 g             | 4%                                    |
| <b>Fibres</b>                     | 14,1 g             | 56%                                   |
| <b>Minéraux et oligo-éléments</b> |                    |                                       |
| <b>Calcium</b>                    | 114 mg             | 14%                                   |
| <b>Cuivre</b>                     | 0,48 mg            | 48%                                   |
| <b>Fer</b>                        | 19,8 mg            | 141%                                  |
| <b>Magnésium</b>                  | 214 mg             | 57%                                   |
| <b>Manganèse</b>                  | 33,3 mg            | -                                     |



Suite Tableau II

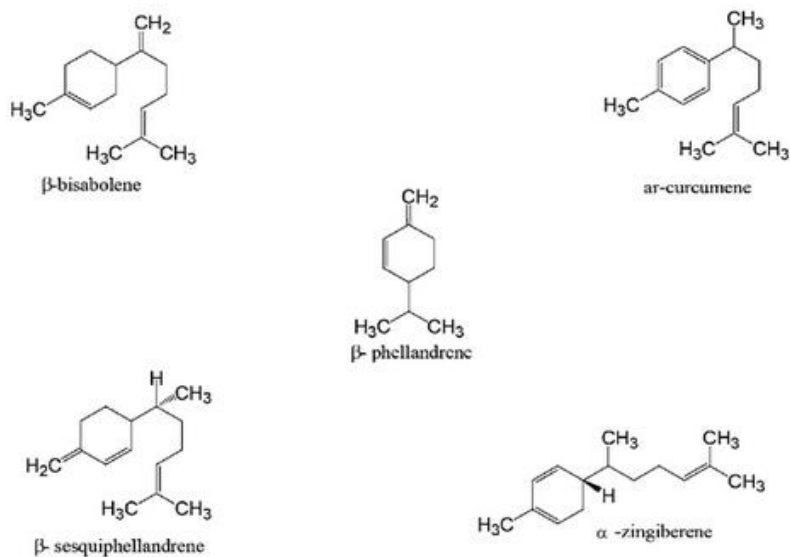
|                                 |                   |      |
|---------------------------------|-------------------|------|
| <b>Phosphore</b>                | 168 mg            | 24%  |
| <b>Potassium</b>                | 1320 mg           | 66%  |
| <b>Sélénium</b>                 | 0,70 mg           | 1%   |
| <b>Sodium</b>                   | 27 mg             | 1%   |
| <b>Zinc</b>                     | 3,64 mg           | 36%  |
| <b>Vitamines</b>                |                   |      |
| <b>Vitamine A</b>               | 18 µg             | 2%   |
| <b>Vitamine B1</b>              | 0,477 mg          | 4%   |
| <b>Vitamine B2</b>              | 0,046 mg          | 12%  |
| <b>Vitamine B3</b>              | 0,017 mg          | 60%  |
| <b>Vitamine B5</b>              | 9,62 mg           | 8%   |
| <b>Vitamine B6</b>              | 0,626 mg          | 45%  |
| <b>Vitamine B9</b>              | 34 µg             | 17%  |
| <b>Vitamine C</b>               | 5 mg              | 7%   |
| <b>Vitamine E</b>               | 0,26 mg           | 2%   |
| <b>Métabolites secondaires</b>  |                   |      |
| <b>[6] - Gingerol</b>           | 21,15 mg          | -    |
| <b>Lignanes</b>                 | 0,2 mg            | -    |
| <b>Polyphénols totaux</b>       | 0,2 mg            | -    |
| <b>Protéines</b>                |                   |      |
| <b>Acides aminés essentiels</b> | Mg /g de protéine | %    |
| <b>Histidine</b>                | 16                | 92%  |
| <b>Isoleucine</b>               | 28                | 100% |
| <b>Leucine</b>                  | 41                | 74%  |
| <b>Lysine</b>                   | 31                | 61%  |
| <b>Méthionine + Cystine</b>     | 12                | 46%  |
| <b>Phénylalanine + Tyrosine</b> | 36                | 76%  |
| <b>Thréonine</b>                | 20                | 73%  |
| <b>Tryptophane</b>              | 7                 | 94%  |
| <b>Valine</b>                   | 40                | 100% |

### **I.1.8.1. Huile essentielle ou la partie volatile**

L'huile de gingembre est caractérisée par son odeur épicée, fraîche et légèrement citronnée, par sa couleur jaune à pale brun et par son apparence claire, limpide, fluide qui devient plus visqueuse quand elle vieillit. Elle est d'une saveur aigre, chaude et brûlante. Le rendement en huile essentielle reste faible : entre 0,25% et 5% (Escop, 2009). Elle contient de nombreux composés volatiles odorants. La teneur et les constituants varient en fonction de l'origine et l'état de la plante, s'il est frais ou séché et selon les méthodes d'extraction utilisées.

Les composés chimiques présent dans l'huile essentielle sont : les hydrocarbures sesquiterpéniques, les hydrocarbures monoterpéniques et les monoterpènes oxygénés.

- **Les hydrocarbures sesquiterpéniques** : Représentent 30 à 70% de la fraction hydrocarbonée de l'huile essentielle totale. Les différents composés sont :
  - Le (-) - $\alpha$ -zingibérène majoritaire (35% à 70%) ;
  - Le (+) -ar-curcumène (5 à 35%) dont le pourcentage augmente pendant le stockage, c'est un indice vital qui indique l'âge de l'huile essentielle ;
  - Le (-) - $\beta$ -sesquiphellandrène (15 à 20%) ;
  - L' $\alpha$ -sesquiphellandrène (12,91%) ;
  - Le (E, E)- $\alpha$  -farnésène;
  - Le  $\beta$ -bisabolène (10-15% de traces) ;
  - Les germacrènes à l'état de traces ;
  - (-) - le zingibérène (jusqu'à 70%), (+) ;
  - - $\beta$ -sesquiphellandrène, bisabolène et farnésène d'ar-curcumène. Les monoterpènes sont présents sous la forme de traces ( $\beta$ -phellandrène, cinéole, citral).



**Figure 6** : Structure chimique de quelques composants de l'huile essentielle du gingembre  
(Al-Dhahli et al., 2020)

- **Des alcools sesquiterpéniques**

- Le nerolidol

- **Des aldéhydes**

- Des citrals comme le néral (encore appelé citral b jusque 10%) ;
- Le géraniol (appelé citral a) jusque 15%.

Les citrals jouent un rôle important dans l'odeur du gingembre en lui conférant la note citronnée.

- **Des éthers**

- 1,8 cinéol, c'est un monoterpène oxygéné (Parthasarathy et al., 2008).

- **Des monoterpènes**

- Le camphène (jusque 15%) ;
- Le pinène (3%), le limonène (3,1%).

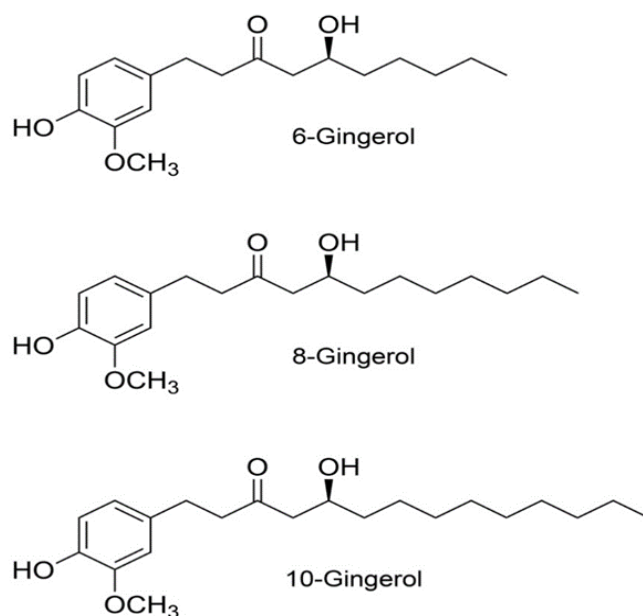
- Des alcools monoterpéniques dont une partie se trouve sous forme d'hétérosides dans le rhizome frais : géraniol (5%), citronellol (2%)

### I.1.8.2. L'oléorésine (La partie non volatile)

#### I.1.8.2.1. Les composés phénoliques

##### ➤ Les gingerols

25 à 30% de l'oléorésine du rhizome sont représentés essentiellement par les gingerols ou les 1-(3'-méthoxy-4'-hydroxy-phényl) -5-hydroxy-alcan-3-ones, leur chaîne carbonée latérale est de longueur variable allant de 7 à 16 atomes de carbone. Ce sont des dérivés d'extension du phénylpropane. Il s'agit du (6) -gingérol, du (3) -gingérol, (5) -gingérol, (8) -gingérol et le (10) -gingérol (Bruneton, 2009). A ces gingerols correspondent des cétones, des esters, des gingediols qui sont le 3-désoxy-3,5-dihydroxygingérols.

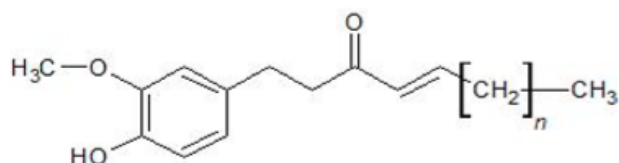


**Figure 7:** Structure chimique du 6, 8,10 gingerol (Chan et al., 2011)

Les gingerols sont thermiquement labiles et subissent facilement des réactions de déshydratation au niveau du hydroxy cétone pour former les shogaols correspondants (Semwal et al., 2015).

##### ➤ Les shogaols

Les shogaols, ou 5-désoxy-4,5 déhydrogingérols sont formés après la dessiccation des rhizomes et confèrent au gingembre séché le goût piquant caractéristique (Bruneton, 2009).

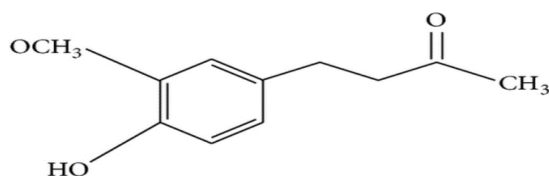


**Figure 8 :** Structure chimique du shogaol (Park et al., 2013)

En tant que produits déshydratés des gingérols, les shogaols existent dans le gingembre frais à de très faibles quantités mais sont présents en plus grandes quantités dans le gingembre séché (en poudre). Les shogaols présents dans le gingembre sont ensuite en partie transformés par hydrogénation en paradols lors de la cuisson ; ou encore dans le corps une fois consommés, les shogaols sont métabolisés en paradols (Chen et al., 2012 ; You et al., 2019).

#### ➤ La zingerone

La zingerone ou l'acétone de vanillyle (4-hydroxy-3-méthoxy-phényl-éthyl-méthyl cétone) est présente en quantité importante d'environ 9,25% dans le gingembre (Arthur, 1996 ; Bilal et al., 2015). C'est un autre composé phénolique qui contribue à la saveur piquante, chaude et poivrée du gingembre. Elle est présente dans le gingembre sec et aussi issue de la transformation du gingerol lors de la cuisson ou du séchage du gingembre. Ils ont un cycle phénolique basique avec un groupe méthoxy attaché au cycle benzénique (Bilal et al., 2015).



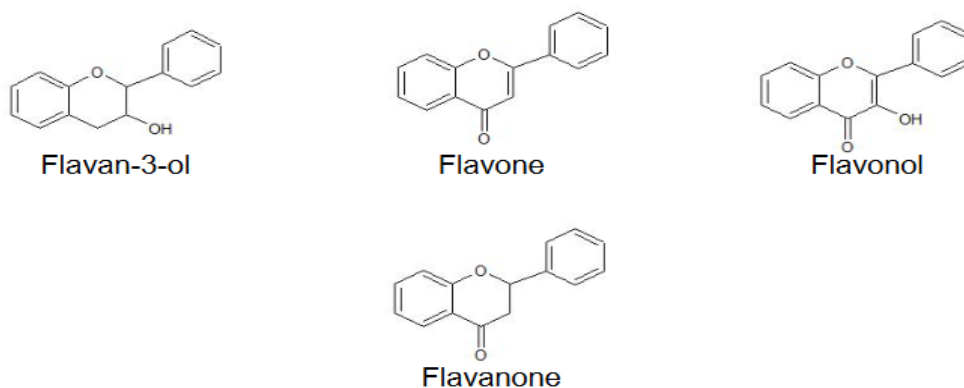
**Figure 9 :** Structure chimique de la Zingerone (Bilal et al., 2015)

#### I.1.8.2.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont une grande famille de composés polyphénoliques synthétisés par les plantes (Ghasemzadeh et al., 2011 ; Panch et al., 2016). Ce sont des métabolites secondaires solubles dans l'eau, dérivés de la condensation de trois résidus malonyl-CoA avec une molécule

d'acide cinnamique. La structure de base comporte deux cycles aromatiques à 6 carbones joints par un hétérocycle à oxygène. Les flavonoïdes sont distingués selon le degré d'hydroxylation, de méthylation ou de glycosylation de chacun des trois cycles des molécules de base.

Le gingembre contient essentiellement : la quercétine, la rutine, la fisétine, la morine, l'acide gallique, l'acide férulique et l'acide vanillique (Ghasemzadeh et al., 2010 ; Panch et al., 2016).



**Figure 10** : Structure chimique de quelques flavonoïdes (Crozier et al., 2009)

### I.1.9. Les effets thérapeutiques du gingembre

Le gingembre occupe une place importante comme remède traditionnel typique pour soulager les différents problèmes de santé courant. D'ailleurs il est connu dans la pharmacopée ayurvédique ou la médecine traditionnelle indienne depuis 1982 par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Il a démontré son pouvoir à rééquilibrer les différentes affections liées à une congestion ou à un refroidissement (rhumes, toux...), ainsi qu'à celles liées aux problèmes digestifs à savoir les nausées, vomissements et les douleurs abdominales (Lete et al., 2016). Aujourd'hui, *Zingiber officinale*, occupe une place importante dans l'industrie pharmaceutique et entre cependant dans la composition d'une multitude de compléments alimentaires et d'indications diverses vu sa richesse en nutriments important, essentiel au corps humain.

#### I.1.9.1. Antiémétique

Reconnu comme agent préventif des nausées et vomissement par l'OMS depuis 1999, le gingembre est doté d'une action antiémétique, il est indiqué principalement dans le traitement

des nausées, quelle qu'en soit l'étiologie (Lete et al., 2016). Cette propriété est due à la présence des gingérols et des shogaols qui agissent directement sur le tube digestif et suppriment les contractions gastriques et stimulation de la motilité gastro-intestinale et du péristaltisme. Il est aussi utilisé dans le traitement des nausées et les vomissements induits par la grossesse ainsi que celle liées à la chimiothérapie anticancéreuse (Ozgoli et al., 2009 ; Rayan et al., 2012).

#### **I.1.9.2. Antidiabétique**

L'effet antidiabétique du gingembre a été prouvé expérimentalement dans plusieurs études et qui ont révélé son effet potentiel en stimulant la sécrétion des taux d'insuline élevés et diminution des taux de glucose (Akhani et al., 2004 ; Rani et al., 2012). Une étude sur l'effet du gingembre sur l'état de la glycémie, le profil lipidique, et les marqueurs inflammatoires chez les patients atteints de diabète de type 2, a démontré que le gingembre réduisait la glycémie à jeun et augmentait la sensibilité à l'insuline (Bhandari et al., 2005 ; Arablou et al., 2014). Ils ont démontré que l'extrait éthanolique de *Zingiber officinale* administré par voie orale pendant 20 jours a produit un effet anti-hyperglycémiant significatif chez les rats diabétiques. De plus, le gingembre a démontré un effet protectif contre les effets secondaires du diabète sur les reins (Imani et al., 2015), les yeux (Saraswat et al., 2011 ; Li et al., 2012) et le système nerveux (Shanmugam et al., 2012).

#### **I.1.9.3. Troubles hépatiques :**

Des études ont démontré les propriétés anti-inflammatoires du gingembre en particulier de la zingérone qui agit directement sur le lipopolysaccharide qui induit une inflammation hépatique chez les souris. Ainsi, la zingérone agit en tant qu'agent hépato-protecteur en raison de sa capacité à provoquer la suppression de médiateurs inflammatoires comme le TNF- $\alpha$  (Kumar et al., 2014). Mani et al (2016) ont démontré le rôle protecteur de la zingérone contre l'hépatotoxicité des rats nourris à l'éthanol, ce dernier a inversé les altérations induites par

l'éthanol dans le foie en améliorant la teneur en superoxyde dismutase, catalase, glutathion peroxydase et glutathion réductase dans le tissu hépatique.

#### **I.1.9.4. Anti inflammatoire**

Plusieurs études ont démontré la propriété anti inflammatoire du gingembre et cela par inhibition des prostaglandines responsables E2 par inhibition de COX-1, COX-2 grâce à ces composés tel que le shagoal, le [6] - gingérol et le paradol (Efthimiou et Kukar, 2010 ; Rondanelli et al., 2020). Ces inflammations sont responsables de beaucoup de maladies chroniques telles que l'arthrose, les rhumatismes, les troubles respiratoires, voire certains cancers, les maladies cardiovasculaires, les œdèmes et les maladies inflammatoires de l'intestin (Grzanna et al., 2005 ; Rondanelli et al., 2020).

#### **I.1.9.5. Maladies dues au stress oxydatif**

L'oxydation est la principale cause de la pathogenèse de diverses conditions inflammatoires, y compris les cancers, l'hémorragie, et la lésion des cellules neuronales. L'une des maladies neuronales appelées la maladie de Parkinson peut être évitée grâce à la zingerone en raison de ses principales propriétés antioxydantes de dégradation des radicaux libres et des ions superoxydes (Kabuto et Yamanushi, 2011). Comme il possède aussi un effet adaptogène direct en empêchant le stress oxydatif sur les muscles lisses de l'intestin (Banji et al., 2014).

#### **I.1.9.6. Anticancéreux**

Le cancer est l'une des plus importantes causes de décès dans le monde. Le cancer gastro-intestinal est un cancer qui atteint les différents organes du système digestif, Le cancer colorectal est l'un des cancers les plus courants dans le monde (Prasad et al., 2015). Le gingembre est l'un des ingrédients naturels jouant un rôle important dans la prévention contre le cancer (Surh, 2003). Manju et Nalini (2010) ont étudié l'efficacité du gingembre contre le cancer du côlon induit par la 1,2 diméthylhydrazine (DMH), par activation de diverses enzymes



telles que la glutathion peroxydase, la glutathion-S-transférase et la glutathion réductase ce qui entraîne une diminution significative de l'incidence des tumeurs et la carcinogenèse du côlon par formation de foyers de crypte aberrants avec une modulation simultanée des niveaux de peroxydation lipidique tissulaire et du statut antioxydant (Lee et al., 2008 ; Prasad et al., 2015).

#### **I.1.9.7. Maladies cardiovasculaires**

Les maladies cardiovasculaires sont considérées comme l'une des principales causes de décès dans le monde (Du, 2016). Le cholestérol (la dyslipidémie) et l'hypertension sont connus comme étant des facteurs de risque des maladies cardiovasculaires, y compris les accidents vasculaires cérébraux et les maladies coronariennes (Khosravani et al., 2016). Une série d'études a démontré que le gingembre a une action stimulatrice sur les muscles cardiaques, peut diminuer les taux de lipides sanguins et la tension artérielle, contribuant à la protection contre les maladies cardiovasculaires (Akinyemi et al., 2016 ; De Las Heras et al., 2017).

#### **I.1.9.6. Antimicrobien**

Les différentes maladies infectieuses d'origine bactériennes, fongiques et virales ont été toujours une menace majeure sur la sante publique en raison de leur résistance aux divers traitements antimicrobiens. Plusieurs herbes et épices ont été utilisées comme antimicrobiens naturels efficaces contre de nombreux micro-organismes pathogènes (Awan et al., 2017). Des études récentes ont rapporté que le gingembre possédait des activités antibactériennes, antifongiques et antivirales (Moon et al., 2018 ; Wang et al., 2020). Ces effets pourraient être principalement liés à la suppression de la formation de biofilms bactériens responsables de leur résistance, rendre la paroi cellulaire ainsi que la membrane cytoplasmique plus perméable et induire ainsi une perte d'intégrité de la membrane chez les champignons en affectant la biosynthèse de l'ergostérol et rendre l'attachement viral aux cellules plus difficile (Garcia, 2013 ; Nerilo, 2016).

# *Chapitre II*

*Généralités sur l'huile d'olive*

## I.2. Généralités sur l'huile d'olive

### I.2 .1. Introduction

Connue depuis la nuit des temps comme étant une source végétale de matière grasse, vantée depuis l'antiquité pour ses vertus médicinales, l'huile d'olive, issue du fruit de l'olivier (*Olea europaea* L) est l'un des produits exclusivement attribués au bassin Méditerranéen. En raison de son emplacement dans le mésocarpe des cellules, l'huile d'olive vierge est obtenue simplement par utilisation de procédés physiques, moyennant des appareils purement mécaniques pour son extraction (Lucci et al., 2020). Les étapes de son obtention se résument dans : le broyage des olives, la malaxation des pâtes résultantes et enfin la séparation de la phase huileuse. Cette dernière ne nécessite pas de traitement supplémentaire avant sa consommation (Veillet et al., 2010 ; Markhali, 2021). L'absence d'étape de raffinage permet à l'huile d'olive de conserver au maximum ses qualités nutritionnelles (DiMeo et al., 2013 ; Lucci et al., 2020).

L'huile d'olive est largement consommée pour ses effets bénéfiques pour la santé. L'intérêt nutritionnel de cette huile réside dans sa composition en acides gras. En effet elle est très riche en acide gras insaturés, et contient une mineure partie d'acides gras essentiels non synthétisés par le corps humain (Šarolić et al., 2014). En plus de cette composition particulière en acides gras, l'huile d'olive est aussi riche en composés antioxydants minoritaires tels que les polyphénols (Deiana et al., 2002) qui présentent une importance réelle pour la santé publique. Les polyphénols jouent un rôle dans la prévention et dans le ralentissement du développement de certaines maladies dégénératives tels que les cancers, ainsi que les maladies cardiovasculaires (Šarolić et al., 2014). De plus les polyphénols contribuent d'une manière importante à la stabilité de l'huile d'olive vierge comparant à d'autres huiles raffinées où ces composés sont éliminés durant le processus du raffinage (Krichene et al., 2015).

## I.2 .2. Taxonomie et origine génétique de l'olivier

L'olivier est un noble arbre méditerranéen dont la culture est l'une des plus anciennes activités agricoles et fondamentales dans les pays méditerranéens. Sa culture occupe plus de 10 millions d'hectares, plus de 90 % est situé dans le bassin méditerranéen, principalement en Espagne (25%), en Tunisie (13%), en Italie (11%), au Maroc (10 %) et en Grèce (9 %) (Breton et Bervillé, 2012 ; Fraga et al., 2020).

L'olivier appartient à la famille des Oléacées, genre *Olea*. D'après certaines recherches le patrimoine génétique oléicole mondial est constitué de plus de 2600 variétés différentes (Muzzalupo et al., 2014).

Deux sous espèces très proches de la même famille sont distinguées :

- L'olivier cultivé: *Olea europaea sativa*.
- L'olivier sauvage ou oléastre : *Olea europaea sylvestris*

D'après des études, l'olivier et l'oléastre sont considérés comme très proches botaniquement, les botanistes les considèrent comme deux variétés de la même sous-espèce *europaea* de l'espèce *Olea europaea* et dont la diversité génétique nucléaire de l'oléastre est beaucoup plus large que celle de l'olivier (Breton et al., 2006).



**Figure 11:** L'olivier (*Olea europaea* L) (hortitecnews, 2018)

La classification botanique de l'olivier (*Olea europaea* L) est comme suit (Breton et al., 2009)

- ⇒ Famille : *Oleaceae*
- ⇒ Genre : *Olea*
- ⇒ Espèce : *Olea europaea*
- ⇒ Sous-espèce : *O. europaea sylvestris* (oléastre)/ *O.europaea sativa*.

### **I.2 .3. Définition de l'huile d'olive**

L'huile d'olive vierge est la matière grasse obtenue directement des olives, uniquement par des procédés mécaniques, éventuellement physiques et notamment thermiques, à condition qu'ils n'altèrent pas la qualité de l'huile (Pouyet et al., 2014 ; COI, 2015).

### **I.2.4. Classification des huiles d'olive**

La classification et la dénomination des huiles d'olives sont faites selon certains critères autres que le procédé physique utilisé pour leur extraction on distingue (COI, 2015) :

#### **I.2.4.1. Huiles d'olive vierges**

Elles sont obtenues à partir du fruit de l'olivier uniquement par des procédés mécaniques ou d'autres procédés physiques, dans des conditions qui n'entraînent pas son altération, et qui n'ont subi aucun traitement autre que le lavage, la décantation, la centrifugation et la filtration (COI, 2015). Ces huiles sont classées et dénommées comme suit :

##### **⇒ Huile d'olive vierge extra**

C'est une huile dont l'acidité libre, exprimée en acide oléique, est au maximum de 0,8 g pour 100 g et dont les autres caractéristiques sont conformes à celles prévues pour cette catégorie. (COI, 2015). Récemment l'Italie propose de réduire l'acidité de 0,8% à 0,5% pour garantir une huile de meilleure qualité et une meilleure lutte contre la fraude (COI, 2019).

##### **⇒ Huile d'olive vierge**

C'est une huile d'olive dont l'acidité libre est au maximum de 2 g pour 100 g et dont les autres caractéristiques sont conformes à celles prévues pour cette catégorie. (COI, 2015).

⇒ **Huile d'olive vierge lampante**

C'est une huile d'olive dont l'acidité libre, exprimée en acide oléique, est supérieure à 2 g pour 100 g et/ou dont les autres caractéristiques sont conformes à celles prévues pour cette catégorie (COI, 2015).

**I.2.4.2. Huiles d'olive raffinées**

Ces huiles sont obtenues par le raffinage des huiles d'olive vierges dont l'acidité libre, exprimée en acide oléique, ne dépasse pas 0,3 g pour 100 g et dont les autres caractéristiques sont conformes à celles prévues pour cette catégorie (EC, 2007).

⇒ **Huiles d'olive**

Ces huiles sont obtenues par le coupage des d'huiles d'olive raffinées et d'huiles d'olive vierges. (Pouyet et al., 2014), dont l'acidité libre, exprimée en acide oléique, ne peut être supérieure à 1g pour 100 g et dont les autres caractéristiques sont conformes à celles prévues pour cette catégorie (COI, 2015).

⇒ **Huiles de grignons d'olive**

Ces huiles sont obtenues à partir du grignon d'olive on distingue :

- **Huiles de grignons d'olive brute**

C'est une huile issue du grignon d'olive destinée au raffinage en vue de son utilisation dans l'alimentation humaine ou destinée à des usages techniques (COI, 2001).

- **Huiles de grignons d'olive raffinée**

C'est une huile obtenue à partir de l'huile de grignons d'olive brute par des techniques de raffinage n'entraînant pas de modifications de la structure glycéridique et dont l'acidité libre, exprimée en acide oléique, ne peut être supérieure à 0,3 g pour 100 g (COI, 2001 ; EC, 2007).

### **I.2.5. Composition de l'huile d'olive**

L'huile d'olive est distinguée par sa composition unique qui intervient de manière significative autant dans les caractéristiques salutaires qu'organoleptiques de l'huile (Jimenez-Lopez et al., 2020).

L'huile d'olive est principalement constituée de triacylglycérols (~ 99%) et secondairement d'acides gras libres, de mono- et diacylglycérols, et d'une range de lipides tels que des hydrocarbures, des stérols, des alcools aliphatiques, des tocophérols et des pigments (Boskou et al., 2006). Ces composés sont repartis en deux fractions principales : la fraction glycérique (saponifiable) d'environ 98-99% et la fraction non glycérique (insaponifiable) d'environ 1-2% (Ghanbari et al., 2012).

#### **I.2.5.1. La fraction glycérique (saponifiable)**

Cette partie comprend essentiellement les triglycérides (98% à 99%), les acides gras libres (1% à 2%) ainsi que des composés mineurs de nature glycéridique tels que les cires, les mono et di-glycérides et les phospholipides (Viola et Viola, 2009 ; Jimenez-Lopez et al., 2020).

##### **I.2.5.1.1. Les acides gras**

L'huile d'olive se distingue par une composition unique en acide gras. Cette composition joue un rôle important dans sa qualité nutritionnelle et dans ses propriétés organoleptiques (Faghim et al., 2018) on distingue :

⇒ **Les acides gras monoinsaturés (AGMI) :**

L'huile d'olive contient (65-83%) en acide gras monoinsaturés en particulier en acide oléique, dont la chaîne carbonée contient une seule double liaison

⇒ **Les acides gras polyinsaturés (AGPI) :**

L'huile d'olive contient également certains acides gras polyinsaturés (AGPI) comme l'acide linoléique, dont la chaîne carbonée contient plusieurs doubles liaisons. Ils sont souvent

référencés selon la position de la première double liaison par rapport au groupement méthyl terminal (Rustan et Dreven, 2005).

⇒ **Les acides gras saturés :**

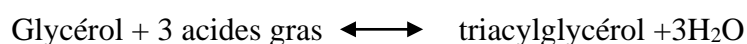
Enfin, l'huile d'olive contient une mineur partie d'acide gras saturés représenté essentiellement par l'acide palmitique et l'acide stéarique. Ce sont des acides gras dont les atomes de carbone sont reliés entre eux uniquement par de simples liaisons (dépourvue de double liaison) (Walrand et al., 2010).

En plus de sa composition unique en acide gras, l'huile d'olive contient des acides gras essentiels, indispensables à notre organisme car ces derniers ne sont pas synthétisés par le corps humain et doivent être apportés par l'alimentation. Ces acides gras sont l'acide linoléique et l'acide  $\alpha$ -linoléique (Molina-Garcia, et al.2017 ; Jimenez-Lopez et al., 2020).

En générale, les acides gras présents dans l'huile d'olive sont : l'acide oléique (63- 79.7 %), linoléique (6,6-14.8%), linoléique (0.46-0.69%) palmitique (9.4-19.5%), palmitoléique (0,6-3,2%), stéarique (1.4-3%). Les heptadécanoïques, eicosanoïques et l'acide myristique se trouvent en quantités infimes (Borges et al., 2017 ; Jimenez-Lopez, 2020).

**I.2.5.1.2. Les triglycérides**

L'huile d'olive est principalement composée de triglycérides (97-99%). Les triglycérides (TG) aussi appelés triacylglycérols, sont des glycérides dans lesquels les trois groupes hydroxyle du glycérol sont estérifiés par des acides gras.



Selon leur origine, les huiles sont différenciées selon leur composition en acides gras. Dans l'huile d'olive, les acides gras sont presque entièrement présents sous forme de triglycérides. Les triglycérides présents à des proportions importantes dans l'huile d'olive sont :



OOO : 40-59 % ; POO : 12-20 % ; OOL : 12,5-20 % ; POL : 5,5-7 % ; SOO : 3-7% (Abaza et al., 2002 ; Rouas, 2016 ; Boskou et al., 2020).

O : Acide Oléique, L: Acide Linoléique. P : Acide Palmitique, S : Acide Stéarique.

### **I.2.5.2. La fraction non glycérique (insaponifiables)**

Cette fraction constitue la partie dite "insaponifiable" de l'huile d'olive. On parle également de composés mineurs constituant près de 2% du poids de l'huile d'olive et comprennent plus de 230 composés chimiques mineurs. Ces composés sont responsables de la qualité gustative de l'huile d'olive (Dupont et Guignard, 2007 ; Kabaran, 2018).

Cette fraction est constituée :

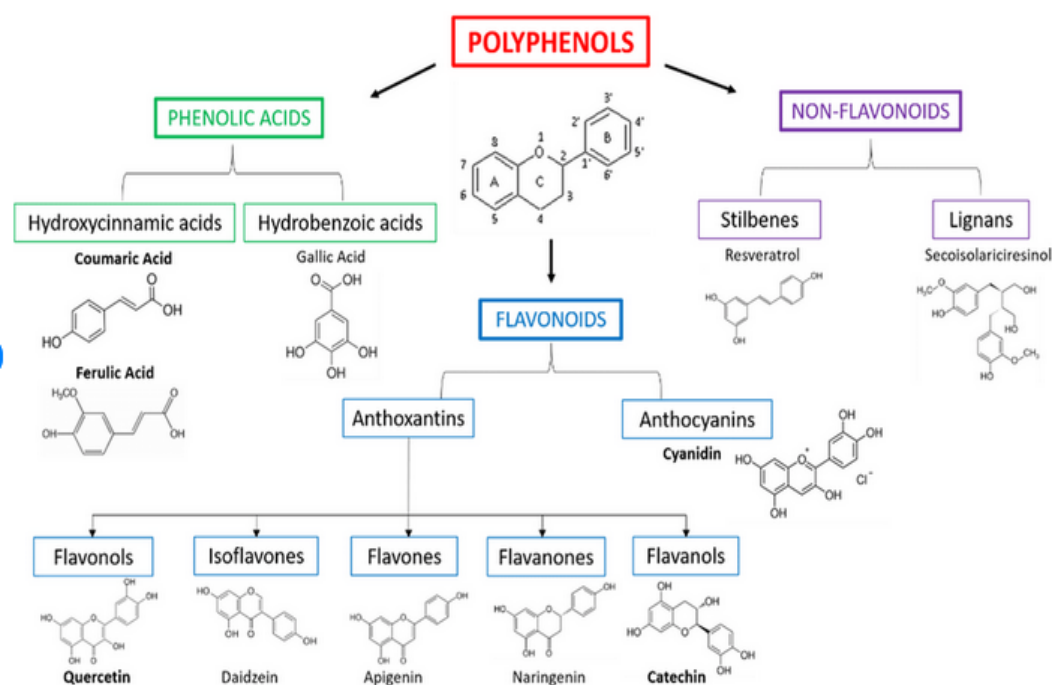
- D'hydrocarbure (30 à 50%), notamment le squalène ;
- De stérols (15%) dont le bêta-sitostérol, le campesterol, et le stigmastérol ;
- D'alcools triterpéniques qui proviennent de l'hydrolyse des glucosides du fruit ;
- De polyphénols ;
- De tocophérols (150 à 300 ppm) dont l'alpha tocophérol (la forme active de la vitamine E), d'anti-oxydants et de caroténoïdes (25 à 45%) ;
- De bêta-carotène.

Sa composition est influencée par un certain nombre de facteurs tels que : le cultivar ; le degré de maturité de l'olive ; la zone de production ; la campagne agricole et les pratiques de récolte des olives ; la durée de conservation des olives ; le processus d'extraction de l'huile d'olive et les conditions de stockage de l'huile (Foscolou et al., 2018).

Cependant, il faut mentionner que certains de ces composés tels que le squalène peuvent être éliminés lors du raffinage, ils ne peuvent donc être trouvés que dans les huiles d'olive extra vierge (Sánchez-Villegas et al., 2018)

### I.2.5.1.1. Les composés phénoliques

Les huiles d'olive vierges sont riches en composés phénoliques appartenant à diverses familles (phénols et hydroxyphénols, acides et alcools phénols, sécoïridoïdes, lignanes, flavonoïdes...). Ces composés se présentent soit à l'état simple ou à l'état complexe selon le nombre de noyaux aromatiques et les éléments structuraux qui lient ces noyaux (Clifford, 1999). Ils augmentent la stabilité de l'huile d'olive et lui confère ses propriétés antioxydantes et modulent sa saveur (Fedeli, 1977 ; Alu et al., 2017 ; Jimenez-Lopez et al., 2020).

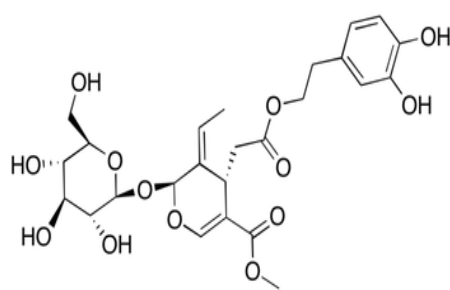


**Figure 12 :** Structure générale des polyphénol (Beconcini et al., 2020)

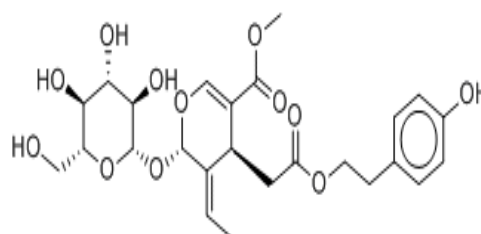
Les polyphénols jouent un rôle très important dans la caractérisation et la qualité nutritionnelle de l'huile (Visioli, 1998 ; Brenes, 2002 ; Alu et al., 2017). Les composés phénoliques contribuent fortement au goût piquant, à l'astringence et à l'amertume des huiles (Brenes, 2000 ; Sánchez de Medina et al., 2013).

L'oléuropéine (un ester d'hydroxytyrosol avec de l'acide élénolique  $\beta$ -glucosylé) et le ligstroside sont les sécoiridoïdes majoritaires présents dans l'huile d'olive. Ce sont des composés glycosylés issus du métabolisme secondaire des terpènes (Soler, 2000).

Leurs formules sont représentées dans la figure 13. Au cours de la maturation du fruit, les glucosides sont hydrolysés pour donner des aglycones. Des phénomènes d'oxydation se produisent également lors de la trituration des olives entraînant ainsi la formation de ces composés qui contribuent aux arômes et à la saveur de l'huile (responsables du goût amer et piquant des olives) (Presti et al., 2017).



Ligstroside



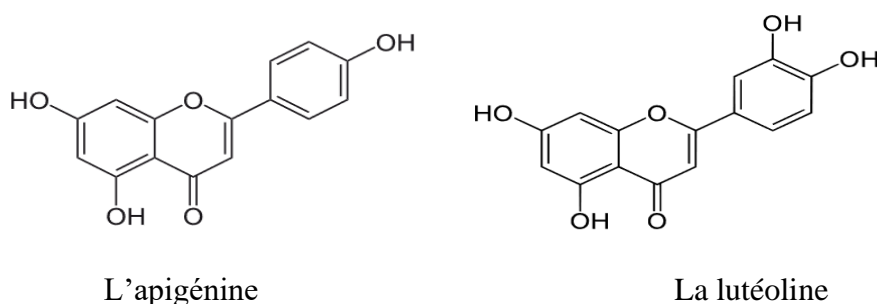
L'oleuropéine

**Figure 13 :** Structures chimiques représentatives des sécoiridoïdes majoritaires présents dans l'huile d'olive (Bonechi et al., 2019)

La quantité de polyphénols dans l'huile d'olive vierge est influencée par plusieurs facteurs (Talhaoui et al., 2016 ; Quintero-Florez et al., 2018) à savoir :

- ⇒ La variété de l'olive ;
- ⇒ Le degré de maturité des olives (la teneur baisse avec la sur-maturation des olives) ;
- ⇒ La nature du sol ;
- ⇒ Les facteurs climatiques ;
- ⇒ L'origine géographique ;
- ⇒ Le niveau d'infestation des olives ;
- ⇒ Le procédé d'extraction utilisé pour séparer la phase huileuse de la phase aqueuse ;
- ⇒ Les conditions de stockage de l'huile.

Autre composés majoritaires trouvés dans la fraction saponifiable de l'huile d'olive sont les flavonoïdes. Ces composés sont importants pour la santé humaine en raison de leur activité pharmacologique élevée en tant que piègeurs de radicaux et de leur capacité antioxydante élevée dans les systèmes *in vivo* et *in vitro*. Ils sont représentés essentiellement par l'apigénine et la lutéoline (Brenes, 2000 ; Murkovic, 2004 ; Ocakoglu, 2009 ; García-Martínez et al., 2016). Figure 14



**Figure 14 :** Structures représentatives des flavonoïdes majoritaires présents dans l'huile d'olive (Liu et al., 2019)

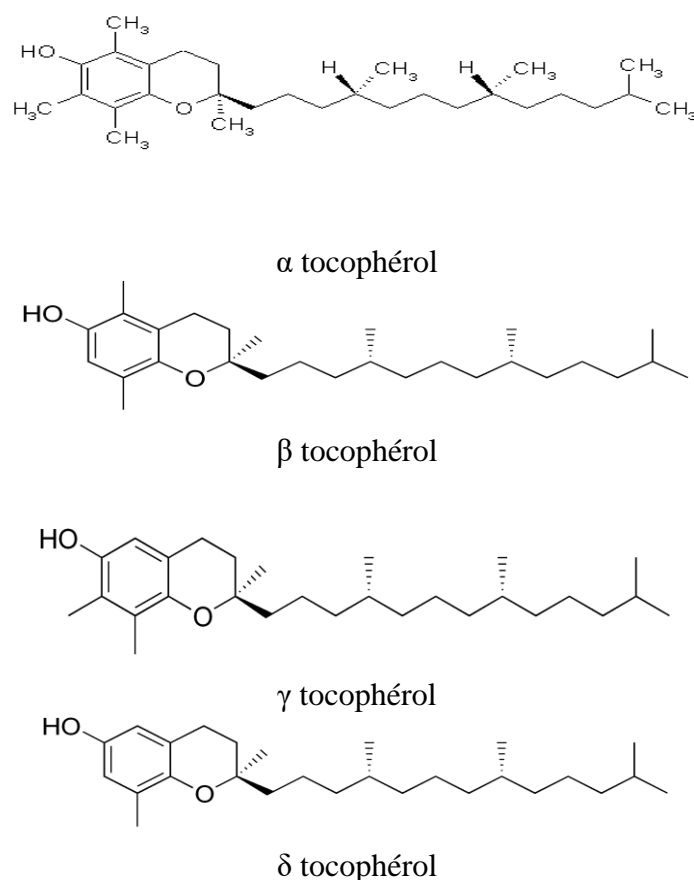
#### I.2.5.1.2. Les tocophérols

Les tocophérols sont une classe de composés naturels liposolubles dotés d'une activité antioxydante. Ils sont synthétisés uniquement dans les organismes photosynthétiques et agissent comme des composants protecteurs (Duncan et Chang, 2012).

L'huile d'olive contient une teneur totale en tocophérols très variable allant de quelques mg à 450 mg/kg d'huile (Boskou, 2006 ; Grigoriadou, 2007). Grâce à leur propriété antioxydante, les tocophérols protègent l'huile d'olive contre le rancissement quand elle est exposée à l'oxygène de l'air ambiant et aux rayons solaires.

La fraction des tocophérols de l'huile d'olive consiste en quatre homologues de tocophérols: L'alpha- $\alpha$  tocophérol (trimethylcotol) représente à lui seul 90% de la totalité des tocophérols (Rodrigues, et al., 2018), la beta  $\beta$ - tocophérol, la gamma  $\gamma$ - tocophérol (dimethylcotol) et la  $\delta$ -tocopherol, (monomethylcotol) n'est présent qu'à l'état de traces (Psomiadou, 2000 ;

Rodrigues et al., 2018). Les quatre homologues,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , et  $\delta$  tocophérol, diffèrent par le nombre et la position des groupes méthyle dans le cycle aromatique (Niki et al., 2019)



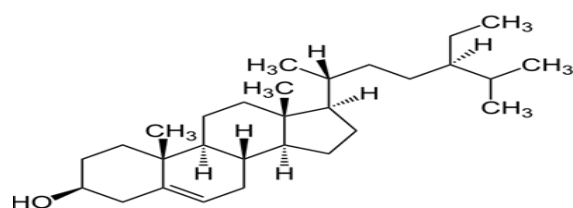
**Figure 15 :** Structures chimiques représentatives des tocophérols de l'huile d'olive  
(Smolarek et al., 2011)

Les mauvaises conditions de stockage de l'huile d'olive réduisent considérablement la teneur des tocophérols et stimulent la transformation de la forme ( $\alpha$ ) tocophérols à la forme ( $\delta$ )tocophérols. Tandis que dans le cas des huiles raffinées, cette dernière est presque absente. (Andrikopoulos et al., 1989).

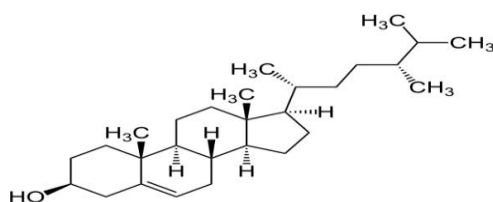
### .2.5.1.3. Les stérols

Les stérols se trouvent dans les membranes des plantes, des animaux et des microorganismes et sont appelés respectivement phytostérols, zoostérols et mycostérols (Gordon, 2003 ; Lukic et al., 2013). Dans la fraction insaponifiable de l'huile d'olive, les

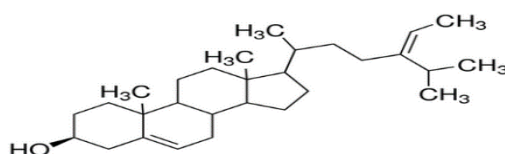
stérols représentent le constituant majeur. Ils sont présents sous forme libre ou estérifiée avec les acides gras (Philips et al., 2002 ; Mezghache et al., 2010).



$\beta$ -sitostérol



Campesterol



5-Avenastérol

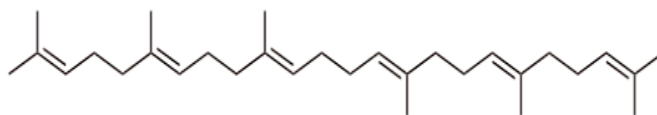
**Figure 16 :** Structures chimiques représentatives des stérols de l'huile d'olive (Segura et al., 2006)

Les stérols sont en général caractérisés par une structure cyclique complexe dérivée du squalène, consistant en une structure cyclopenta [ $\alpha$ ]-phénanthrène tétracyclique avec un groupe hydroxyle en C-3 et une chaîne latérale flexible avec 8 à 10 atomes de carbone en C-17. Les stérols peuvent être classés, selon leur origine, en stérols animaux ou stérols végétaux. La quantité totale de stérols dans l'huile d'olive varie, de 113 à 265 mg/100g (Kiritsakis, 1987 ; Gutierrez et al., 1999 ; Yorulmaz et al., 2017). Parmi les facteurs qui influent sur leur teneur dans l'huile d'olive, figurent la variété des olives et leur degré de maturité. Dans l'huile d'olive les stérols majoritaires sont : Sitostérol, 5-Avenastérol et Campesterol avec des

pourcentages respectifs d'environ 80 à 85%, 7% et 2,90 à 4% (Rivera Del Álamo et al., 2004 ; Cercaci et al., 2007 ; Yorulmaz et al., 2017).

#### **I.2.5.1.4. Les hydrocarbures**

L'huile d'olive vierge se distingue des autres huiles alimentaires par sa composition en hydrocarbures. L'hydrocarbure majoritaire dans l'huile d'olive, est le squalène, un triterpène qui apparaît dans la voie de biosynthèse du cholestérol. Le squalène est le composant le plus abondant de la fraction insaponifiable de l'huile d'olive et se présente à des concentrations comprises entre 0,2 et 16,2 g/kg (Yuan et al., 2017 ; Pacetti et al., 2019) selon les cultivars, le stade de maturation des fruits, la technique d'extraction de l'huile et les conditions de stockage (Oueslati et al., 2009 ; Ambra et al., 2017). Le squalène est caractérisé par stabilité élevée sous des conditions d'auto-oxydation et contribue ainsi à la stabilité de l'huile après exposition à la lumière (Grigoriadou et al., 2007).



**Figure 17 :** Structure du squalène (Lozano-Grande et al., 2018)

#### **I.2.5.1.5. Les phospholipides**

Les phospholipides sont des composés naturels trouvés dans tous les corps gras notamment dans l'huile d'olive. Ils sont présents en très petite quantité (5 à 15mg/100gr). Les principaux phospholipides trouvés dans l'huile d'olive sont l'acide phosphatidique, l'acide lyso-phosphatidique, la phosphatidylcholine et la phosphatidyléthanolamine (Jacotot, 1993 ; Hatzakis et al., 2008).

#### **I.2.5.1.6. Les pigments**

La teneur totale en pigment dans l'huile d'olive est un paramètre important de qualité car il est corrélé avec la couleur. Par ailleurs, ils sont impliqués dans les mécanismes d'auto-oxydation et de photo-oxydation. Les pigments de l'huile d'olive sont essentiellement la chlorophylle et les caroténoïdes (Guerfel et al., 2009 ; Montealegre et al., 2010).

#### **I.2.5.1.7. La chlorophylle**

La chlorophylle, ce pigment vert naturel confère à l'huile d'olive sa couleur verte. Sa quantité peut varier en fonction de nombreux facteurs. Sa teneur est de l'ordre de 0,1 à 1 mg pour 100 g. En présence de la lumière la chlorophylle oxyde l'huile d'olive alors qu'à l'obscurité une légère activité antioxydante a été signalé attribuer au don éventuel d'un hydrogène radical pour briser la réaction en chaîne des radicaux libres (Mousavi et al., 2021). C'est une des raisons pour lesquelles il est conseillé de conserver l'huile d'olive à l'abri de la lumière (Lazzerini et al., 2016).

#### **I.2.5.1.8. Les caroténoïdes**

Ces pigments végétaux naturels, sont également de redoutables antioxydants aux multiples vertus. Outre le  $\beta$  carotène, l' $\alpha$  tocophérol, qui est le tocophérol prédominant dans l'huile d'olive (90-100 %), qui a un effet inhibiteur de l'auto- et la photo-oxydation. L'huile d'olive est d'ailleurs la seule huile végétale à en posséder. Au-delà de l'intérêt vitaminique (rôle dans la vision), le  $\beta$  carotène joue un rôle d'antioxydant (Roman et al., 2019). La concentration finale de chaque pigment dans l'huile d'olive dépend des caractéristiques physico-chimiques du fruit, de l'origine géographique, du climat et des conditions d'irrigation et du procédé d'extraction mécanique utilisé. Les conditions de stockage et l'emballage final jouent également un rôle dans la concentration et le type de pigment (Gandul-Rojas et al., 2016 ; Lazzerini et al., 2016 ; Lazzerini et al., 2017).



## **I.2.6. Vertus de l'huile d'olive**

L'huile d'olive doit ses qualités nutritionnelles et son impact sur la santé à sa haute teneur en acides gras mono insaturés et à sa richesse en polyphénols. Un très grand nombre d'études a démontré les effets antioxydants, anti-inflammatoires et anti-cancéreux des polyphénols (Gorzynik-Debicka, 2018 ; Kouka et al., 2019). Les polyphénols présents dans l'huile d'olive vierge extra protègent aussi les lipides sanguins contre le stress oxydatif (Musumeci et al., 2013).

### **I.2.6.1. Protection contre les cancers**

L'adoption du régime méditerranéen (riche en fruits et légumes et l'huile d'olive) a démontré qu'il pourrait représenter un facteur de protection contre l'apparition de divers types de cancer notamment le cancer du côlon (Psaltopoulou et al., 2011 ; Marventano et al., 2018). Les effets anti-tumoraux du régime sont liés à la combinaison antioxydants, fibres et acides gras polyinsaturés (Grosso et al., 2013). Plusieurs études ont prouvé l'effet antitumoral de l'oleuropéine (Sirianni et al., 2010 ; Santiago-Mora et al., 2011). En effet, l'oleuropéine est capable de perturber directement les filaments d'actine dans les cellules et d'inhiber la prolifération et la migration cellulaires tumorales (Hamdi et Castellon, 2005 ; Reboredo-Rodríguez et al., 2018).

### **I.2.6.2. Protection contre les maladies cardiovasculaires**

Dans les pays méditerranéens, connus par la consommation régulière d'huile d'olive vierge extra, les infarctus du myocarde et la mortalité par les maladies coronariennes sont faibles (Menotti et al., 2015). L'huile d'olive est composée en majorité d'acides gras mono et polyinsaturés. Des études sur le remplacement des acides gras saturés par des acides gras mono-insaturés ont démontré qu'ils pouvaient réduire de 20 à 40% les risques de maladies

cardiovasculaires (Kris-Etherton, 1999 ; Estruch et al., 2018) et par conséquent la prévention du risque d'infarctus du myocarde et des maladies coronariennes (George et al., 2019).

L'athérosclérose est l'une des maladies cardiovasculaires, plusieurs études ont démontré la relation inverse entre la consommation d'huile d'olive extra vierge et l'athérosclérose (Buil-Cosiales et al., 2008 ; Widmer et al., 2013) suggérant ainsi un rôle protecteur de l'huile d'olive contre le développement de l'athérosclérose carotidienne chez les personnes à haut risque cardiovasculaire (Casas et al., 2014 ; Summerhill et al., 2018). Dans les modèles animaux, l'administration d'huile d'olive vierge extra et de certains de ses composants tels que l'hydroxytyrosol et le squalène (Bullon et al., 2009) a réduit les lésions artérioscléreuses (Rosenblat et al., 2007 ; Panth et al., 2016). L'acide oléique qui appartient à la famille des omega 9, contribue à faire baisser le taux des LDL dans le sang. Comme tous les omega 9, il stimule la production des HDL et la dégradation des LDL (Berrougui et al., 2015).

### **I.2.6.3. Protection contre l'hypertension**

De nombreuses études ont démontré l'effet de la consommation de l'huile d'olive vierge sur la réduction de la tension artérielle (Trevisan et al., 1990 ; Massaro, 2020). Parmi les études effectuées sur le régime Méditerranéen, Psaltopoulou et son équipe (2004) ont mené une étude en Grèce sur 20343 volontaires âgés entre 20 et 86 ans sans diagnostic préalable d'hypertension et ils ont montré que le régime Méditerranéen, et en particulier la consommation d'huile d'olive, en plus de la consommation de légumes et de fruits, était significativement et inversement associé à la réduction de la pression artérielle. (Psaltopoulou et al., 2004 ; Massaro, 2020). D'autres études ont démontré que vu sa richesse en polyphénols, l'huile d'olive possède également un effet anti-coagulant protégeant les artères de l'athérosclérose donc contre la formation de plaques d'athérome, due à une accumulation de matières grasses, (cholestérol et calcium) ce qui permet de mieux contrôler la tension artérielle (Fito et al., 2005 ; Berrougui et al., 2015).

### **I.2.6.3. Protection contre l'inflammation**

Des preuves scientifiques ont montré que la consommation régulière d'aliments riches en composés phénoliques peut réduire le risque de développement de maladies inflammatoires auto-immunes et chroniques telles que la polyarthrite rhumatoïde (Rosillo et al., 2016), le lupus érythémateux disséminé (Aparicio-Soto et al., 2017) ou la sclérose en plaques (Martín et al., 2012)

L'oleuropéine aglycone, ce composé phénolique de l'huile d'olive, semble avoir un grand effet anti-inflammatoire (Impellizzeri, 2011 ; Xu et al., 2018). De même, l'oléocanthal (un autre composé phénolique) s'est avéré présenter une activité anti-inflammatoire non stéroïdienne «de type ibuprofène ». L'ibuprofène est largement utilisé dans la prise en charge thérapeutique des maladies inflammatoires articulaires (Beauchamp et al., 2005 ; Fezai et al., 2013) et a un fort effet analgésique (Fezai et al., 2013 ; Argoff, 2013).

### **I.2.6.4. Protection contre le vieillissement**

Le vieillissement est un processus naturel multifactoriel et spécifique à un tissu et implique diverses altérations par exemple l'instabilité génomique, la perte de protéostase, la détection dérégulée des nutriments, le dysfonctionnement mitochondrial, la sénescence cellulaire et l'épuisement des cellules souches (Lopez-Otin et al., 2013 ; Del Río et al., 2016). Des études ont indiqué que les phénols de l'huile d'olive ont des actions préventives sur les dysfonctionnements cognitifs et moteurs liés à l'âge. L'huile d'olive aurait aussi le pouvoir de ralentir le vieillissement des cellules, de la peau comme du cerveau. Ses omégas 9 servent à stimuler l'activité des cellules et ses polyphénols sont des antioxydants puissants. Ces derniers participent au renforcement des os, en absorbant pendant la digestion le calcium et la vitamine D, lesquels seront réorientés vers le squelette (Boskou et al., 2006 ; Del Río et al., 2016).

### **I.2.7. Paramètres de qualité de l'huile d'olive**

La qualité de l'huile d'olive est déterminée selon un certain nombre de paramètres à savoir l'acidité, l'indice de peroxyde, l'absorbance dans l'UV et les caractéristiques organoleptiques ou sensorielles.

#### **I.2.7.1. Paramètres sensoriels**

Les particularités botaniques et organoleptiques de l'huile d'olive sont susceptibles d'évoluer en fonction des conditions de production. Cette évolution est capable de modifier l'odeur et la saveur de l'huile. Ce changement exerce une forte influence sur l'acceptabilité ou le rejet des huiles d'olives par le consommateur. L'analyse chimique est insuffisante pour déterminer la qualité d'une huile, pour cela une analyse sensorielle codifiée et détaillée a été développée (CEE, 2007 ; Bendini et al., 2012). Les attributs sensoriels d'une huile ont été classés en deux catégories : les attributs positifs et les défauts.

Il existe trois grands attributs positifs (Mazzalupo et al., 2012) :

- ⇒ **Amer**: c'est le goût élémentaire caractéristique de l'huile obtenue à partir d'olives vertes (stade de la véraison), perçu par les papilles caliciformes formant le V lingual.
- ⇒ **Fruité** : Ensemble des sensations olfactives caractéristiques de l'huile, dépendant de la variété des olives, provenant de fruits sains et frais, perçues par voie directe ou rétro nasale. Le fruité vert correspond aux caractéristiques rappelant les fruits verts à l'inverse du fruité mûr qui témoigne d'une récolte des olives plus tardive.
- ⇒ **Piquant** : Sensation tactile de picotement, caractéristique des huiles produites au début de la campagne, principalement à partir d'olives encore vertes, pouvant être perçue dans toute la cavité buccale, en particulier dans la gorge.

L'huile d'olive vierge extra, ne doit présenter aucun de ces défauts (Mazzalupo et al., 2012) :

- ⇒ **Chômé/Lies** : Flaveur caractéristique de l'huile tirée d'olives entassées ou stockées dans des conditions telles qu'elles se trouvent dans un état avancé de fermentation anaérobie, ou de l'huile restée en contact avec les « boues » de décantation, ayant elles aussi subi un processus de fermentation anaérobie, dans les piles et les cuves.
- ⇒ **Moisi/humide** : Flaveur caractéristique de l'huile obtenue à partir des olives attaquées par des moisissures et des levures à la suite d'un stockage des fruits pendant plusieurs jours dans l'humidité.
- ⇒ **Vineux/vinaigré ou acide/aigre** : Cette flaveur est due à la fermentation aérobie des olives ou des restes de pâte d'olive dans des scourtins non lavés correctement, qui donne lieu à la formation d'acide acétique, acétate d'éthyle et éthanol.
- ⇒ **Métallique** : Flaveur caractéristique de l'huile demeurée longtemps en contact avec des surfaces métalliques, au cours du procédé de broyage, de malaxage, de pression ou de stockage.
- ⇒ **Rance** : Flaveur des huiles ayant subi un processus d'oxydation intense.

### **I.2.7.2. Paramètres physico-chimiques**

#### **I.2.7.2.1. Acidité**

L'acidité des huiles est un paramètre physico-chimique majeur dans la détermination de la qualité de l'huile d'olive. Elle représente principalement le taux d'altération hydrolytique de la matière première à la suite d'une activité enzymatique naturelle et/ou microbienne, ce qui induit la libération des acides gras des triacylglycérols. Elle représente la teneur en acides gras libres de l'huile d'olive exprimée en pourcentage d'acide oléique. La présence en quantité élevée d'acide gras est à l'origine des arômes désagréables de l'huile d'olive (Jacotot, 1993 ; Clodoveo et al., 2007 ; Nierat et al., 2014). Ce phénomène se développe dans les fruits blessés, suite aux mauvaises conditions de stockage des olives et dans des huiles mal préparées (durant la décantation, filtration) (Mordert et al., 1997 ; Nierat et al., 2014).

#### **I.2.7.2.2. Indice de peroxyde**

L'indice de peroxyde, mesuré en milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme, détermine l'oxydation initiale d'une huile dans une analyse de qualité. Il détermine la qualité et l'état de détérioration de l'huile. Les corps gras peuvent s'oxyder en présence d'oxygène et de certains pro-oxydants (température élevée, lumière, enzyme, ions métalliques...). L'oxydation conduit dans un premier temps à la formation de peroxydes. L'indice de peroxyde représente la quantité d'oxygène chimiquement lié à l'huile sous forme de peroxydes, en particulier d'hydroperoxydes. Ces derniers se décomposent ultérieurement en dérivés carbonylés, aldéhydes et hydrocétones (responsables de l'odeur de rance) et en divers produits oxygénés (alcools, acides...) (Tanouti et al., 2011 ; Gharby et al., 2015).

#### **I.2.7.2.3. Absorbance dans l'UV**

L'état d'oxydation de l'huile d'olive peut être défini par la détermination des coefficients d'extinction spécifiques dans l'UV. Dans l'huile d'olive l'oxydation des acides linoléique et linolénique entraîne la formation de peroxydes d'hydrogène dans lesquels les doubles liaisons se conjuguent. Par ailleurs, on observe la formation de liaisons carbone-carbone ou de liaisons carbone-oxygène (composés carbonylés  $\alpha$ ,  $\beta$ -insaturés) sous forme de produits d'auto-oxydation secondaire. L'ensemble de ces composés entraîne une augmentation de l'absorption dans la région comprise entre 225 nm et 325 nm. Ces peroxydes évoluent avec le temps et donnent lieu à la formation de produits divers tels les cétones insaturées et les dicétones qui absorbent dans l'UV vers 270 nm. Le degré et le stade d'oxydation d'une huile peuvent donc être évalués par des coefficients d'absorption de la lumière dans l'ultraviolet appelés absorbances spécifiques K232 et K270 (Boskou, 1996 ; Mignani et al., 2012). Il faut noter que le raffinage des huiles d'olive provoque la formation de systèmes conjugués (triènes conjugués) qui absorbent également à 270 nm, mais aussi, à 266 et à 274 nm ; ces dernières

sont utilisées pour distinguer l'absorption liée aux produits d'oxydation de celle liée aux systèmes conjugués (Kiritsakis et al., 2002 ; Mignani et al., 2011).

### **I.2.8. Oxydation de l'huile d'olive :**

Les huiles végétales notamment l'huile d'olive, du fait de leur richesse en acides gras mono- et/ou polyinsaturés, sont sujettes à des réactions chimiques telles que l'isomérisation et l'oxydation des acides gras (Zanoni et al., 2005 ; Li et Wang, 2018). L'isomérisation conduit à la génération d'acides gras trans alors que la peroxydation lipidique est un complexe de réactions chimiques qui se produisent en présence d'oxygène et conduisent au rancissement (Zanoni et al., 2005). L'oxydation ou le rancissement des huiles est un processus naturel inévitable, influençant négativement les propriétés chimiques, nutritionnelles et sensorielles des huiles. (Rodrigues et al., 2017 ; Li et Wang 2018).

#### **I.2.8.1. Facteurs d'oxydation de l'huile d'olive**

Plusieurs facteurs peuvent influencer l'oxydation des lipides (Hsieh et Kinsella, 1989 ; Cayuela Sánchez et al., 2013). Ces facteurs peuvent être classés en :

**Facteurs intrinsèques** : représentés essentiellement par :

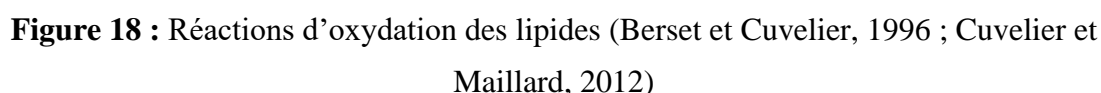
- ⇒ La composition en acides gras des lipides ;
- ⇒ La présence d'espèces pro-oxydantes (ions métalliques, enzymes) ;
- ⇒ La présence d'antioxydants naturels (tocophérol).

**Facteurs extrinsèques** : représentés essentiellement par :

- ⇒ La température de stockage ;
- ⇒ L'exposition à la lumière ;
- ⇒ La pression partielle en oxygène ;
- ⇒ La présence de pro-oxydants exogènes.

#### **I.2.8.2. Mécanisme d'oxydation**

L'action directe de l'oxygène en se fixant sur les acides gras ainsi que l'action indirecte des autres facteurs (intrinsèques et extrinsèques) entraînent un ensemble complexe



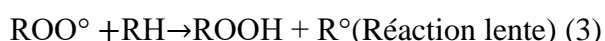
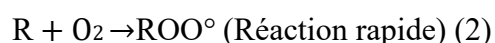
L'auto-oxydation des acides gras insaturés (RH) subit un ensemble de réactions en chaîne auxquelles participent surtout des radicaux libres  $R^\bullet$ . Cette réaction se déroule en 3 grandes étapes: initiation, propagation et terminaison (Choe et Min, 2006; Domínguez et al., 2019).

Au cours de cette phase les lipides insaturés (RH) perdent un atome d'hydrogène, cela peut être effectué par action directe sur l'acide gras insaturé, pour former un radical libre (radical alkyle) selon la réaction suivante :  $\text{RH} \rightarrow \text{I} \rightarrow \text{H} \bullet + \text{R} \bullet$  : Ces réactions sont spontanées mais lentes en conditions douces (Choe et Min, 2006 ; Farhoosh, 2021).



**I.2.8.2.2. Propagation**

Au cours de la phase de propagation, le radical alkyle formé pendant la phase d'initiation fixe très rapidement l'oxygène moléculaire à l'état normal (triplet) et forme un radical libre peroxyé instable (Choe et Min, 2006 ; Domínguez et al., 2019). En effet, l'oxygène triplet ne se fixe pas directement sur un composé lipidique natif, mais sur un composé radicalaire (Frankel, 2005 ; Choe et Min, 2006 ; Domínguez et al., 2019).

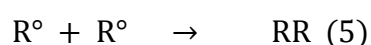


L'absorption de l'oxygène et les réactions d'oxydation primaire s'accélèrent à travers des mécanismes radicalaires en chaîne. Dès que cette phase de propagation a démarré, les réactions d'oxydation secondaire se déclenchent, les radicaux libres se détachent pour former des composés non radicalaires qui affectent la qualité de l'huile et représentent la principale cause de l'altération des qualités organoleptiques de l'huile (goût et de l'odeur).

La phase de propagation est auto catalytique, qui devient très rapidement irréversible. Les hydro peroxydes LOOH s'accumulent dans l'huile. Ce sont des molécules instables, surtout en présence de traces de métaux qui jouent un rôle important dans leur décomposition. (Thanonkaew et al., 2006; Waraho et al., 2011).

**I.2.8.2.3. Terminaison**

Durant cette phase, les nouveaux radicaux qui se forment, notamment les alkoxydes  $LO^\circ$  et les hydroxydes  $OH^\circ$ , vont à leur tour alimenter l'auto-oxydation des AGI ou trouver pour cibles d'autres composés tels que les vitamines et les pigments. Les radicaux alkoxydes sont également à l'origine des réactions de scission, de cyclisation et de polymérisation.



# *Matériel et méthodes*

## I. Matériel et méthodes

### I.1. Etude du rhizome du gingembre

#### I.1.1. Collecte et préparation du matériel végétal (*Zingiber officinale*)

La présente étude a été réalisée sur les rhizomes (partie souterraine de la plante) du gingembre (*Zingiber officinale*). Les échantillons utilisés ont été procurés chez un herboriste au niveau de la wilaya de Bejaia. Ces rhizomes sont originaires de la Chine.

Les rhizomes du gingembre ont été préparés pour le séchage, d'abord lavés soigneusement afin d'éliminer toutes les impuretés puis rincés abondamment avec de l'eau distillée enfin essuyés afin d'enlever l'eau excessive.

#### I. 1.2. Détermination de l'humidité

La teneur de l'échantillon en humidité est déterminée par la méthode de dessiccation par évaporation selon Schulze et al. (2014).

Des échantillons de gingembre frais (environ 5 g) sont coupés en petit morceau et introduits dans des creusets tarés, puis séchés dans une étuve à  $130^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  jusqu'à un poids constant. Après refroidissement dans un dessiccateur, les creusets sont pesés et le taux d'humidité est déterminé selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{M_1 - M_2}{P_e} \times 100$$

H% : Pourcentage d'humidité ;

M<sub>1</sub> : Masse de la capsule + l'échantillon avant séchage ;

M<sub>2</sub> : Masse de la capsule + l'échantillon après séchage ;

P<sub>e</sub> : Masse de la prise d'essai.

#### I.1.3. Séchage des rhizomes du gingembre

Les rhizomes du gingembre lavés, sont coupés en minces homogènes lamelles d'environ 3 mm d'épaisseur. Des lots de 100 g sont soumis aux séchages conventionnels en

utilisant une étuve ventilée (Binder E28, Germany) à quatre températures différentes qui sont : 40°C, 60°C, 80°C et 100°C.

La masse est périodiquement suivie en utilisant une balance de précision ( $\pm 0.001$ ), la pesée est faite à un intervalle de 3 minutes pour les échantillons séchés aux températures 100°C et 80°C, et à un intervalle de 5 minutes pour les échantillons séchés à 60°C et enfin un intervalle de 10 minutes pour les échantillons séchés à 40°C. Le séchage est présumé terminé dès l'obtention d'une masse constante. Une fois le séchage est terminé, les lamelles obtenues subissent un broyage à l'aide d'un broyeur électrique de marque (IKA model-A11, Baden-Württemberg, Germany) jusqu'à obtention d'une poudre fine. Après broyage, les poudres sont tamisées à l'aide d'un tamis de diamètre de 250  $\mu\text{m}$  pour l'obtention d'une poudre homogène. Ces poudres sont conservées dans des flacons en verre et stockées à l'abri de la lumière et de l'humidité jusqu'à leur utilisation.

#### **I.1.4. Extractions des composés phénoliques**

Afin de pouvoir déterminer les composés phénoliques une extraction au préalable était nécessaire. L'extraction est effectuée selon le protocole de Mukherjee et al. (2014). 1 g de poudre de gingembre est mis en contact de 25 ml d'éthanol à 75%, le mélange est soumis à une agitation constante pendant une heure à 40°C, puis centrifugé pendant 30 minutes à 1800 tr/min. La même opération a été répétée deux fois pour une extraction exhaustive. Les extraits ont été rassemblés, filtrés, sur papier Wattman N°03, puis transférés dans des flacons hermétiques et conservés à 04°C pour les utilisations ultérieures.

##### **I.1.4.1. Dosage des polyphénols Totaux (PT)**

Le dosage des composés phénoliques totaux dans les extraits éthanoliques du gingembre a été effectué en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu, selon le protocole de Chan et al. (2008) avec quelques modifications.

500 µl du réactif de Folin-Ciocalteu (10%) ont été ajoutés à 200 µl de l'extrait de gingembre, après 5 minutes d'agitation, 1500 µl d'une solution de carbonate de sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (7,5%) ont été additionnés et le mélange obtenu a été ensuite agité puis incubé pendant 30 minutes à l'obscurité. La lecture des absorbances se fait à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible (UV-mini 1240, Shimadzu, Japan) contre un témoin préparé dans les mêmes conditions sauf que l'extrait de gingembre a été remplacé par le solvant. La teneur en polyphénols est déterminée par référence à une courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique à différentes concentrations (voir annexes). Les teneurs en polyphénols totaux ont été exprimées en mg équivalent acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG /g de MS).

#### **I.1.4.2. Dosage des flavonoïdes**

La teneur en flavonoïdes dans cette étude a été déterminée selon la méthode rapportée par Jelled et al. (2015) avec quelques modifications. Brièvement a 0,5 ml d'extrait de gingembre ont été ajoutés 2 ml d'eau distillée et 0,15 ml de la solution  $\text{NaNO}_2$  à 5%. Après 6 minutes d'incubation, 0,15 ml d'une solution de trichlorure d'aluminium  $\text{AlCl}_3$  à 10% ont été additionnés, puis un volume de 2 ml d'une solution de  $\text{NaOH}$  à 4% a été ajouté après 6 autres minutes de réaction. Enfin, le volume final a été ajusté à 5 ml avec l'eau distillée. La solution a été incubée pendant 15 minutes à l'obscurité et à température ambiante. L'absorbance a été mesurée à 510 nm et la teneur en flavonoïdes est exprimée en mg équivalent épicatechine par gramme de matière sèche (mg EQ/g MS), par référence à une courbe d'étalonnage préalablement réalisée avec ce standard.

#### **I.1.5. Détermination des caroténoïdes totaux**

Les teneurs en caroténoïdes totaux ont été déterminées suivant la méthode de Sass-Kiss et al. (2005). 100 mg de poudre de gingembre sont mélangés avec 10 ml de solvant d'extraction qui se compose d'hexane, d'acétone et d'éthanol avec les proportions respectives 2 : 1 : 1. Le mélange a été bien agité puis centrifugé pendant 15 minutes à 2250 tr/min. La

phase supérieure (hexane) contenant les caroténoïdes a été récupérée et son absorbance a été mesurée à 450 nm. La concentration en caroténoïdes a été estimée en se référant à la courbe d'étalonnage préparée avec le  $\beta$ -carotène (voir annexe).

Les résultats ont été exprimés en mg de  $\beta$ -carotène par 100 g de poudre gingembre (mg E $\beta$ C/100 g MS).

#### **I.1.6. Détermination de l'activité antioxydante (DPPH°)**

L'activité anti radicalaire des extraits de gingembre est déterminée par la méthode basée sur la réduction du radical diphénylpicryl-hydrazyl (DPPH°), suite à un transfert d'hydrogène qui provient des antioxydants du milieu réactionnel. La réaction de réduction du DPPH provoque la diminution de l'intensité de la couleur violette, cette dernière est mesurée par spectrophotométrie. L'activité anti-radicalaire des extraits du gingembre a été déterminée selon le protocole de Brand-Williams et al. (1995). 3 ml de la solution de DPPH ont été mélangés avec 0,1 ml d'extrait éthanolique de gingembre. La mesure de la réaction de réduction du DPPH° a été réalisée à 517 nm après incubation à température ambiante pendant 30 minutes. L'activité anti-radicalaire a été calculée selon la formule suivante :

$$Inhibition(\%) = \left( \frac{A_c - A_s}{A_c} \right) * 100$$

A<sub>C</sub> : absorbance du control ;

A<sub>S</sub> : absorbance de l'extrait.

#### **I.1.7. Détermination et identification des composés phénoliques par HPLC**

La séparation et l'identification des composés phénoliques ciblés dans les différentes poudres de gingembre ont été réalisées en utilisant le système chromatographique Agilent HPLC 1260 Infinity (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany) équipé d'une pompe quaternaire (G1311B 1260) et d'un auto-échantillonneur (G1329B 12). Les séparations ont été effectuées sur une colonne de type Kromasil 100 C18 (250 × 4,6 mm, 5  $\mu$ m) placée dans

un compartiment à température contrôlée (G1316A 1260). La température de la colonne a été maintenue à 40°C. Le système a été muni d'un détecteur UV DAD VL G1315D 1260. Le volume d'injection a été de 10 µl d'extrait. La phase mobile a été composée de tampon phosphate 0,1% (v/v) (solvent A) et d'acétonitrile (solvent B). Le débit de la phase mobile a été de 1,0 ml/min.

Le gradient appliqué pour toutes les expériences a été le suivant : 0-3 min : 30- 70% A ; 3- 40 min : 30- 70% B, et enfin à 40- 50 min 30- 70% A. Des solutions standards de zingerone, 6-shogaol et 6- gingerol ont été préparées individuellement à des concentrations de 2 µg/ml à 500 µg/ml. La longueur d'onde de détection a été de 280 nm. Les résultats ont été traités avec le logiciel Agilent OpenLAB 2.2 CDS (chromatography data systems). L'identification des composants phénoliques ciblés (zingerone, 6-gingerol and 6-shogaol) dans les extraits éthanoliques du gingembre a été réalisée en comparant leur temps de rétention (TR) avec ceux des standards utilisés.

#### **I.1.8. Détermination du $\beta$ -carotène par Chromatographie Liquide Haute Performance**

La teneur en  $\beta$ -carotène dans les différentes poudres de gingembre a été déterminée par chromatographie (HPLC) selon le protocole utilisé par Stinco et al. (2014) et Benmeziane et al. (2018). La première étape consistait en l'extraction du  $\beta$ -carotène par un solvant constitué d'un mélange d'hexane et d'acétone (v/v). 10 mg de poudre de gingembre ont été mélangés avec 1 ml de d'eau Milli-Q. Le mélange a été ensuite centrifugé à 1.800  $\times$ g pendant 3 minutes et le surnagent résultant a été écarté. Ensuite 1 ml de la solution d'extraction acétone-hexane a été ajouté à chaque échantillon, le mélange obtenu a été agité puis centrifugé pendant 3 minutes à 1.800  $\times$ g. Le surnagent résultant a été alors collecté. Ces étapes ont été répétées jusqu'à la disparition de la couleur jaune. La fraction organique a été ensuite évaporée sous vide à température inférieure à 30°C. Le résidu obtenu a été conservé sous azote ( $N_2$ ) pour l'analyse ultérieure.

Le résidu sec ainsi obtenu a été re-dissous dans 100 µl d'acétonitrile pour l'analyse chromatographique (HPLC). L'analyse quantitative a été réalisée en utilisant un système Agilent HPLC 1260 Infinity (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany) équipé d'une pompe quaternaire (G1311B 1260), d'un compartiment de contrôle de température de colonne G1315D 1260, et d'un détecteur DAD VL. Les concentrations des standards utilisées sont de 0,005 µg/ml à 2,8 µg/ml. La séparation a été faite sur la colonne Poroshell 120 EC-C18 dont les dimensions (4,6× 50 mm, 2,7 µm). La température de la colonne a été maintenue à 40°C. La phase mobile utilisée est constituée d'éthyle acétate (solvant A), de méthanol (solvant B) et de l'acétonitrile (solvant C). Le gradient d'élution était comme suivant : 0- 5 min : 85% A, 15% B ; 5- 9 min : 60% A, 20% B, 20% C ; 9- 15min, 85% A, 15% B. Le débit de la phase mobile a été de 1,0 ml/min. La longueur d'onde de détection a été de 280 nm. Les résultats obtenus ont été analysés à l'aide d'un logiciel Agilent Open LAB 2.2 CDS (chromatography data Systems). L'identification du β-carotène a été réalisée en comparant son temps de rétention (TR) avec celui du standard utilisé.

### **I.1.9. Etude de la composition nutritionnelle des poudres de gingembre**

#### **I.1.9.1. Dosage de la matière grasse**

Le taux de matière grasse dans les poudres de gingembre a été quantifié par l'analyseur de matière grasse ORACLE (CEM Corporation, NC, USA). C'est un analyseur de graisse rapide qui ne nécessite aucun développement de méthode.

L'ORACLE fournit une précision chimique de référence pour tous les échantillons alimentaires sans avoir aucune connaissance préalable de la matrice et de la composition de l'échantillon. Il utilise à la fois les propriétés nucléaires et le signal de résonance magnétique (RMN) pour mesurer d'une manière précise



### **I.1.9.2. Dosage des protéines**

Les protéines et les protéines solubles dans l'eau ont été déterminées en utilisant l'analyseur rapide de protéine Sprint™ (CEM Corporation, NC, USA).

Le Sprint™ utilisé est très avancé dans l'analyse des protéines basée sur un processus de chimie verte rapide permettant une détection directe des protéines. Il a été standardisé au paravent pour la détermination des protéines brutes selon la méthode Kjeldahl (AOAC, 2000). Pour les protéines solubles une procédure d'extraction était nécessaire avant le dosage selon la méthode détaillée ci-dessus.

#### **I.1.9.2.1. Extraction des protéines solubles**

Les protéines solubles ont été extraites selon le protocole suivant : 2 g de poudre de gingembre ont été pesés avec précisions puis suspendu dans 100 ml d'eau distillée. Les échantillons ont été soumis à l'agitation pendant une nuit (12-15 heures) à température ambiante en utilisant l'agitateur LABOSHAKE (Gerhardt GmbH, 53639 Königswinter, Germany), une fois l'agitation est terminée les échantillons ont été centrifugés à 2.500 ×g pendant 20 min, puis filtrés en utilisant le papier filtre Whatman No.1. Le surnageant a été utilisé pour la détermination des protéines soluble (WSP %).

#### **I.1.9.3. Taux d'humidité**

Le taux d'humidité et le taux de la matière sèche dans les différentes poudres de gingembre ont été déterminés par une technique rapide en utilisant un nouvel appareil appelé SMART-6™ Analyzer (CEM Corporation, NC, USA). C'est un analyseur d'humidité à micro-ondes le plus avancé au monde pour l'analyse rapide de l'humidité et des solides. Il utilise une combinaison de micro-ondes et d'infrarouge pour analyser rapidement l'humidité et les solides dans n'importe quel produit. Cette source d'énergie de séchage à double fréquence brevetée offre le séchage le plus rapide et le plus complet disponible, pour une large gamme d'échantillons. Il consiste à lire directement le taux d'humidité de l'échantillon.

#### **I.1.10. Analyse de la microstructure des différentes poudres**

Le changement dans la microstructure des particules des différentes poudres de gingembre obtenues en fonction des différentes températures de séchage a été observé par microscope électronique de marque Hitachi S700 (Hitachi, Berkshire SL6 8YA, England).

La première étape consistait à fixer les échantillons sur un support spécifique ou un plot métallique. Pour que l'échantillon réémette les électrons à l'intérieur de la chambre d'observation du microscope, celui-ci doit être recouvert d'une fine couche de métal. Cette étape a été réalisée à l'aide d'un métalliseur qui va permettre la mise en place d'une fine pellicule d'or d'environ 2 à 3 nm d'épaisseur sous vide, le métalliseur utilisé de model EMITECH-K550, (Ashford, England).

Les images ont été obtenues en examinant les particules de poudre de gingembre ainsi préparés à 1.5 KV et le grossissement utilisé est de 1000 x.

## **I.2. Enrichissement de l'huile d'olive**

L'autre objectif de la présente étude après le séchage des rhizomes du gingembre, a été un essai d'enrichissement de l'huile d'olive vierge à base des poudres de gingembre obtenues, c'est un enrichissement solide-liquide par macération.

Afin de mieux cerner cet objectif, plusieurs tests ont été réalisés :

- Indice d'acidité,
- Indice de peroxyde,
- Activité anti-radicalaire de l'huile d'olive enrichie (test DPPH•)
- La teneur en polyphénols.

### **I.2.1. Analyse de l'huile d'olive**

L'huile d'olive utilisée est une huile extra vierge, obtenue exclusivement par des procédés mécaniques, de variété Achemlal provenant de la région d'Akbou wilaya de Bejaia. Cette huile a été sujette à une série d'analyse afin de déterminer ses propriétés physico-chimiques initiales.

#### **I.2.1.1. Détermination des paramètres de qualité de l'huile d'olive utilisée**

Les différents paramètres de qualité de l'huile d'olive ont été déterminés selon les méthodes rapportées dans le règlement de la commission (l'EC) no.1989/2003.

#### **I.2.1.2 Détermination de l'acidité**

Le principe de la détermination de l'acidité consiste à neutraliser les acides libres par une solution alcoolique d'hydroxyde de sodium.

Le protocole utilisé consiste à mélanger 0,5 g d'huile d'olive avec 5 ml d'une solution d'alcool éthylique et d'éther diéthylique (1 : 2, v/v). Le mélange a été titré avec une solution de NaOH à 0,1 M en présence de la phénophtaléine comme indicateur coloré.

Les résultats ont été exprimés en pourcentage (%) d'acide oléique (COI, 2009) selon la formule suivante :

$$\text{Acidité (\%)} = \frac{N \times V \times 282.5}{M \times 1000} \times 100$$

M : masse de la prise d'essai en gramme ;

N : normalité de solution d'hydroxyde de sodium en eq g/l ;

V : volume de titrage en ml ;

282,5 g/mol : la masse molaire de l'acide oléique.

### **I.2.1.3. Détermination de l'indice de peroxyde**

L'indice de peroxyde est déterminé comme suit : 0,5 g d'huile d'olive sont mélangés à 12,5 ml d'une solution d'acide acétique et de chloroforme (3 : 2, v/v). Après avoir ajouté 0,5 ml d'une solution saturée d'iodure de potassium, l'échantillon est incubé à l'obscurité pendant 5 minutes. Puis, 35,7 ml d'eau distillée et 0,5 ml d'empois d'amidon sont ajoutés (une couleur violette apparaît). Le mélange est titré avec une solution de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> à 0,01 M jusqu'à la disparition de la couleur violette. Un control a été réalisé dans les mêmes conditions en remplaçant l'huile d'olive par de l'eau distillée. Les résultats sont exprimés en milli équivalent d'oxygène actif par kilogramme d'huile (meq O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> d'huile) selon la formule suivante (ISO 3960) :

$$\text{IP}(\mu\text{g/g}) = \frac{(V - V_0)N}{P_e} \times 1000$$

V<sub>0</sub> : volume de la solution de thiosulfate de sodium utilisé pour le control en ml ;

V : volume de la solution de thiosulfate de sodium utilisé pour la prise d'essai en ml ;

N : normalité de la solution de thiosulfate de sodium ;

P e : masse de la prise d'essai en gramme.

#### **I.2.1.4. Extraction des composés phénoliques**

Les polyphénols totaux de l'huile d'olive analysée ont été extraits selon le protocole de Costantina et al. (2014). C'est une extraction liquide-liquide qui consiste à mélanger 10 g d'huile d'olive avec 10 ml de solvant constitué de méthanol et d'eau (80 : 20, v/v). Le mélange est agité pendant 30 minutes, puis centrifugé à 4000 t/ mn pendant 15 minutes, enfin le surnageant est récupéré. Après avoir répété le procédé deux fois, les extraits ont été rassemblés et filtrés sur papier Wattman N°03. Les extraits ainsi obtenus sont maintenus à 20°C pour des analyses ultérieures.

##### **I.2.1.4.1. Dosage des polyphénols dans les extraits méthanoliques**

Le dosage des composés phénoliques totaux de l'huile d'olive est réalisé en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu et selon le protocole de chan et al. (2008) (voir section II.1.3.1).

#### **I.2.1.5. Détermination de l'activité antiradicalaire**

La détermination de l'activité antiradicalaire des extraits éthanoliques de l'huile d'olive par le test de DPPH a été effectuée en utilisant la méthode décrite par Brand-Williams et al. (1995).

### **I.2.2. Incorporation du gingembre dans l'huile d'olive**

#### **I.2.2.1. Etude préliminaire**

L'enrichissement de l'huile d'olive pourrait être influencé par différents facteurs. Pour cela, nous avons étudié l'effet de certains paramètres à savoir le temps et la température sur la teneur en composés phénoliques et les paramètres de qualité (acidité, acide de peroxyde) des huiles enrichies. Cette étape préliminaire nous a permis également de définir les intervalles des facteurs à utiliser dans le plan des expériences.

Afin de déterminer l'effet de la charge (la concentration) de la poudre de gingembre, utilisée pour l'enrichissement de l'huile d'olive vierge, une étude préliminaire a été réalisée comme suit 0,5g, 1g, 1,5g et 2g, de poudre de gingembre /50 ml d'huile à température ambiante.

#### **I.2.2.2. Procédure de macération**

D'après les résultats obtenus, l'échantillon obtenu après séchage à 100°C a révélé une meilleure préservation de la qualité finale de la poudre de gingembre (à savoir le taux des polyphénols totaux, la concentration en flavonoïdes et l'activité antioxydante), de ce fait, il a été sélectionné afin d'effectuer l'enrichissement de l'huile d'olive à raison d'un gramme de poudre dans 50 ml d'huile d'olive. On a procédé de la manière suivante :

##### **⇒ Les huiles du groupe A :**

Dans ce groupe le mélange : poudre de gingembre et huile d'olive (1g/50 ml) est incubé à 40°C et à l'obscurité pendant 2 heures ;

##### **⇒ Les huiles du groupe B :**

Dans ce groupe le mélange : poudre de gingembre et huile d'olive est incubé à température ambiante et à l'obscurité pendant 24 heures.

Une fois l'incubation est terminée, ces mélanges ont été centrifugés à 1800 tr/min pendant 30 min, puis filtrés. Les huiles ainsi obtenues ont été conservées pour les analyses ultérieures.

#### **I.2.2.3. Analyse de l'huile d'olive après enrichissement**

Après enrichissement, le même protocole a été suivi et qui consiste à :

- Extraction des composés phénoliques de l'huile enrichie ;
- Dosage des polyphénols ;
- Détermination de l'activité antiradicalaire ;
- Détermination des paramètres de qualité :
  - Acidité ;
  - Indice de peroxyde.

### **I.3. Analyse statistique**

La différence entre les résultats obtenus pour les différentes poudres de gingembre séchées à différentes températures ainsi que les résultats obtenus de l'analyse des huiles d'olive ont été déterminés par l'analyse de la variance (ANOVA) en utilisant Minitab® 18.1 (MINITAB Inc., Coventry, UK), suivi du test de Tukey pour comparaison entre les résultats. L'analyse de corrélation a été accomplie par le test de Pearson pour explorer la relation entre les différentes variables. Les valeurs de  $P < 0,05$  ont été considérées significatives. Les différents tests ont été répétés trois fois et les résultats sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart types.

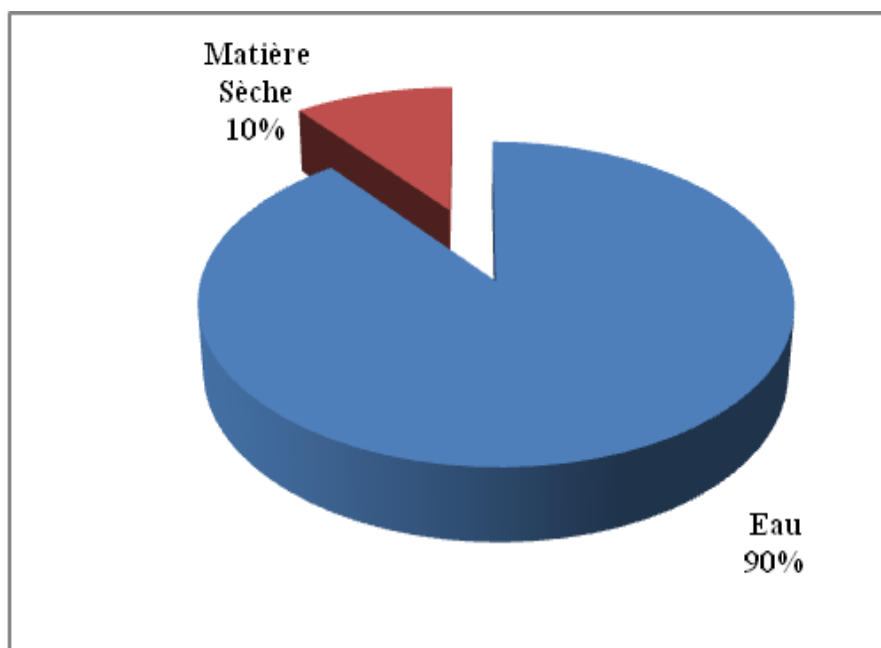
# *Résultats et discussion*



## II. Résultats et discussion

### II.1. Teneur en humidité et cinétique de séchage conventionnel du gingembre

Les résultats de la détermination des taux d'humidité dans les rhizomes du gingembre frais montrent une forte teneur en eau (de l'ordre de 90% ) comme le démontre la figure 19.



**Figure 19 :** Présentation du taux d'humidité dans les rhizomes du gingembre (*Zingiber officinale*).

Les mêmes résultats ont été apportés par Sultan et al. (2005) ; Balachandran et al. (2006) Puengphian et Sirichote, (2008) ; Deshmukh et al. (2014). Ces résultats démontrent clairement que le constituant majeur du rhizome est l'eau, pour une meilleure conservation de ce dernier il est donc nécessaire d'effectuer un séchage adéquat.

Les résultats obtenus du séchage effectué sur les rhizomes gingembre à différentes températures (40°C, 60°C, 80°C et 100° C) sont représentés dans le tableau III.

**Tableau III** : Temps de séchage et poids finals des rhizomes séchés aux différentes températures.

| Température de séchage (°C) | Poids finals (%) | Temps de séchage (Min) |
|-----------------------------|------------------|------------------------|
| 40 °C                       | 10,58±0,21       | 710                    |
| 60 °C                       | 10,48±0,31       | 340                    |
| 80 °C                       | 9,69 ± 0,28      | 177                    |
| 100 °C                      | 9,42±0,21        | 170                    |

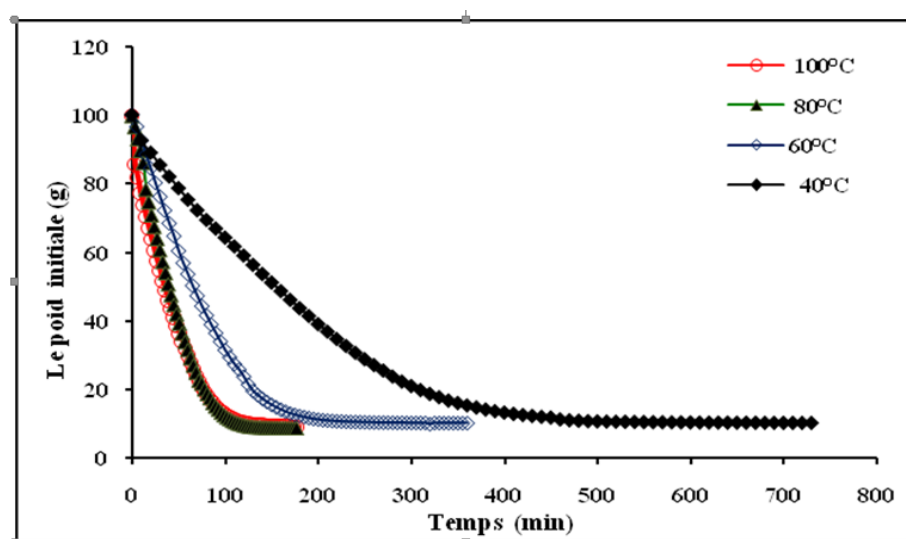
La perte de masse en fonction du couple temps-température lors du séchage des rhizomes de gingembre est représentée par les courbes illustrées dans la figure 20.

L'humidité initiale des rhizomes frais était d'environ 90%, le séchage est présumé terminé dès que le taux d'humidité devient constant et par conséquent la masse devient constante dès que ce taux atteint le seuil d'environ 10% ou moins, pour les différentes températures testées. Les résultats obtenus ont clairement démontré l'influence de la température de séchage sur le taux de perte en eau dans les différents échantillons de gingembre frais. Par ailleurs, le temps de séchage était inversement proportionnel à la température de séchage ou l'on enregistre la plus longue période de séchage (environ 12 heures) à 40 °C, avec la plus faible perte en humidité. Ce temps a été réduit de 50% à 60 °C pour atteindre moins de six heures nécessaires pour séchage (340mn) ; cette diminution dans le temps de séchage devient plus importante à 80 °C, ou il a nécessité seulement trois heures pour achever le séchage, tandis qu'à 100 °C il est devenue plus stable (170 mn).

Les résultats obtenus ont démontré que la perte en eau était beaucoup plus rapide aux températures de séchage élevées comme rapportés par Arslan et Ozcan, 2011 ; et Deshmukh et al., 2014.

D'après la figure 20, le processus de séchage est rapide durant la phase initiale en raison de la teneur élevée en eau, ce qui a conduit à une forte évaporation de l'humidité interne. Par

conséquent, le séchage s'est produit majoritairement durant la phase de chute, en raison de la prédominance du mécanisme de diffusion interne lié à la présence d'eau liée (Karathanos et Belessiotis, 1997 ; Kaymak-Ertekin, 2002 ; Weiqiao et al., 2016). Dans le même contexte, Baker (1997) et Deshmukh et al. (2014) ont indiqué que l'élimination d'eau se fait en premier lieu dans les grands capillaires ensuite dans les petits, ce qui a entraîné une réduction dans le taux d'évaporation. En s'approchant de la fin du processus du séchage, ce dernier devient plus difficile, en raison de la présence d'eau liée aux composants alimentaires tels que les protéines, l'amidon, etc. La stabilité du poids et par conséquent l'achèvement du processus du séchage, peut être expliquée par le fait que la température de la matrice atteint celle de l'air du séchage par conséquent la force de migration de l'eau de l'intérieur vers la surface est réduite. D'autre part, il est également possible qu'il n'y est plus d'eau libre dans la matrice, par conséquent, l'humidité de la matrice est en équilibre avec l'humidité de l'air de séchage, ce qui signifie que la masse de la matrice reste constante ce qui mène à déduire que le séchage est arrivé à terme (Bonazzi et Bimbenet, 2003 ; Vasseur, 2011 ; Jean, 2011).



**Figure 20:** Cinétique de séchage et de la perte en eau dans les rhizomes de gingembre séchés aux différentes températures.

## II.2. Dosages des polyphénols totaux et des flavonoïdes

### II.2.1. Les polyphénols totaux

Les teneurs en PT dans les différents extraits, exprimées en mg d'acide gallique par gramme d'échantillon sec (mg AG Eq/g de MS), sont indiquées dans le tableau IV.

**Tableau IV :** Teneurs en PT et flavonoïdes des différents extraits.

| Température de séchage | PT<br>(mg AG Eq/g de MS)   | Flavonoïdes<br>(mg E eq/g de MS) |
|------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 40 °C                  | 12,21 ± 0,246 <sup>d</sup> | 2,70 ± 0,167 <sup>d</sup>        |
| 60 °C                  | 14,48 ± 0,793 <sup>c</sup> | 3,76 ± 0,383 <sup>c</sup>        |
| 80 °C                  | 16,36 ± 0,95 <sup>b</sup>  | 5,98 ± 0,221 <sup>b</sup>        |
| 100 °C                 | 24,15 ± 0,65 <sup>a</sup>  | 10,57 ± 0,383 <sup>a</sup>       |

Les teneurs en PT étaient significativement différentes ( $P < 0,05$ ) et positivement liées aux températures de séchage. La teneur la plus élevée 24,15 mg AG Eq/g de MS est observée dans l'échantillon séché à 100 °C suivie des échantillons séchés à des températures plus basses voir 80 °, 60 ° et 40 °C ou nous avons enregistré les valeurs suivantes 16,36 ; 14,48 et 12,21 mg AG Eq/g MS, respectivement. Il est bien connu que le traitement thermique est un facteur critique qui exerce une grande influence sur les composés phénoliques. En se référant à la littérature, nos résultats concordent avec ceux rapportés par. Kubra et Rao (2012) et Mahmudati et al. (2020) qui ont rapporté que le traitement thermique pouvait entraîner la dégradation des constituants cellulaires, exemple la dégradation des tanins phénoliques complexes, et le processus d'oxydation enzymatique ou non enzymatique entraînant une libération importante de polyphénols par les matrices, conduit à une teneur supplémentaire en composés phénoliques (Eyenga et al. 2020).

D'autre part, Jelled et al. (2015) ont apporté une diminution dans la teneur en TP. Ils ont attribué cette diminution à la dégradation des polyphénols au cours des différentes étapes de

séchage, de broyage et de stockage. Différents résultats ont été rapportés par d'autres études sur le gingembre séché. Par exemple, Gumusay et al. (2015), An et al. (2016) et Idris et al. (2019), ont rapporté des valeurs de 3,54 mg AG Eq/g MS ; 7,8 mg AG Eq/g et 9,69 mg AG Eq/g MS dans les poudres de gingembre obtenues à 50 °C et 60 °C respectivement, alors que Li et al. (2016) ont rapporté une teneur de 27,40 mg AG Eq/g pour la poudre de gingembre obtenu à 40 °C.

La teneur en composés phénoliques peut être influencer par différents facteurs intrinsèques et extrinsèques, notamment les cultivars, le type de sol et les conditions de culture, l'état de maturité et les conditions de récolte des rhizome utilisés (Ezez et al., 2020)

### **II.2.2. Les flavonoïdes**

D'après les résultats obtenus, on constate que les teneurs en flavonoïdes suivent la tendance des PT. Comme le montre le tableau IV, ces valeurs augmentent de manière significative ( $P < 0,05$ ) avec l'augmentation de la température de séchage. La plus grande quantité de flavonoïdes qui est de l'ordre de 10,57 mg E eq/g MS est observée dans la poudre de gingembre obtenue à 100 °C. Cette quantité a été réduite de moitié pour atteindre 5,98 mg E eq/g MS dans les poudres obtenues à 80 °C. Cette réduction devient plus importante en baissant la température de séchage à 60 °C ou l'on enregistre une teneur de 3,76 mg E eq/g MS pour enfin atteindre une valeur minimale de 2,7 mg E eq/g MS dans les échantillons obtenus à 40 °C.

Ces résultats mènent à dire que la prolongation du temps de séchage et la température élevée sont des facteurs déterminants qui influencent d'une manière directe la teneur en flavonoïdes. Ces résultats sont en accord avec ceux apportés par Shieber et al. (2001), An et al. (2016) et Idris et al. (2019) qui ont conclu que les températures de séchage élevées contribuent à la destruction des constituants cellulaires, ce qui mènent à la libération des flavonoïdes et les rendent disponibles lors de l'extraction. D'autre part, la courte durée

d'exposition de la matrice à la chaleur ou la diminution du temps de séchage est avantageux en termes de conservation des flavonoïdes.

### II.3. Caractérisation des composés phénoliques par Chromatographie Liquide Haute Performance (HPLC)

Le gingembre contient un nombre important de composés phénoliques actifs et pharmacologiques, en particulier les gingerols et les shogaols (Mao et al., 2019). Le gout piquant du gingembre frais est attribué à la présence des gingérols essentiellement le 6-gingérol (1- [4'-hydroxy-3'-méthoxyphényl] -5'-hydroxy-3-décanone) (Kim et al., 2016). L'identification et la quantification des composants 6-gingérol, 6-shogaol et le zingerone à différentes températures de séchage, ont été effectuées par une analyse chromatographique (HPLC) et les teneurs moyennes sont résumées dans le tableau V.

**Tableau V :** Effet de la température de séchage sur le 6-gingerol, 6-shogaol et zingerone.

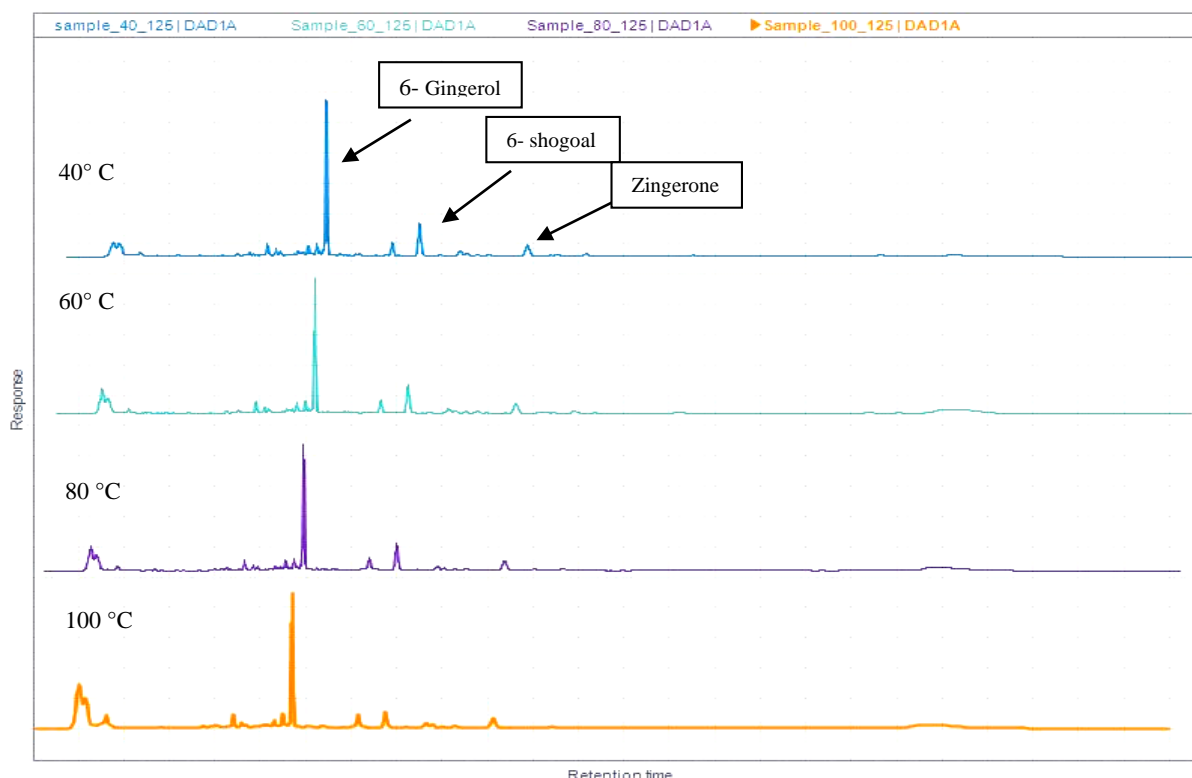
| Température de séchage | 6-gingerol<br>Mg/ g de matière sèche | 6-shogaol<br>Mg/g de matière sèche | Zingerone<br>Mg/g de matière sèche |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 40 °C                  | 4,96 ±0,17 <sup>a</sup>              | 4,88 ±0,18 <sup>c</sup>            | 0,20 ± 0,04 <sup>b</sup>           |
| 60 °C                  | 4,31 ±0,21 <sup>b</sup>              | 4,96 ±0,14 <sup>c</sup>            | 0,22±0,06 <sup>ab</sup>            |
| 80 °C                  | 4,08 ±0,10 <sup>c</sup>              | 5,43 ±0,16 <sup>b</sup>            | 0,23±0,04 <sup>ab</sup>            |
| 100 °C                 | 2,84 ±0,04 <sup>d</sup>              | 5,82 ±0,20 <sup>a</sup>            | 0,25 ± 0,01 <sup>a</sup>           |

#### ➤ Effet sur le 6- gingerol

La quantité de 6-gingérol enregistrée diminue progressivement en augmentant la température de séchage. Comme le montre le tableau V, la valeur du 6-gingérol est passée d'une valeur maximale de 4,96 ±0,17 mg/ g dans la poudre obtenue à 40 °C à 4,31 ±0,21 mg/ g dans celle obtenue à 60 °C, cette teneur diminue davantage pour atteindre 4,08 ±0,10 mg/ g dans la poudre obtenue à 80 °C pour atteindre enfin la valeur minimale de 2,84 mg/ g

dans la poudre obtenue à 100 °C. Nos résultats sont en accord avec ceux de Bhattarai et al. (2001) et Li et al. (2016).

Les gingérols sont des molécules thermiquement labiles en raison de la présence d'un groupe  $\beta$ -hydroxy keto dans leur structures (Jung et al., 2017). Au cours du processus du séchage, les températures élevées, favorisent leur dégradation, par conséquent la transformation des gingérols (6-gingérol, 8-gingérol et 10-gingérol) en shogaols (6-shogaol, 8-shogaol et 10-shogaol) (Puengphian et Sirichote, 2008 ; Huang et al., 2011 ; Ghasemzadeh et al., 2018). En outre, il convient de noter que différentes études sur des poudres de gingembre ont rapporté des teneurs différentes en 6-gingérol. An et al. (2016) ont rapporté une valeur inférieure (2,50 mg/ g) dans la poudre obtenue à 60 °C comparée au résultat obtenu dans la présente étude, tandis que Li et al. (2016) ont rapporté une teneur plus élevée (5,7 mg/ g) dans les poudres obtenues à 40 °C.



**Figure 21** : Chromatogrammes HPLC (280 nm) des échantillons obtenus à différentes températures de séchage (40°, 60°, 80°, 100°C) montrant les trois composés, 6-Gingerol, 6-shogaol et zingerone.

Tous ces résultats, malgré leur divergence, montrent que plus la température de séchage était élevée, plus la diminution des gingérols était rapide, ce qui confirme la sensibilité du 6-gingérol aux températures élevées ce qui entraînent leur dégradation (Ghasemzadeh et al., 2018).

➤ **Effet sur le 6-shogaol**

En effet les composés phénoliques du groupe shogaols, sont une forme déshydratée des gingérols. Le 6-shogaol a été identifié et quantifié dans la présente étude. Les résultats obtenus sont  $4,88 \pm 0,18$  ;  $4,96 \pm 0,14$  ;  $5,43 \pm 0,16$  et  $5,82 \text{ mg /g} \pm 0,20$  pour les poudres obtenues aux températures 40° C, 60° C, 80° C et 100 °C, respectivement. Le séchage opéré à des températures supérieures à 60 °C a entraîné une augmentation significative du composé, ou nous avons enregistré la teneur la plus élevée à 100 °C (Tableau V). En effet, Huang et al. (2011) et Ghasemzadeh et al. (2018) ont signalé que le séchage à haute température a engendré la conversion du 6- gingerol en 6-shogaol. De plus, Li et al. (2016), Cheng et al. (2011) et Idris et al. (2019) ont rapporté une tendance similaire où la température de séchage élevée a induit une diminution du taux de 6- gingerol conduisant ainsi à la formation du 6-shogaol, ce qui mène à conclure que le processus de transformation des gingérols en shogaols dépend de la température et de la durée de séchage.

➤ **Effet sur la Zingerone**

Comme les shogaols, la zingerone (4- (4-hydroxy-3-méthoxyphényl) -2-butanone) est un autre composé absent dans le gingembre frais, mais qui est généré lors du traitement des rhizomes à haute température (Zhang et al., 2012 ; Bilal et al., 2015).

La teneur en zingerone enregistrée était positivement liée à la température du séchage (Tableau V). Le séchage à 100 °C a induit une teneur significativement plus élevée en zingerone (0,25 mg/ g) par rapport à celle obtenue à 40 °C (0,20 mg/ g) alors qu'aux températures 60° et 80 °C les valeurs obtenues sont relativement proches et non



significatives ( $p > 0,05$ ) elles étaient de l'ordre de  $0,22 \pm 0,06$  et  $23 \pm 0,04$  mg/ g, respectivement. Les résultats obtenus dans la présente étude sont similaires à ceux rapportés par Li et al. (2016).

## **II.4. Les teneurs en caroténoïdes**

### **II.4.1. Les caroténoïdes totaux**

Les résultats (tableau VI) ont montré des différences significatives ( $P < 0,05$ ) dans les teneurs en caroténoïdes dans les différentes poudres de gingembre avec une incidence inverse à la température de séchage. La teneur en caroténoïdes la plus élevée était de l'ordre de  $9,26 \pm 0,092$  Eq.β.C /100 g de MS enregistrée dans l'échantillon séché à 40 °C. Cette teneur diminue progressivement avec l'augmentation de la température de séchage pour obtenir les teneurs de  $6,90 \pm 0,132$  et  $5,78 \pm 0,092$  Eq.β.C /100 g de MS pour les poudres obtenues à 60 °C et 80 °C, respectivement pour enfin atteindre une concentration minimale de  $3,06 \pm 0,134$  Eq.β.C /100 g de MS dans l'échantillon obtenu à 100 °C. D'après les résultats obtenus et selon Rodriguez-Amaya et Kimura (2004) ; Renard et al. (2014) et Wani et al. (2020), les caroténoïdes sont des molécules très sensibles qui se dégradent principalement par des réactions d'oxydation. Ces dernières sont stimulées par la chaleur, la lumière, l'oxygène, l'acidité, et la présence des métaux. Dans la matrice alimentaire naturelle, leur stabilité est accrue, étant protégés par leur encapsulation dans les cellules végétales, la déstructuration de la matrice au cours des procédés de transformation, en particulier les traitements thermiques à haute température, peuvent affecter leur intégrité. En comparaison avec les valeurs obtenues dans la présente étude, Gopalan et al. (2004) et Sangwan et al. (2014) ont rapporté de très faibles concentrations allant de 0,68 à 0,81 et 0,92 Eq.β.C /100 g de MS dans des poudres de gingembre obtenues avec les différentes méthodes de séchage (l'ombre, solaire, l'étuve et micro-ondes). Les différences dans les concentrations de caroténoïdes obtenus peuvent être liées en plus des facteurs déjà cités, à la variété du

gingembre utilisé (Rai et al., 1999), le mode de séchage appliqué ainsi qu'à la méthode d'analyse utilisée pour la détermination des caroténoïdes.

#### II.4.2. Identification et détermination du $\beta$ -carotène par HPLC

Le  $\beta$ -carotène a été identifié et quantifié par HPLC

Les résultats obtenus à différentes températures sont présentés dans le tableau VI.

**Tableau VI** : Effet de la température de séchage sur la teneur en caroténoïdes en  $\beta$ - carotène.

| Température de séchage | Caroténoïdes totaux<br>(Mg Eq. $\beta$ .C/ 100g de matière sèche) | $\beta$ -carotène<br>(Mg Eq. $\beta$ .C/ 100g de matière sèche) |
|------------------------|---|---|
| 40 °C                  | 9,26 $\pm$ 0,092 <sup>a</sup>                                     | 2,56 $\pm$ 0,23 <sup>a</sup>                                    |
| 60 °C                  | 6,90 $\pm$ 0,132 <sup>b</sup>                                     | 2,36 $\pm$ 0,42 <sup>ab</sup>                                   |
| 80 °C                  | 5,78 $\pm$ 0,092 <sup>c</sup>                                     | 2,02 $\pm$ 0,81 <sup>ab</sup>                                   |
| 100 °C                 | 3,06 $\pm$ 0,134 <sup>d</sup>                                     | 1,79 $\pm$ 0,52 <sup>b</sup>                                    |

Les teneurs en  $\beta$ -carotène obtenus sont inversement liées à la température de séchage appliquée. La poudre de gingembre séchée à 40 °C présente la plus haute concentration en  $\beta$ -carotène (2,56 mg Eq.  $\beta$ .C/ 100 g MS), cette valeur diminue progressivement avec la température de séchage ou l'on obtient 2,36 $\pm$ 0,42 et 2,02 $\pm$ 0,81 mg Eq. $\beta$ .C /100 g de MS dans les poudres obtenues à 60° C et 80 °C, respectivement pour atteindre la valeur la plus basse (1,79 mg Eq.  $\beta$ .C/ 100g MS) à 100 °C. Les résultats de l'analyse chromatographique (HPLC) confirment ceux obtenus par simple dosage spectral (caroténoïdes totaux, tableau VI). Ils sont également en accord avec ceux de Georgé et al. (2011) et Lu et al. (2018) qui ont souligné aussi la relation inverse entre la teneur en  $\beta$ -carotène et certains facteurs qui contribuent à sa dégradation à savoir :

- ⇒ Le traitement thermique à haute température ;
- ⇒ La sensibilité à la lumière ;
- ⇒ Les conditions et la durée de stockage.

Ces facteurs peuvent provoquer l'isomérisation et l'oxydation du  $\beta$ -carotène, suivis d'un clivage en raison de sa structure insaturée. Selon le modèle classique suivant :

- 1- Isomérisation d'une ou plusieurs doubles liaisons de la chaîne hydrocarbonée du E caroténoïde et formation de Z-caroténoïdes ;
- 2- Oxydation de la double liaison Z en époxyde et éventuellement
- 3- Clivage oxydant de la fonction époxyde pour donner des produits de coupure possédant des fonctions aldéhyde ou cétone de longueur de chaîne variable. Les plus longs pouvant à leur tour être clivés et oxydés pour former les apo-caroténoïdes qui sont plus courts (Renard et al. 2014).

## II.5. Activité antioxydante des extraits éthanoliques au radical DPPH°

Les résultats de l'activité antioxydante des extraits éthanoliques au radical DPPH° ont été illustrés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau VII** : Effet de la température de séchage sur l'activité antioxydante.

| Température du séchage | % Inhibition DPPH              |
|------------------------|--------------------------------|
| 40 °C                  | 73,47 $\pm$ 0,376              |
| 60 °C                  | 74,95 $\pm$ 0,512 <sup>c</sup> |
| 80 °C                  | 77,04 $\pm$ 0,256 <sup>b</sup> |
| 100 °C                 | 78,23 $\pm$ 0,246 <sup>a</sup> |

Les résultats montrent que le pourcentage d'inhibition du radical DPPH° par les extraits, éthanoliques du gingembre, augmente avec la température du séchage, l'inhibition la plus élevée qui est de l'ordre de 78,23%  $\pm$  0,246 est observée dans l'échantillon séché à 100 °C, cette valeur diminue dans les poudres séchées à 80 °C ou nous avons enregistré un pourcentage de 77,23%  $\pm$  0,256, cette valeur diminue davantage pour atteindre 74,95%  $\pm$

0,512 dans les poudres obtenues à 60 °C pour enfin atteindre la valeur minimale de  $73,47\% \pm 0,376$  dans les poudres séchées à 40 °C.

L'activité antioxydante est fortement liée à la teneur en composés phénolique et en flavonoïdes (Idris et al., 2019). Ces derniers sont des antioxydants potentiels et des capteurs de radicaux libres ; d'où l'importance de l'établissement d'une corrélation entre l'activité antioxydante et les composés phénoliques (Kumar et al., 2008 ; An et al., 2016). Les résultats obtenus montrent une forte corrélation entre les TP et les TF et l'activité antioxydante et la température du séchage ou l'on enregistre l'activité la plus élevée dans l'échantillon contenant la forte teneur en TP et TF (poudre obtenue à 100 °C). Ces résultats sont accord avec ceux rapportés dans la littérature, en effet, Praven et al. (2007) et Hasna et Afidah (2009) ont rapporté des taux élevés en PT et en FT avec une capacité élevée de piégeage des radicaux libres.

De plus, une corrélation positive et significative ( $p < 0,01$ ) est constatée entre les pourcentages d'inhibition du radical DPPH et le contenu en PT ( $r = 0,89$ ), tandis que cette corrélation devient négative avec les FT ( $r = -0,94$ ) confirmant les résultats de Velioglu et al. (1998), Shirin et al. (2010) et Ghasemzadeh et al. (2018). Une tendance similaire a été constatée concernant la corrélation (inverse significative ( $P < 0,01$ ) entre le pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH et la teneur en caroténoïdes totaux (CT) ( $r = -0,96$ ). Ces résultats sont logiques et attendus car les teneurs en CT ont tendance à diminuer significativement avec l'augmentation des températures de séchage (Tableau VI). En conséquence, ces résultats peuvent suggérer que l'activité antioxydante élevée des extraits de gingembre peut être attribuée aux composés phénoliques, notamment les flavonoïdes et à d'autres composés contenus dans les extraits éthanoliques qui n'ont pas été analysés dans la présente étude.

## II.6. Etude analytique de la qualité du gingembre

La composition du gingembre est très complexe. On distingue en majeure partie l'amidon (environ 60%), l'oléorésine, les lipides, les huiles essentielles, les protéines, les vitamines, et les minéraux (Bruneton, 2009).

Les résultats de l'effet des températures de séchage sur l'humidité des poudres obtenues, des protéines totales, des protéines solubles dans l'eau et des matières grasses déterminées par des techniques rapides (voir section II.1.9) sont présentés dans le tableau VIII.

**Tableau VIII:** Composition chimique des extraits obtenus aux différentes températures.

| Température de séchage | Pourcentage D'humidité (%) | Protéines totales (%)   | Protéine soluble dans l'eau (%) | Matières grasses (%)    |
|------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 40 °C                  | 8,21 ± 0,09 <sup>a</sup>   | 8,37±0,13 <sup>a</sup>  | 1,17 ±0,03 <sup>a</sup>         | 1,20±0,06 <sup>a</sup>  |
| 60 °C                  | 7,28 ± 0,09 <sup>b</sup>   | 8,45±0,11 <sup>b</sup>  | 1,15 ±0,02 <sup>a</sup>         | 1,24 ±0,07 <sup>b</sup> |
| 80 °C                  | 6,46 ±0,16 <sup>c</sup>    | 8,77±0,14 <sup>c</sup>  | 1,12±0,01 <sup>b</sup>          | 1,29±0,05 <sup>bc</sup> |
| 100 °C                 | 4,58 ± 0,10 <sup>d</sup>   | 9,08 ±0,12 <sup>c</sup> | 1,07 ± 0,03 <sup>c</sup>        | 1,38 ±0,10 <sup>c</sup> |

### II.6.1. Teneurs en humidité

Les résultats de la teneur en humidité finale, obtenue par la technique rapide en utilisant SMART-6<sup>TM</sup>Analyzer, des poudres de gingembre obtenues aux différentes températures ont révélé une relation inversement proportionnelle entre l'humidité et la température de séchage. La teneur en humidité est significativement ( $P < 0,05$ ) réduite de 8,21 ± 0,09% à 7,28 ± 0,09%, puis 6,46 ± 0,16%), pour atteindre sa valeur minimale de 4,58 ± 0,10% pour les températures de séchage suivantes : 40°, 60°, 80° et 100 °C, respectivement. Dans ce contexte, Shirin et al. (2010) et Sangwan et al. (2014) ont obtenu des taux d'humidité de 6,67% et 15,02% avec des poudres séchées à 40 °C et 50 °C, respectivement.

### **II.6.2. Teneur en Matière grasse**

Contrairement à la tendance obtenue pour la teneur en humidité, les teneurs en matière grasse étaient positivement liées aux températures de séchage où nous avons enregistré la plus faible teneur ( $1,20 \pm 0,06\%$ ) à  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cette valeur tend à augmenter de  $1,24 \pm 0,07\%$  à la température de séchage  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  puis à  $1,29 \pm 0,05\%$  à la température de séchage  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pour atteindre sa valeur maximale qui est de  $1,38 \pm 0,10\%$  à  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . L'augmentation de la teneur en matière grasse pourrait être attribuée à l'augmentation des solides totaux dans les poudres de gingembre résultant de l'augmentation des températures de séchage. Il convient de noter que la différence entre la valeur maximale et minimale était très faible ( $0,18\%$ ), mais elle demeure significative ( $p < 0,05$ ). Les travaux de Oforma et al. (2019) ont rapporté des teneurs plus élevées en matière grasse dans les échantillons séchés à l'air libre ( $5,10\%$ ), alors que Shirin et al. (2010) et Odebumni et al (2010) ont rapporté des teneurs de  $3,72$  et  $5,62$  dans ceux séchés à  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivement, tandis que Sangwan et al. (2014) ont obtenu des valeurs plus faibles ( $0,78\%$ ) à  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

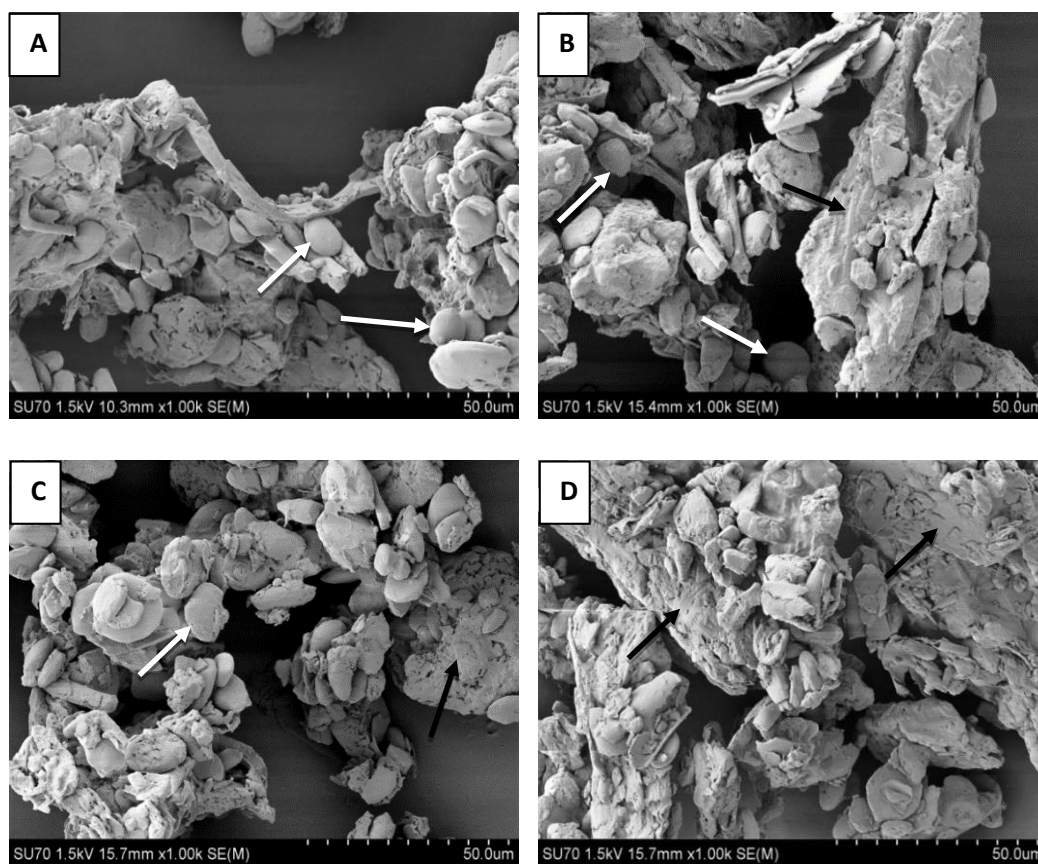
### **II.6.3. Détermination des protéines totales**

Concernant les teneurs en protéines, les résultats obtenus montrent clairement l'effet positif et significatif ( $p < 0,05$ ) des températures élevées sur la teneur en protéines totales (TPr%). La poudre de gingembre obtenue à  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  présentait la valeur la plus élevée ( $9,08\%$ ), Cette dernière a significativement diminué en fonction des températures pour atteindre  $8,37 \pm 0,13\%$  dans la poudre obtenue à  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (tableau VIII). En comparaison avec d'autres études effectuées sur les rhizomes de gingembre séché à l'étuve, Shirin et al. (2010) ont rapporté  $5,09\%$  dans celle séchée à  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tandis que Sangwan et al. (2014) ont trouvé une teneur de  $5,70\%$  de protéines dans la poudre de gingembre séché à  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ces valeurs demeurent inférieures à celles obtenues dans la présente étude à l'exception de la valeur

rapportée par Ajayi et al. (2017) qui ont trouvé une valeur relativement élevée (11,8%) à la même température (60 °C).

## II.7. Etude morphologique des différentes poudres de gingembre avec le microscope électronique

L'effet de la température de séchage sur la microstructure des différentes poudres obtenues est illustré dans la figure 22. Les examens microscopiques montrent des changements prononcés au niveau de la structure des tissus du parenchyme qui formait la matrice principale (pointés avec des flèches noires) et les grains d'amidon (pointés avec des flèches blanches) dispersés sur le parenchyme.



**Figure 22 :** Photomicrographies des poudres de gingembre (1000x) obtenues à différentes températures de séchage. (A) 40 °C; (B) 60 °C; (C) 80 °C and (D) 100 °C Les flèches noires indiquent les agrégats de tissu de parenchyme de gingembre et les flèches blanches indiquent les grains d'amidon. La barre d'échelle est de 50 µm.

Les micrographies de l'observation des différentes poudres de gingembre sous microscope électronique montrent clairement la destruction de la paroi cellulaire du parenchyme et l'absence des cellules huileuses dans toutes les poudres de gingembre par la chaleur à la suite du processus du séchage. Ces observations ont été aussi rapportées par Azian et al. (2004), An et al. (2016) et Izli et al. (2019).

Les figures 22 A et 22 B, qui représentent les poudres de gingembre séchées à 40 °C et 60 °C, montrent que de nombreux grains d'amidon de forme bien conservée sont dispersés sur toute la matrice du parenchyme et sont beaucoup plus abondants comparativement à la structure de la poudre de gingembre obtenue à 80 (Figure 22. C) où nous remarquons que les grains d'amidon sont affectés par le séchage mais restent à un degré moindre comparés aux poudres obtenues à 100 °C (Figure 22 D), où nous remarquons une destruction totale des grains d'amidon et une structure plus dense, avec un degré prononcé de gélatinisation des constituants cellulaires par rapport à ceux des poudres de gingembre obtenues après séchage à des températures inférieures. Ces observations sont en accord avec celles de Huang et al. (2011) qui ont rapporté une dégradation importante de l'amidon de gingembre séché à 80°C. Dans le même contexte, An et al. (2016) ont rapporté que le séchage rapide à température élevée rend l'eau interne difficile à éliminer, ce qui conduit à un degré important de gélatinisation des structures cellulaires des grains d'amidon.



## II.8. Enrichissement de l'huile d'olive

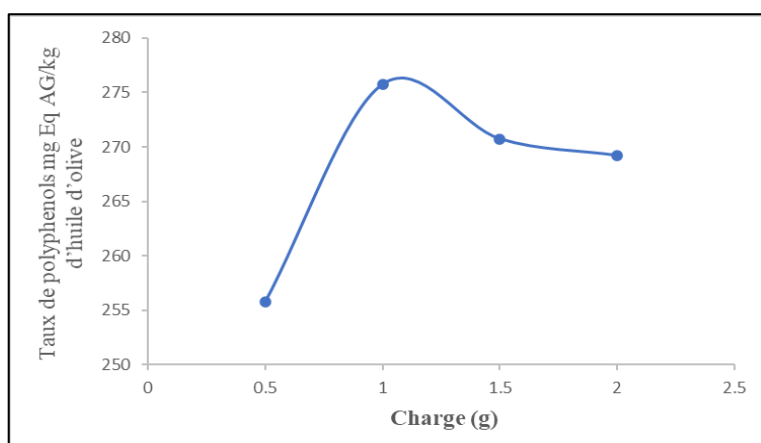
L'intérêt de compléter les huiles végétales en antioxydants naturels à partir de matrice végétale, est réalisé dans le but d'inhiber leurs oxydations et de préserver leurs qualités nutritionnelles et sensorielles.

### II.8.1. Paramètres de qualité de l'huile

#### II.8.1.1. Etude préliminaire

L'effet de la charge de la poudre de gingembre, utilisée pour l'enrichissement de l'huile d'olive vierge, sur le taux de PT est représenté dans la figure 23.

Les résultats montrent clairement que la plus forte concentration obtenue en PT ( $275,75 \pm 1,24$  mg eq AG/ kg d'huile d'olive), a été obtenue pour un rapport de 1g/50 ml poudre de gingembre/Huile d'olive. Ce ratio a été appliqué dans toute les expériences.



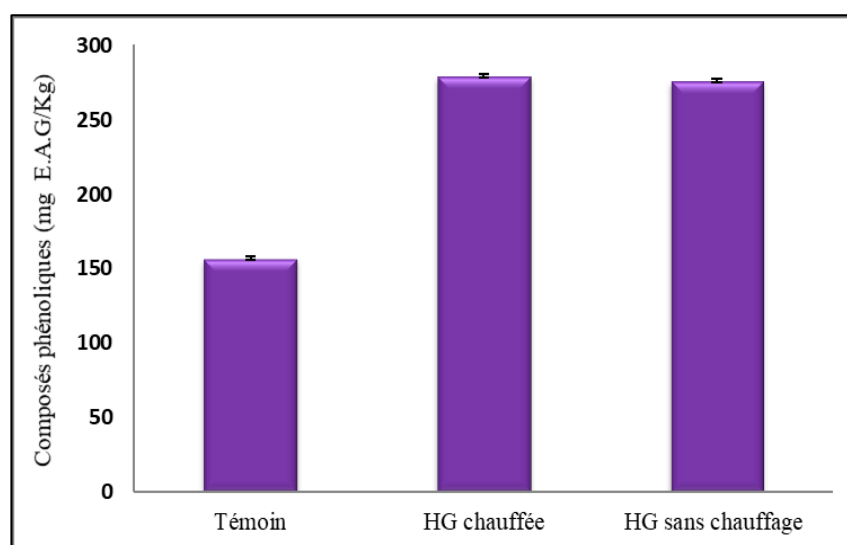
**Figure 23** : Effet de la charge sur les taux de polyphénols totaux.

#### II.8.1.2. Dosage des composés phénoliques

Les huiles d'olives sont connues pour leur teneur élevée en composés phénoliques. Ces composés contribuent à leur saveur globale en leur fournissant des effets antioxydants qui sont en grande partie responsables de leur stabilité durant la période de conservation et leur chauffage (Brenes, 2002 ; Krichene et al., 2015). Les teneurs en polyphénols totaux des différents extraits d'huiles d'olive : l'huile d'olive non traitée (HNT)

ou l'huile témoin et les huiles d'olive traitées (HTG avec chauffage, HTG sans chauffage), exprimées en milligrammes d'équivalent d'acide gallique/Kg (mg EAG/kg) sont représentés dans la figure 24.

D'après les résultats obtenus et illustrés dans la figure 24, nous remarquons une augmentation significative ( $p < 0,05$ ) dans la teneur en polyphénols dans l'échantillon brute et dans les échantillons traités et entre les échantillons traités qui ont subi un chauffage et les échantillons traités sans chauffage.

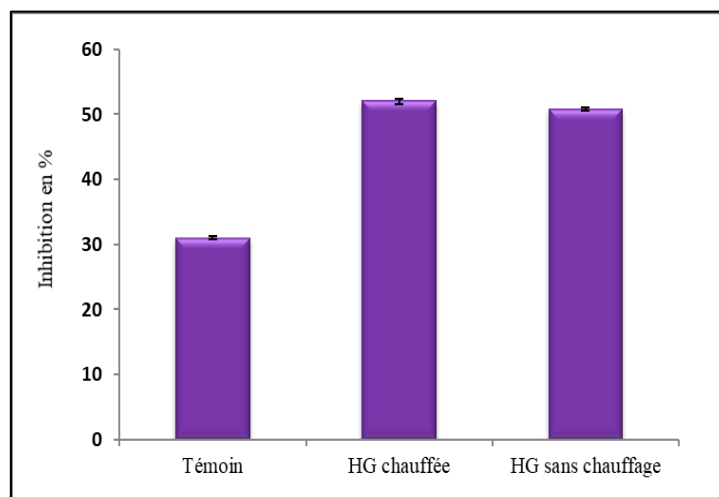


**Figure 24** : Comparaison des teneurs en polyphénols totaux des différentes huiles d'olives (huile olive, huile d'olive+gingembre chauffé et huile d'olive +gingembre sans chauffage).

Les valeurs obtenues sont passées de  $156,873 \pm 1,135$  mg Eq AG/kg dans les huiles non traitées à  $275,755 \pm 1,135$  mg Eq AG/kg d'huile d'olive pour les huiles traitées au gingembre sans chauffage et à  $279,209 \pm 1,090$  mg Eq AG/kg d'huile d'olive pour les huiles traitées au gingembre et chauffées. Cette augmentation est importante, elle est probablement dû au relargage des composées phénoliques du gingembre vers l'huile d'olive en plus de la richesse de ce dernier en composés phénoliques.

### II.8.1.3. Activité antioxydante des huiles d'olive enrichies

Les capacités de réduction du radical DPPH° induite par les antioxydants des extraits d'huile d'olive sont exprimées en pourcentage d'inhibition et les résultats sont illustrés dans la figure 25. Les résultats obtenus indiquent que les extraits éthanoliques des huiles étudiées ont présenté des capacités de piégeage du radical DPPH qui diffère d'une huile à une autre. Les échantillons enrichis de gingembre ont présenté un pourcentage d'inhibition élevé de l'ordre de  $51,973 \pm 0,373\%$  et  $50,740 \pm 0,246\%$  pour HTC et HGS, respectivement. Ces valeurs sont nettement supérieures à celle des huiles non traitées qui est de  $30,987 \pm 0,246\%$ .



**Figure 25 :** Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH° par les extraits de l'huile d'olive.

Nos résultats confirment les données rapportées par Ghasemzadeh et al. (2011), Semwal et al. (2015) et Tohma et al. (2017), qui ont rapporté l'existence d'une corrélation positive entre l'activité antioxydante et la teneur en composés phénoliques totaux dans le rhizome de gingembre.

A la lumière des résultats obtenus, l'huile enrichie et chauffée détient le pouvoir antioxydant le plus élevé, suivie de l'huile enrichie non chauffée. Cette augmentation s'explique probablement par l'augmentation de la teneur en polyphénols des échantillons des huiles

aromatisées due à leur enrichissement par le gingembre, qui est son tour très riche en antioxydants à savoir ceux du groupe shogaol (qui sont abondants dans les poudres du gingembre).

## II.8.2. Paramètres de qualité de l'huile enrichie

### II.8.2.1. Acidité et indice de peroxyde

Les résultats obtenus de l'examen de l'acidité libre et l'indice de peroxyde des huiles étudiées sont illustrés dans les figures 26 et 27

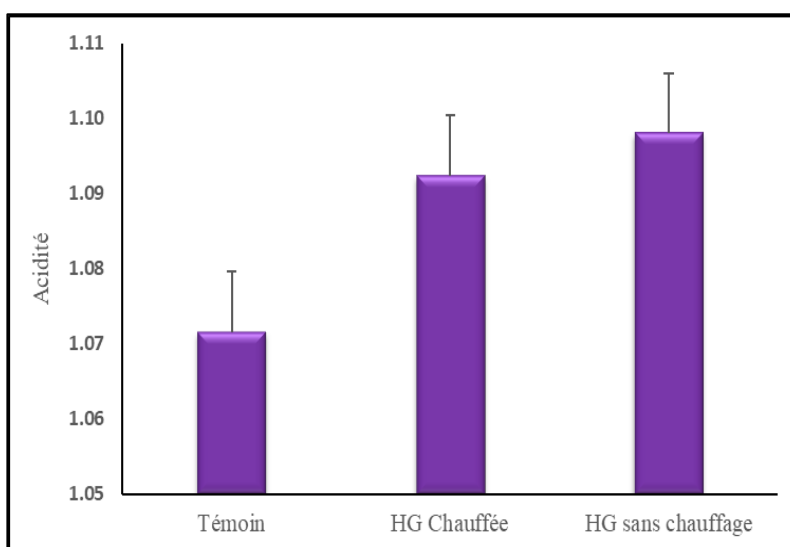


Figure 26 : L'acidité des huiles d'olive étudiées.

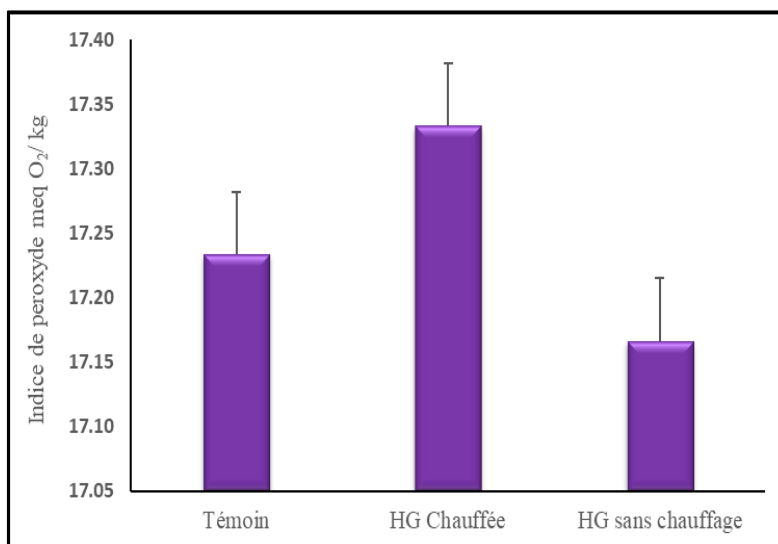


Figure 27 : L'indice de peroxyde des huiles d'olive étudiées.

D'après les résultats obtenus, les valeurs de l'acidité libre et de l'indice de peroxyde dans les trois différentes huiles (huile témoin et les huiles d'olives enrichies par des poudres de gingembre) sont faibles. L'acidité libre et l'indice de peroxyde sont légèrement supérieurs dans les huiles enrichies mais cette différence reste non significative. Les valeurs obtenues restent inférieures à la limite établie par la norme commerciale du Conseil Oléicole International pour les huiles d'olives vierge (acidité libre  $\leq 2,0$  et l'indice de peroxyde  $\leq 20$ ). Ces résultats permettent de conclure que l'enrichissement de l'huile d'olive à base de poudre de gingembre a relativement aidé à améliorer la composition de cette dernière en antioxydants. De plus, l'huile enrichie présente une activité antioxydante vis-à-vis du radical DPPH° plus importante que celle de l'huile témoin sans altérer l'acidité et l'indice de peroxyde des huiles enrichies. Par conséquent, l'utilisation d'extrait de gingembre pour l'enrichissement dans les aliments est recommandée comme antioxydant naturel des lipides (Rehmna et al., 2003 ; Mao et al., 2019).

# *Conclusion*

## Conclusion et perspectives

L'objectif principal de ce travail de thèse était d'explorer l'effet du séchage conventionnel du gingembre (*Zingiber officinale*) à différentes températures sur les composés bioactifs à savoir les composés phénoliques (y compris les flavonoïdes), les caroténoïdes, l'activité antioxydante ainsi que l'influence de ce séchage sur la microstructure des particules de gingembre dans le but d'optimiser la température du séchage pour préserver au mieux les nutriments (protéines, lipides) et les antioxydants (composés phénoliques et caroténoïdes).

Le second objectif était d'enrichir un aliment de large consommation, qui est l'huile d'olive, par des poudres de gingembre dans le but d'améliorer ses propriétés antioxydantes et nutritionnelles et de préserver sa stabilité durant la cuisson (traitement thermique).

Les résultats obtenus dans cette étude, permettent de tirer les conclusions suivantes :

- ⇒ Les courbes de séchage présentent une allure décroissante, plus la température du séchage augmente plus la vitesse du séchage augmente ;
- ⇒ Le taux des polyphénols totaux et des flavonoïdes dans les échantillons de gingembre augmente avec la température de séchage pour atteindre leur maximum (24,154 mg EAG/ g et 10,564 mg EAG / g respectivement) à 100 °C ;
- ⇒ Les échantillons obtenus à haute température ont montré une activité anti radicalaire maximale ;
- ⇒ Les concentrations en caroténoïdes décroissent dans les poudres obtenus à haute température ;
- ⇒ L'analyse par chromatographie Liquide Haute Performance. (HPLC) a révélé des réductions dans les concentrations de 6-gingérol et du  $\beta$ -carotène alors que les teneurs en zingérone et en 6 shogaol ont augmenté significativement ;

- ⇒ L'analyse de la microstructure par microscope électronique a montré une altération avancée avec gélatinisation au niveau de la microstructure des poudres séchées à haute température ;
- ⇒ Concernant l'analyse nutritionnelle, la poudre de gingembre séchée à 100 °C a montré une quantité significativement plus élevée en protéines (9,08%) et en matières grasses (1,38%) par rapport à celles séchées à des températures plus basses ;
- ⇒ L'évaluation des paramètres physico-chimiques de l'huile d'olive enrichie par la poudre de gingembre (séchée à 100°C) a révélé une augmentation significative en polyphénols et une activité antioxydante plus enlevée, en revanche pas changements significatifs détecté au niveau de l'acidité et de l'indice de peroxyde.

Au terme de ce travail, les résultats obtenus nous ont permis de conclure que le séchage du gingembre à haute température diminue bien sûr la durée de séchage et contribue à la préservation d'un maximum de composés bioactifs en effectuant un séchage rapide. L'enrichissement de l'huile d'olive vierge en antioxydants issue de cette poudre a relativement amélioré sa composition en antioxydants (augmentation des polyphénols totaux, des flavonoïdes).

De plus, l'huile enrichie a présenté une activité anti radicalaire plus importante que l'huile témoin, sans affecter son acidité et son indice de peroxyde.

L'ensemble des résultats obtenus au cours de cette étude, constitue une première étape dans le domaine du séchage des matrices alimentaires ainsi que dans l'enrichissement de l'huile d'olive, il serait intéressant d'étayer ce travail par :

- Explorer d'autres méthodes de séchage pour un maximum de préservation de composés bioactifs du gingembre ;
- Explorer d'autres méthodes utilisées pour l'extraction des composés phénoliques (ex : par ultrason, ....) ;



- Essayer d'autres solvants utilisés pour l'extraction pour un rendement maximum en substances bioactifs ;
- Effectuer un enrichissement à base de d'extraits de gingembre après identification des composés bioactifs contenus dans l'extrait.
- Evaluer également la biodisponibilité aussi bien des composés endogènes que exogènes des substances bioactives de l'huile enrichie ;
- Explorer la résistance de l'huile d'olive enrichie à l'oxydation ;
- Etude de l'évolution de l'huile enrichie au cours du stockage.
- Effectuer des études cliniques quant aux effets thérapeutiques et nutritionnelles de l'huile enrichie.

# *Références Bibliographiques*

## Références bibliographiques

Abaza, L., Msallem, M., Daoud, D., Zarrouk, M. 2002. Caractérisation des huiles de sept variétés d'olivier tunisiennes. *Oléagineux Corps gras Lipide*, 3, 174-179.

Ajayi, O. A., Ola, O. O., Akinwunmi, O. O. 2017. Effect of drying method on nutritional composition, sensory and antimicrobial properties of Ginger (*Zingiber officinale*). *International Food Research Journal*, 24(2), 614-620.

Akhani, S. P., Vishwakarma, S. L., Goyal, R. K. 2004. Anti-diabetic activity of *Zingiber officinale* in streptozotocin-induced type I diabetic rats. *The Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 56, 101-105.

Akinyemi, A. J., Thome, G. R., Morsch, V. M., Bottari, N. B., Baldissarelli, J., de Oliveira, L. S., Goularte, J. F., Bello-Klein, A., Oboh, G., Chitolina Schetinger, M. R. 2016. Dietary supplementation of ginger and turmeric rhizomes modulates platelets ectonucleotidase and adenosine deaminase activities in normotensive and hypertensive rats. *Phytotherapy Research*, 30, 1156-1163.

Akinyemi, A. J., Thome, G.R., Morsch, V. M., Stefanello, N., Goularte, J. F., Bello-Klein, A., Oboh, G., Chitolina Schetinger, M. R. 2015. Effect of dietary supplementation of ginger and turmeric rhizomes on angiotensin-1 converting enzyme (ACE) and arginase activities in L-NAME induced hypertensive rats. *Journal of Functional Foods*, 17, 792-801.

Alu, M. H., Rababah, T., Alhamad, M.N. 2017. Application of Olive Oil as Nutraceutical and Pharmaceutical Food: Composition and Biofunctional Constituents and Their Roles in Functionality, Therapeutic, and Nutraceutical Properties; Elsevier Inc. Amsterdam, The Netherlands, ISBN 9780128114124.

Ambra, R., Natella, F., Lucchetti, S., Forte, V., Pastore, G. 2017.  $\alpha$ -Tocopherol,  $\beta$ -carotene, Lutein, Squalene and Secoiridoids in Seven Monocultivar Italian Extra-virgin Olive Oils. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 68, 538-545.

An, K., Zhao, D., Wang, Z., Wu, J., Xu, Y., Xiao, G. 2016. Comparison of different drying method on chinese ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) : changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food Chemistry*, 197, 1292-1300. Andrikopoulos, N. K., Hassapidou, M. N., Manoukas, A. G. 1989. The tocopherol content of Greek olive oils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 46, 503-509.

Anne Butin, A. 2017. Le gingembre : de son utilisation ancestrale à un avenir prometteur. Sciences pharmaceutiques. hal-01932085.

AOAC. 2000. Official methods of analysis. Arlington, USA, Association of Official Analytical Chemists.

- Aparicio-Soto, M., Sánchez-Hidalgo, M., Cárdeno, A., González-Benjumea, A., Fernández-Bolaños, J. G., Alarcón-de-la-Lastra, C. 2017. Dietary hydroxytyrosol and hydroxytyrosyl acetate supplementation prevent pristane-induced systemic lupus erythematosus in mice. *Journal of Functional Foods*, 29, 84-92.
- Aprifel, 2016. (Agence pour la recherche et l'information en fruits et légumes). Fiche nutritionnelle gingembre (En ligne) disponible sur : <http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-gingembre,51.html>.
- Arablou, T., Aryaeian, N., Valizadeh, M., Sharifi, F., Hosseini, A. M. 2014. The effect of ginger consumption on glycemic status, lipid profile and some inflammatory markers in patients with type 2 diabetes mellitus. *International Journal of Food Science and Nutrition* 65(4), 515-520.
- Argoff, C. E. 2013. Topical analgesics in the management of acute and chronic pain. *Mayo Clinic Proceedings*, 88(2), 195-205.
- Arkoub-djermoune, L., Boulekbache-makhlouf, L., Zeghichi-Hamri, S., Bellili, S., Boukhalfa, F., Madani, K. 2016. Influence of the thermal processing on the physicochemical properties and the antioxidant activity of a solanaceae vegetable: eggplant. *Journal of Food Quality*, 39, 181-191.
- Arslan, D., Ozcan, M. M. 2011. Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L). Change in drying behaviour, Colour and Antioxidant Content. *Food and Bioprocess Processing*, 89, 504-513.
- Arthur, D. 1996. Ginger. *International Journal of Aromatherapy*, 7(4), 21-23.
- Attilio, C., Cimato, A. 2011. Visible and near-infrared absorption spectroscopy by an integrating sphere and optical fibers for quantifying and discriminating the adulteration of extra virgin olive oil from Tuscany. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 399, 1315-1324.
- Awan, U. A., Ali, S., Shahnawaz, A. M., Shafique, I., Zafar, A., Khan, M. A. R., Ghous, T., Saleem, A., Andleeb, S. 2017. Biological activities of *Allium sativum* and *Zingiber officinale* extracts on clinically important bacterial pathogens, their phytochemical and FT-IR spectroscopic analysis. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 30, 729-745.
- Ayurveda en France. Utilisation du gingembre en Ayurveda. (En ligne) disponible sur : <http://www.ayurveda-france.org/praticiens/Legingembre>.
- Azian, M. N., Mustafa Kamal, A. A., Azlina, M. N. 2004. Changes of cell structure in ginger during processing. *Journal of Food Engineering*, 62, 359-364.
- Baker, C. G. J. (Ed.). 1997. *Industrial Drying of Food*. Blackie Academic and Professional/Chapman and Hall, London, 7-30.

- Baiano A., Terracone C., Gambacorta G., La Notte E. 2009. Changes in quality indices, phenolic content and antioxidant activity of flavored olive oils during storage. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 86,1083-1092.
- Banji, D., Banji, O. J. F., Pavani, B., Kumar, Ch. K., Annamalai, A. R. 2014. Zingerone regulates intestinal transit, attenuates behavioural and oxidative perturbations in irritable bowel disorder in rats. *Phytomedicine*, 21(4), 423-429.
- Bartley, A., Jacobs, A. 2000. Effects of drying on flavour compounds in Australian grown ginger *Zingiber officinale*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 209-215.
- Beauchamp, G. K., Keast, R. S. J., Morel, D., Lin, J., Pika J., Han, Q., Lee, C.H., Smith, A.B, Breslin, P.A. 2005. Ibuprofen-like activity in extra-virgin olive oil. *Nature*, 437(7055), 45-46.
- Beconcini, D., Felice, F., Fabiano, A., Sarmento, B., Zambito, Y., Di Stefano, R., 2020. Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of Cherry Extract: Nanosystems-Based Strategies to Improve Endothelial Function and Intestinal Absorption. *Foods* (Basel, Switzerland). 9, 10.3390/foods9020207.
- Bendini, A., Valli, E., Barbieri, S., Toschi, G. T. 2012. Sensory Analysis of Virgin Olive Oil. 109-130. in book: *Olive Oil Constituents, Quality, Health Properties and Bioconversions* doi:10.5772/29650.
- Benlemlih, M., Ghanam, J. (2012). *Polyphénols d'huile d'olive trésor sante macro-pietteur* ed., Embourg (Belgique), 128p.
- Benmeziane, A., Boulekbache-Makhlouf, L., Mapelli-Brahm, P., Khaled Khodjaa, N., Remini, H., Madani, K., Meléndez-Martínez, A. J. 2018. Extraction of carotenoids from cantaloupe waste and determination of its mineral composition. *Food Research International*, 111, 391-398.
- Berrougui, H., Ikhlef, S., Khalil, A. 2015. Extra Virgin Olive Oil Polyphenols Promote Cholesterol Efflux and Improve HDL Functionality. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*: 208062. Published online 2015 Oct 1. doi: 10.1155/2015/208062.
- Berset, C., Cuvelier, M. E. 1996. Méthodes d'évaluation du degré d'oxydation des lipides et de mesure du pouvoir antioxydant. *Science des Aliments*, 16, 219-45.
- Balachandran, S., Kentish, S. E., Mawson, R. 2006. The effects of both preparation method and season on the supercritical extraction of ginger. *Separation and Purification Technology*, 48(2), 94-105.
- Barbarisi, C., Di Stasio, M., Cara, F., Nazzaro, M., Siano, F., Coppola, R., Volpe, F., Mattia, A., Maria, G. 2014. Shelf-life of Extra Virgin Olive Oils from Southern Italy. *Current Nutrition & Food Science*, 10, 234-240.

- Bhandari, U., Kanojia, R., Pillai, K. K. 2005. Effect of ethanolic extract of *Zingiber officinale* on dyslipidaemia in diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 97, 227-30.
- Bhattarai, S., Tran, V. H., Duke, C. C. 2001. The stability of gingerol and shoagoal in aqueous solution. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 10, 1658-1663.
- Bilal, A., Rehman, M. U., Amin, I., Arif, A., Rasool, S., Bhat, S. A., Afzal, I., Hussain, I., Bilal, S., Mir, M. R. 2015. A Review on Pharmacological Properties of Zingerone (4-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone) Hindawi Publishing Corporation. *The Scientific World Journal* <http://dx.doi.org/10.1155/2015/816364>.
- Bonazzi, C., Bimbenet, J. J. 2003. Séchage des produits alimentaires Principes. Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire, 2 (F3000), F3000. 3001-F3000. 3014.
- Bonechi, C., Donati, A., Tamasi, G., Pardini, A., Rostom, H., Leone, G., Rossi, C. 2019. Chemical characterization of liposomes containing nutraceutical compounds: Tyrosol, hydroxytyrosol and oleuropein. *Biophysical chemistry*, 246, 25-34.
- Borges T. H., Pereira, J. A., Cabrera-Vique, C., Lara, L., Oliveira A.F., Seiquer, I. 2017. Characterization of Arbequina virgin olive oils produced in different regions of Brazil and Spain: Physicochemical properties, oxidative stability and fatty acid profile. *Food Chemistry*, 215, 454-462.
- Boskou, D. 1996. Storage and packing in Boskou D. (Ed.). *Olive Oil: Chemistry and Technology*, 91-95. AOCS Press, Champaign, Illinois.
- Boskou, D. 2006. *Olive Oil, Chemistry and Technology*. AOACS Press, Champaign.
- Boskou, D., Blekas, G., Tsimidou, M. 2006. *Olive Oil Composition*, 2nd ed. AOCS Press: Urbana, IL, USA, 2006; ISBN 9780128043547.
- Boskou, D., Clodoveo, M. 2020. Olive Oil: Processing Characterization, and Health Benefits. *Foods*. 9, 1612. [10.3390/foods9111612](https://doi.org/10.3390/foods9111612).
- Botineau, M. 2010. *Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs*. Lavoisier Ed.
- Braga, M. E., Moreschi, S., Meireles, M. A. 2006. Effects of supercritical fluid extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. starches. *Carbohydrate Polymers*, 63, 340-346.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Brenes, M., Garcia, A., Rios, J., Garcia P., Garrido, A. 2002. Use of 1-acetoxypinoresinol to authenticate Picual olive oils. *International Journal of Food Science and Technology*. 37, 615-625.

Breton et Bervillé, 2012. Histoire de l'olivier. In L'Olivier l'arbre des temps. Eds C Breton & A. Bervillé, Quae, Versailles.

Breton, C., Terral, J. F., Pinatel, C., Médail, F., Bonhomme, F., Bervillé, A. 2009. The origins of the domestication of the olive tree. *Comptes Rendus Biologies*, 332(12), 1059-1064.

Breton, C., Tersac, M., Bervillé, A. 2006. Genetic diversity and gene flow between the wild olive (oleaster, *Olea europaea* L.) and the olive: several Plio-Pleistocene refuge zones in the Mediterranean basin suggested by simple sequence repeats analysis. *Journal of Biogeography*, 33(11), 1916-1928.

Bruneton, J. 2009. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 4ème édition. Lavoisier Ed.

Bruneton, J. Pharmacognosie. Phytochimie. Plantes Médicinales. 2001, Paris : Technique Documentation-Lavoisier.

Buil-Cosiales, P., Irimia, P., Berrade, N., Garcia-Arellano, A., Riverol, M., Murie-Fernández M., Martínez-Vila, E., Martínez-González, M. A., Serrano-Martínez, M. 2008. Carotid intima-media thickness is inversely associated with olive oil consumption. *Atherosclerosis*, 196, 742-748.

Bullon, P., Quiles, J. L., Morillo, J. M., Rubini, C., Goteri, G., Granados-Principal, S., Battino, M., Ramirez-Tortosa, M., 2009. Gingival Vascular Damage in Atherosclerotic Rabbits: Hydroxytyrosol and Squalene Benefits. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 2327-2331.

Casas, R., Sacanella, E., Urpí-Sardà, M., Chiva-Blanch, G., Ros, E., Martínez-González, M. A., Covas, M. I., Rosa, M. A., Lamuela, R., Salas-Salvadó, J., Fiol, M., Arós, F., Estruch, R. 2014. The effects of the Mediterranean diet on biomarkers of vascular wall inflammation and plaque vulnerability in subjects with high risk for cardiovascular disease. A randomized trial. *PLoS ONE*, 12, 9(6).doi: 10.1371/journal.pone.0100084.

Cayuela Sánchez, J. A., Moreda, W., García, J. M., 2013. Rapid determination of olive oil oxidative stability and its major quality parameters using vis/NIR transmittance spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 8056-8062.

Cercaci, L., Passalacqua, G., Poerio, A., Rodriguez-Estrada, M. T., Lercker, G. 2007. Composition of total sterols (4-desmethyl-sterols) in extravirgin olive oils obtained with different extraction technologies and their influence on the oil oxidative stability. *Food Chemistry*, 102(1), 66-76.

Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., Wong, L. F., Lianto, F. S., Wong, S. K., Lim, K. K., Joe, C. E., Lim, T. Y. 2008. Antioxidant and tyrosinase inhibition properties of leaves and rhizomes of ginger species. *Food Chemistry*, 109 (3), 477-483.

Cheftel, J. C., Cheftel, H. 1992. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Paris : Lavoisier, (Tec et doc).

Chen, X. C., Barett, B., Kwekkeboom, L. 2012. Efficacy of Oral Ginger (*Zingiber officinale*) for Dysmenorrhea: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016, <https://doi.org/10.1155/2016/6295737>.

Cheng, X. L., Liu, Q., Peng, Y. B., Qi, L. W., Li, P. 2011. Steamed ginger (*Zingiber officinale*): Changed profile and increased anticancer potential. *Food Chemistry*, 129, 1785-1792

Chimi, H., Sadik, A., Tutour, L. B., Rahmani, M. 1988. Contribution à L'étude comparative des pouvoirs antioxydants dans l'huile d'olive du tyrosol, de l'hydroxytyrosol, de l'acide caféique, de l'oleuropéine et du BHT. *Revue française des corps gras*, 35(8-9), 339-344

Choe, E., Min, D. B. 2006. Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation Comprehensive *Food Science and Food Safety*, 5, 169-186.

Chouleur, F., Gilson, C., Salell, M. 2009. Le gingembre : Des bienfaits prouvés. DUT Génie Biologique Option Diététique, 32 p

Clodoveo, M., Delcuratolo, D., Gomes, T., Colelli, G. 2007. Effect of different temperatures and storage atmospheres on Coratina olive oil quality. *Food Chemistry*, 102(3), 571-576.

Confucius. Les entretiens de Confucius. FV Ed. 2016. 140p.

Conseil Oléicole International. COI. 2015. Norme Commercial applicable aux l'huiles d'olive et aux l'huiles de grignons d'olives conseil oléicole international, COI/T.15/NC n°3/ Rév. 8 février 2015.

Conseil Oléicole International. COI. 2019. Conseil Oléicole International, 2019. Norme commerciale applicable aux huiles d'olives de grignons d'olive. COI/T.15/NC N° 3/Rév.14.

Conseil Oléicole International. COI. 2003. Classification des huiles d'olives. Normes internationales applicables à l'huile d'olive et à l'huile de grignon d'olive.

Conseil Oléicole International. COI 2001. Norme commerciale applicable à l'huile d'olive et à l'huile de grignons d'olive– COI/T.20/Doc.n°.19/Rév.1.

Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., Mattei, J. 2018. The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. *Frontiers in Nutrition*, 5, doi: 10.3389/fnut.2018.00087.

Council of the European Union. Council Regulation (EC) No 1234/2007 of 22 October 2007 establishing a common organisation of agricultural markets and on specific provisions for



certain agricultural products (Single CMO Regulation). *Official Journal of European communities*. Union, 299, 1-14.

Crozier, A., Jaganath, I. B., Clifford, M. N. 2009. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. *Natural product reports*, 26, 1001-1043.

Cuvelier, M. E., Maillard, M. N. 2012. Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. *Oilseeds and fat Crops and Lipids*, 19(2), 125-132.

De Las Heras, N., Valero-Munoz, M., Martin-Fernandez, B., Ballesteros, S., Lopez-Farre, A., Ruiz-Roso, B., Lahera, V. 2017. Molecular factors involved in the hypolipidemic-and insulin-sensitizing effects of a ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extract in rats fed a high-fat diet. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 42, 209-215.

Deiana, M., Rosa, A., Cao, C. F., Pirisi, F. M., Bandino, G., Dessi, M. A. 2002. Novel approach to study oxidative stability of extra virgin oils: Importance of  $\alpha$ -tocopherol concentration. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 50, 4342-4346.

Del Álamo, R. M. R., Fregapane, G., Aranda, F., Gómez-Alonso, S., Salvador, M. D. 2004. Sterol and alcohol composition of Cornicabra virgin olive oil: the campesterol content exceeds the upper limit of 4% established by EU regulations. *Food Chemistry*, 84, 533-537.

Del Río, L. A., López-Huertas, E. 2016. ROS Generation in Peroxisomes and its Role in Cell Signaling, *Plant and Cell Physiology*, 57(7), 1364-1376.

Deshmukh, A. W., Varma. M. N., Kyoo yoo, C., Wasewar, K. L. 2014. Investigation of Solar Drying of Ginger (*Zingiber officinale*): Emprical Modelling, Drying Characteristics, and Quality Study. *Chinese Journal of Engineering*. doi.org/10.1155/2014/305823.

Di Meo, F., Lemaure, V., Cornil, J., Lazzaroni, R., Duroux, J. L., Olivier, Y., Trouillas, P. 2013. Free radical scavenging by natural polyphenols: Atom versus electron transfer. *Journal of Physical Chemistry A*, 10, 2082-2092.

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F.J., Zhang, W., Lorenzo, J. M. A 2019. Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*, 8, 429. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>.

Du, H., Li, L., Bennett, D., Guo, Y., Key, T. J., Bian, Z., Sherliker, P., Gao, H., Chen, Y., Yang, L., Chen, J., Wang, S., Du, R., Su, H. Collins, R., Peto, R., Chen, Z. 2016. Fresh fruit consumption and major cardiovascular disease in China. *The New England Journal of Medicine*, 374, 1332-1343.

Duncan, S. E., Chang, H., H. 2012. Implications of Light Energy on Food Quality and Packaging Selection. *Advances in Food and Nutrition Research*, 67, 25-73.

Dupont, F., Guignard, J.L., 2007. Botanique. *Les familles de plantes*. Elsevier / Masson. 16ème édition. P 336.

Efthimiou, P., Kukar, M. 2010. Complementary and alternative medicine use in rheumatoid arthritis: proposed mechanism of action and efficacy of commonly used modalities. *Rheumatology International* 30, 571-586.

El Riachy, M., Hamade, A., Ayoub, R., Dandachi, F., Chalak, L., 2019. Oil Content, Fatty Acid and Phenolic Profiles of Some Olive Varieties Growing in Lebanon. *Frontiers in Nutrition* 6, <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00094>.

Escop (European Scientific Cooperative on Phytotherapy) 2009. The Scientific Foundation for Herbal Medicinal Products. 2ème Edition. Thieme.

Estruch, R., Ros, E., Salas-Salvadó, J., Covas, M.-I., Corella, D., Arós, F., Gómez-Gracia, E., Ruiz-Gutiérrez, V., Fiol, M., Lapetra, J., Lamuela-Raventós RM, Serra-Majem L, Pintó, X., Basora, J., Muñoz, M.A., Sorlí, J.V., Martínez, J.A., Martínez-González, M. A. 2018. Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet supplemented with extra-virgin olive oil or nuts. *New England Journal of Medicine*, 378, 1-14.

Euring, A. 2017. Le gingembre. Plante médicinale et plante à épices, sur: [abergol.e-monsite.com/medias/files/ginger1.doc](http://abergol.e-monsite.com/medias/files/ginger1.doc).

Eyenga, M., Youovop, J. F., Ngondi, J. L., Sindic, M. 2020. Temperature dependent studies on nutritional, total polyphenols, flavonoids content and antioxidant activities of *Aframomum citratum* (C.Pereira) K.Schum and *Tetrapleura tetraptera* (Schum. & Thonn.) Taub. fruits», *BASE* 24(4), 207-220.

Ezez, D., Tefera, M. 2020. Effects of Solvents on Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Ginger Extracts, *Research Square*, [doi.org/10.21203/rs.3.rs-30897/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-30897/v1)].

Faivre, C. l., Lejeune, R., Staub, H., Goetz, P. 2006. Zingiber officinale Roscoe. Phytothérapie *Monographie médicalisée*, 4, 99-102.

FAO, 2019. Food and Agriculture Organisation of the United Nation. <https://www.fao.org/faostat/en>.

Farhoosh, R. 2021. Initiation and propagation kinetics of inhibited lipid peroxidation. *Sciences reports* 11, 6864 <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86341-9>.

Fedeli, E. 1977. Lipids of olives. *Progress in the chemistry of fats and other lipids*, 15 (1), 57-74.

Fée d'Or, 2021. <https://www.gingembre.ch/le-gingembre-a-travers-l-histoire>.

- Fernández del Río, L., Gutiérrez-Casado, E., Varela-López, A., José. M., Villalba, J., M. 2016. Olive Oil and the Hallmarks of Aging. *Molecules*, 21(2), 163. <https://doi.org/10.3390/molecules21020163>.
- Fezai, M., Laura Senovilla, L., Jemaà, M., Ben-Attia, M. 2013. Analgesic, Anti-Inflammatory and Anticancer Activities of Extra Virgin Olive Oil. *Journal of Lipids*, 2013, <https://doi.org/10.1155/2013/129736>.
- Fito, M., Cladellas, M., de la Torre, R., Marti, J., Alcantara, M., Pujadas-Bastardes, M., Marrugat, J., Bruguera, J., Lopez-Sabater, M. C., Vila, J., Covas, M. I. 2005. Antioxidant effect of virgin olive oil in patients with stable coronary heart disease: A randomized, crossover, controlled, clinical trial. *Atherosclerosis*, 181, 149-158. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2004.12.036.
- Foscolou, A., Critselis, E., Panagiotakos, D. 2018. Olive oil consumption and human health: A narrative review. *Maturitas*, 118, 60-66. doi: 10.1016/j.maturitas.2018.10.013.
- Frankel, E. N. 1996. Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality. *Food Chemistry*, 57, 51-55.
- Gandul-Rojas, B., Roca, M., Gallardo-Guerrero, L. 2016. Chlorophylls and carotenoids in food products from olive tree. In *Products from Olive Tree; Books on Demand: McFarland, WI, USA*.
- García-Martínez, O., De Luna-Bertos, E., Ramos-Torrecillas, J., Ruiz, C., Milia, E., Lorenzo, M. L., Jimenez, B., Sánchez-Ortiz, A., Rivas, A. 2016. Phenolic Compounds in Extra Virgin Olive Oil Stimulate Human Osteoblastic Cell Proliferation. *PLoS One*, 11 (3) doi: 10.1371/journal.pone.0150045. PMID: 26930190; PMCID: PMC4773235.
- George, E.S., Marshall, S., Mayr, H. L., Trakman, G.L., Tatucu-Babet, O.A., Lassemillante, A. C. M., Bramley, A., Reddy, A. J., Forsyth, A., Tierney, A. C., Thomas, C. J., Itsiopoulos, C., Marx, W. 2011. The effect of high-polyphenol extra virgin olive oil on cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis. *Food Science and Nutrition*, 59(2), 772-779.
- Georgé, S., Tourniaire, F., Gautier, H., Goupy, P., Rock, E. 2011. Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. *Food Chemistry*, 124, 1603-1611.
- Gernot Katzer's Spice Pages. Ginger (*Zingiber officinale* Rosc). (En ligne) disponible sur : [http://gernot-katzers-spice-pages.com/engl/Zing\\_off.html](http://gernot-katzers-spice-pages.com/engl/Zing_off.html).
- Ghafoor, K., Al Juhaimi, F., Özcan, M. M., Elfadıl, N., Babiker, E. E., Ahmed, I. A. M. 2020. Total phenolics, total carotenoids, individual phenolics and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale*) rhizome as affected by drying methods, LWT, *Food science and Technology*, 126, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109354>.

Ghanbari, R., Anwar, F., Alkharfy, K. M., Gilani, A. H., Saari, N. 2012. Valuable nutrients and functional bioactives in different parts of olive (*Olea europaea* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 3291-3340.

Gharby, S., Harhar, H., Matthäus, B., Bouzoubaa, Z., Charrouf, Z. 2015. The chemical parameters and oxidative resistance to heat treatment of refined and extra virgin Moroccan Picholine olive oil. *Journal of Taibah University for Science*, 10 (1), 100-106.

Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. E., Rahma, A. 2011. Effects of solvent type on phenolics and flavonoids content and antioxidant activities in two varieties of young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extracts, *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(7), 1147-1154.

Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z., Rahmat, A. 2010. Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Molecules*, 15(6), 4324-4333.

Ghasemzadeh, A., Jaafar, H., Baghdadi, A., Tayebi-Meigooni, A. 2018. Formation of 6-, 8- and 10-Shogaol in Ginger through Application of Different Drying Methods: Altered Antioxidant and Antimicrobial Activity. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 23(7), <https://doi.org/10.3390/molecules23071646>

Gigon, F. 2012. Le gingembre, une épice contre la nausée. *Phytothérapie*, 10. 87-91.

Giovanelli, L. 2012. Beneficial effects of olive oil phenols on the aging process. Experimental evidence and possible mechanisms of action. *Nutrition and Aging*, 1, 207-223.

Gomez-Alonso, S., Salvador, M. D., Fregapane, G. 2004. Evolution of the oxydation process in olive oil triacylglycerol under accelerated storage conditions (40-60°C). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 81, 177-184.

Gong, F., Li, F., Zhang, W., Li, J., Zhang, Z. 2012. Effect of crude flavonoids from tatary buckwheat on alloxan induced oxidative stress in mice. *Bangladesh Journal Pharmacological*, 7, 124-130.

Gopalan, C., Ramasastri, B.V., Balasubramaniam, S. C. 2004. Nutritive value of Indian foods. National Institute of Nutrition, Indian Council of Medical Research, *Hyderabad*, 48-50.

Gopi, S., Karthik, A. C., Shintu, J. 2016. Study on temperature dependent conversion of active components of ginger. *International Journal of Pharma Sciences*, 6(1), 1344-1347.

Gordon, M. H. 2003. FATS| Classification, Editor(s): Benjamin Caballero, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second Edition), Academic Press, 2287-2292.

Gorzynik-Debicka, M. P., Przychodzen, F., Cappello, F., Kuban-Jankowska, A., Marino-Gammazza, A., Knap, N., Wozniak, M., Gorska-Ponikowska, M. 2018, Potential health

benefits of olive oil and plant polyphenols. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(3). doi: 10.3390/ijms19030686. PMID: 29495598.

Grigoriadou, D., A. Androulaki, A., Psomiadou, E., M.Z. Tsimidou, M. Z. Solid phase extraction in the analysis of squalene and tocopherols in olive oil, *Food Chemistry*, 105(2), 675-680.

Grosso, G., Buscemi, S., Galvano, F., Mistretta, A., Marventano, S., La Vela, V., Drago, F., Gangi, S., Basile, F., Biondi, A. 2013. Mediterranean diet and cancer: Epidemiological evidence and mechanism of selected aspects. *BMC Surgery*, 13(2), doi: 10.1186/1471-2482-13-S2-S14. Epub 2013.

Grzanna, R., Lindmark, L., Frondoza, C. G. 2005. Ginger-an herbal medicinal product with broad anti-inflammatory actions. *Journal of Medicinal Food*, 8(2), 125-132.

Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Chaïbi, W., Zarrouk, M. 2009. Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 119(3), 257-263.

Gumusay, A. K., Borazan, A. A., Ercal, N., Demirkol, O. 2015. Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and Ginger. *Food Chemistry*, 173, 156-162.

Gutierrez, F, Jimenez, B., Ruiz, A., Albi, M. A. 1999. Effect of olive ripeness on the oxidative stability of virgin olive oil extracted from the varieties picual and hojiblanca and on the different components involved. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 121-127.

Hamdi, H. K., Castellon, R. 2005. Oleuropein, a non-toxic olive iridoid, is an anti-tumor agent and cytoskeleton disruptor. *Biochemistry and Biophysics Research*, 334, 769-778.

Hasna, O., Afidah, A. 2009. Antioxidant activity and phenolic content of *Paederia foetida* and *Syzygium aqueum*. *Molecules*, 14, 970-978.

Hatzakis, E., Koidis, A., Boskoi D., Dais, P. 2008. Determination of Phospholipids in Olive Oil by <sup>31</sup>P NMR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (15), 6232-6240.

Hsieh, R. J., Kinsella, J. E. 1989. Oxidation of Polyunsaturated Fatty Acids: Mechanisms, Products, and Inhibition with Emphasis on Fish. *Advances in Food and Nutrition Research*, 33, 233-341.

<http://www.ayurveda-france.org/praticiens/Legingembre>.

hortitecnews, 2018. <http://www.hortitecnews.com/lolivier-taxonomie-botanique-et-ecologie>.

Huang, T. C., Chung, C. C., Wang, H. Y., Law, C. L., Chen, H. H. 2011. Formation of 6-shogaol of ginger oil under different drying conditions. *Drying Technology*, 29, 248-255.

- Idris, N. A., Yasin, H. Y., Usman, A. 2019. Voltammetric and spectroscopic determination of polyphenols and antioxidants in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) *Heliyon* 5 (5) doi: 10.1016/j.heliyon. 2019.e01717.
- Imani, H., Tabibi, H., Najafi, I., Atabak, S., Hedayati, M., Rahmani, L. 2015. Effects of ginger on serum glucose, advanced glycation end products, and inflammation in peritoneal dialysis patients. *Journal of Nutrition and Intermediary Metabolism*, 31 (5), 703-707.
- Impellizzeri, D., Esposito, E., Mazzon E., Paterniti, I., Di Paola, R., Bramanti, P., Morittu, V.M., Procopio, A., Britti, D., Cuzzocrea, S. 2011. The effects of oleuropein aglycone, an olive oil compound, in a mouse model of carrageenan-induced pleurisy. *Clinical Nutrition*, 30(4), 533-540.
- India mart, 2021. <https://www.indiamart.com/proddetail/ginger-oil-15436198848.html>.
- Iserin, P. 2001. Identification, préparations, soins. Larousse : Encyclopédie des plantes médicinales. 2 ed. France: Larousse vuef.
- Izli, N., Polat, A. 2019. Effect of convective and microwave methods on drying characteristics, color, rehydration and microstructure properties of ginger. *Food Science and Technology*, 39 (3). <https://doi.org/10.1590/fst.04518>.
- Jacotot, B. 1993. L'huile d'olive, de la gastronomie à la santé. Editions Artulen.
- Jaiswal, S. G., Satyanarayan, N. 2018. Contribution of Agricultural Produce Spice Zingiber Officinale to a Sustainable Food System: Green Extraction and Stability Study of Antioxidant Compounds" *Open Agriculture*, 3(1), 326-338.
- Jayashree, E., Visvanathan, R., John Zachariah, T. 2014. Quality of dry ginger (*Zingiber officinale*) by different drying methods. *Journal of Food Science. and Technology*, 51, 3190-3198.
- Jelled, A., Fernandes, A., Barros, L., Chahdoura, H., Achour, L., Ferreira, I. C. F. R., Ben Cheikha, H. 2015. Chemical and antioxidant parameters of dried forms of ginger rhizomes. *Industrial Crops and Products*, 77, 30-35.
- Jia, Z., Tang, M., Wu, J. 1999. Determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555-559.
- Jiang, H., Solyom, A., M. Timmermann, B. N., Gang, D. R. 2005. Characterization of gingerol-related compounds in ginger rhizome (*Zingiber Officinale* Rosco) by high-performance liquid chromatography/ electrospray ionizations mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 19, 2957-2964.



- Jimenez-Lopez, C., Carpena, M., Lourenço-Lopes, C., Gallardo-Gomez, M., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., Prieto, M. A., Simal-Gandara, J. 2020. Bioactive Compounds and Quality of Extra Virgin Olive Oil. *Foods*. 9(8),1014. doi: 10.3390/foods9081014. PMID: 32731481; PMCID: PMC7466243.
- Jin, X., Shi, C., Chang, Y. Y., Toshihiko, Y., Sacks, E. J. 2017. Determination of Leaf Water Content by Visible and Near-Infrared Spectrometry and Multivariate Calibration in *Miscanthus* *Frontiers in Plant Science* doi:10.3389/fpls.2017.00721.
- Jung, M. Y., Lee, M. K., Park, H. J., Oh, E. B., Shin, J. Y., Park, J. S., Jung, S. Y., Oh, J. H., Choi, D. S. 2018. Heat-induced conversion of gingerols to shogaols in ginger as affected by heat type (dry or moist heat), sample type (fresh or dried), temperature and time. *Food science and biotechnology*, 27(3), 687-693.
- Kabaran, S. 2018. Olive Oil: Antioxidant Compounds and Their Potential Effects over Health. *Functional Foods*. doi: 10.5772/intechopen.80993.
- Kabuto, H., Yamanushi, T. T. 2011. Effects of zingerone [4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone] and eugenol [2-methoxy-4-(2-propenyl) phenol] on the pathological progress in the 6-hydroxydopamine-induced parkinson's disease mouse model. *Neurochemical Research*, 36(12), 2244-2249.
- Kahkonen, M., Hopia, A., Vuorela, H., Rauha, J., Pihlaja, K., Kujala, T., Heinonen, M. 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 47, 3954-3962.
- Karathanos, V.T., Belessiotis, V.G. 1997. Sun and artificial air-drying kinetics of some agricultural products. *Journal of Food Engineering*, 31, 35-46.
- Kaufman, S, 2016. *Zingiber officinale* (ginger). *Invasive Species Compendium*. Wallingford, UK: CABI. DOI:10.1079/ISC.57537.20203482903.
- Kaymak-Ertekin, F. 2002. Drying and rehydrating kinetic of green and red peppers. *Journal of Food Science*, 67, 168-175.
- Kessous, C. 1987. *Biochimie structurale*, édition OPU. 9-42.
- Khosravani, M., Azarbayjani, M. A., Abolmaesoomi, M., Yusof, A., Abidin, N. Z., Rahimi, E., Feizolah, F., Akbari, M., Seyedjalali, S., Dehghan, F. 2016. Ginger extract and aerobic training reduces lipid profile in high-fat fed diet rats. *European Review for Medical and Pharmacological sciences*, 20, 1617-1622.
- Kim, Y., Hong, C. S., Lee, S. W., Nam, J.H., Kim, B. J. 2016. Effects of ginger and its pungent constituents on transient receptor potential channels. *International Journal of Molecular Medicine*, 38, 1905-1914, doi.org/10.3892/ijmm.2016.2791.

- Kiokias, S., Varzakas, T., Oreopoulou, V. 2008. In Vitro Activity of Vitamins, Flavonoids, and Natural Phenolic Antioxidants Against the Oxidative Deterioration of Oil-Based Systems. *food science and nutrition*. 48, 78-93.
- Kiritsakis, A., Kanavouras, A., Kiritsakis, K. 2002. Chemical analysis, quality control and packaging issues of olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9-10), 628-638.
- Kiritsakis, A., Markakis, P. 1987. Olive oil. *Advanced Food Research*, 31, 453-482.
- Kouka, A., Tsakiri, G., Tzortzi, D., Dimopoulou, S., Sarikaki, G., Stathopoulos, P., Veskoukis A. S., Halabalaki, M., Skaltsounis A. L., Kouretas, D. 2019. The Polyphenolic Composition of Extracts Derived from Different Greek Extra Virgin Olive Oils Is Correlated with Their Antioxidant Potency. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, | <https://doi.org/10.1155/2019/1870965>.
- Krichene, D., Salvador, M., D., Fregapane, G. 2015. Stability of Virgin Olive Oil Phenolic Compounds during Long-Term Storage (18 Months) at Temperatures of 5-50 °C. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 5, 63 (30), 6779-6786.
- Kris-Etherton, P. M., Pearson, T. A., Wan, Y., Hargrove, R. L., Moriarty, K., Fishell, V., Etherton, T. D. 1999. High-monounsaturated fatty acid diets lower both plasma cholesterol and triacylglycerol concentrations. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70(6), 1009-1015.
- Kubra, I. R., Rao, L. J. M. 2012. Microwave drying of ginger (*Zingiber Officinale Rosco*) and its effect on polyphenolic content and antioxidant activity. *International journal of Food Science and Technology*, 479(11), 2311-2317.
- Kumar, L., Chhibber, S., Harjai, K. 2014. Hepatoprotective effect of zingerone (4-(4hydroxy-3-methoxyphenyl) butan-2-one) in lipopolysaccharide induced liver injury mouse model through down regulation of inflammatory mediators. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 6(2), 308-314.
- Kumar, S., Kumar, D., Manjusha, K., Saroha, K., Singh, N., Vashishta, B. 2008. Antioxidant and free radical scavenging potential of Citrullus colocynthis (L.) Schrad. methanolic fruit extract. *Acta Pharmaceutica*, 58, 215-220.
- Labuza, T., Dugan, L. 1971. Kinetics of lipid oxidation in foods. CRC Critical Reviews. *Food Technology*, 2, 355-405. Lazzerini, C., Cifelli, M., Domenici, V. 2016. Pigments in extra-virgin olive oil: Authenticity and quality. In *Products from Olive Tree; Books on Demand: McFarland*, WI, USA.
- Lardbucket, 2012, <https://2012books.lardbucket.org/books/an-introduction-to-nutrition/s09-02-how-lipids-work.html>



- Lazzerini, C., Cifelli, M., Domenici, V. 2017. Pigments in extra virgin olive oils produced in different Mediterranean countries in 2014: Near UV-vis spectroscopy versus HPLC-DAD. *Food Science and Technology*, 84, 586-594.
- Lee, H. S., Seo, E. Y., Kang, N. E., Kim, W. K. 2008. [6]-Gingerol inhibits metastasis of MDA-MB-231 human breast cancer cells. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 19, 313-9.
- Lesage-Meessen, L., Navarro, D., Maunier, S., Sigoillot, J.-C., Lorquin, J., Delattre, M., Simon, J.-L., Asther, M., Labat, M. 2001. Simple phenolic content in olive oil residues as a function of extraction systems. *Food Chemistry*, 75, 501-507.
- Lete, I., Allué, J. 2016. The Effectiveness of Ginger in the Prevention of Nausea and Vomiting during Pregnancy and Chemotherapy. *Integrative medicine insights*, 11, 11-17. <https://doi.org/10.4137/IMI.S36273>.
- Li, F., Nitteranon, V., Tang, X., Liang, J., Zhang, G., Parkin, K. L., Hu, Q. 2012. In vitro antioxidant and anti-inflammatory activities of 1- dehydro-[6]-gingerdione 6-shogaol, 6-dehydroshogaol and hexahydrocurcumin. *Food Chemistry*, 135, 332-337.
- Li, X. Wang, S, 2018. Shelf Life of Extra Virgin Olive Oil and Its Prediction Models, *Journal of Food Quality*, 15 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/1639260>.
- Li, Y., Hong, Y., Han, Y., Wang, Y., Xia, L. 2016. Chemical characterization and antioxidants activities comparison in fresh, dried, stir-frying and carbonized ginger. *Journal of Chromatography B*, 1011, 223-232.
- Li, Y., Tran, V. H., Duke, C. C., Roufogalis, B. D. 2012. Preventive and Protective Properties of Zingiber officinale (Ginger) in Diabetes Mellitus, Diabetic Complications, and Associated Lipid and Other Metabolic Disorders: A Brief Review. *Evidence- Based Complementary and Alternative Medicine*, doi: 10.1155/2012/516870.
- Liu, Y., Liu, J., Zhang, Y. 2019. Research Progress on Chemical Constituents of Zingiber officinale Roscoe BioMed Research International <https://doi.org/10.1155/2019/5370823>.
- Liu, W. N., Shi, J., Fu, Y., Zhao, X. H. 2019. The Stability and Activity Changes of Apigenin and Luteolin in Human Cervical Cancer Hela Cells in Response to Heat Treatment and Fe<sup>2+</sup>/Cu<sup>2+</sup> Addition. *Foods*, 8(8), 346. <https://doi.org/10.3390/foods8080346>.
- Lkrik, A., Souidi, K., Martin, P. 2015. Effets des polyphénols extraits à partir des tourteaux et feuilles de l'olivier (Olea europaea L) sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive. *Journal national de la recherche en IUT*, 6, 25.
- López-Otín, C., Blasco, M. A. Partridge, L., Serrano, M., Kroemer, G. 2013. The Hallmarks of Aging. *Cell*, 153, (6), 1194-1217.

- Lozano-Grande, M. A., Gorinstein, S., Espitia-Rangel, E., Dávila-Ortiz, G., Martínez-Ayala, A. L. 2018. Plant Sources, Extraction Methods, and Uses of Squalene", *International Journal of Agronomy*, <https://doi.org/10.1155/2018/1829160>.
- Lu, Q., Peng, Y., Zhu, C., Siyi Pan, S. 2018. Effect of thermal treatment on carotenoids, flavonoids and ascorbic acid in juice of orange cv. Cara Cara. *Food Chemistry*, 265, 39-48.
- Lucci, P., Bertoz, V., Pacetti, D., Moret, S., Conte, L. 2020. Effect of the Refining Process on Total Hydroxytyrosol, Tyrosol, and Tocopherol Contents of Olive Oil. *Foods*, 9 (3), 292. <https://doi.org/10.3390/foods9030292>.
- Lukić, M., Lukić, I., Krapac, M., Sladonja, B., Piližota, V. 2013. Sterols and triterpene diols in olive oil as indicators of variety and degree of ripening. *Food chemistry*, 136 (1), 251-258.
- Mahboubi, M. 2019. Zingiber officinale Rosc. essential oil, a review on its composition and bioactivity. *Clinical Phytoscience*, 5. 10.1186/s40816-018-0097-4.
- Mahdi, H. J., Andayani, R., Aziz, I. 2013. Determination of Phylogenetic and Molecular Characteristics of Three Malaysian Ginger Cultivars (Zingiber officinale Roscoe) Using Microsatellite DNA. *Tropical Life Sciences Research*, 24(2), 65-76
- Malhotra S. and Singh AP, 2003. Medicinal properties of ginger (Zingiber officinale Rosc.). *Natural Product reliance* 2 (6): 296-301.
- Mani, V., Arivalagan, S., Siddique, A. I., Namasivayam, N. 2016. Antioxidant and anti-inflammatory role of zingerone in ethanol-induced hepatotoxicity. *Molecular and Cellular Biochemistry* 421, 169-181.
- Manju, V., N, Nalini, N. 2010. Effect of ginger on lipid peroxidation and antioxidant status in 1,2-dimethyl hydrazine induced experimental colon carcinogenesis. *Journal of Biochemical Technology*. 2, 161-167.
- Mao, Q. Q., Xu, X. Y., Cao, S. Y., Gan, R. Y., Corke, H., Beta, T., Li, H. B. 2019. Bioactive Compounds and Bioactivities of Ginger (Zingiber officinale Roscoe). *Foods (Basel, Switzerland)*, 8(6), 185. <https://doi.org/10.3390/foods8060185>.
- Mahmudati, N., Wahyono, P., Djunae, D. 2020. Antioxidant activity and total phenolic content of three varieties of Ginger (Zingiber officinale) in decoction and infusion extraction method. *Journal of Physics: Conference Series* 1567, doi:10.1088/1742-6596/1567/2/022028.
- Markhali, F. S. 2021. Effect of Processing on Phenolic Composition of Olive Oil Products and Olive Mill By-Products and Possibilities for Enhancement of Sustainable Processes. *Processes*, 9, 953, doi.org/10.3390/pr9060953.

- Martín, R., Hernández, M., Córdova, C., Nieto, M. 2012. Natural triterpenes modulate immune-inflammatory markers of experimental autoimmune encephalomyelitis: Therapeutic implications for multiple sclerosis. *British Journal of Pharmacology*, 166, 1708-1723.
- Marventano, S., Godos, J., Platania, A., Galvano, F., Mistretta, A., Grosso, G. 2018. Mediterranean diet adherence in the Mediterranean healthy eating, aging and lifestyle (MEAL) study cohort. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 69, 100-107.
- Massaro, M., Scoditti, E., Annunziata Carluccio, M., Calabriso, N., Santarpino, G., Verri, T., De Caterina, R. 2020. Effects of Olive Oil on Blood Pressure: Epidemiological, Clinical, and Mechanistic Evidence. *Nutrients*. 12(6), doi: 10.3390/nu12061548.
- Mendez, A. I., Falqué, E. 2007. Effect of storage time and container type on the quality of extra virgin olive oil. *Food control*, 18, 521-529.
- Menotti, A., Puddu, P. E. 2015. How the seven countries study contributed to the definition and development of the Mediterranean diet concept: A 50-year journey. *Nutrition Metabolism and Cardiovascular diseases*, doi: 10.1016/j.numecd.2014.12.001.
- Meutia, Z., Mauizah, H., Zalianda, R. 2018. Identification of Zingiberaceae as medicinal plants in Gunung Cut Village, Aceh Barat Daya, Indonesia. *Journal of Tropical Horticulture*. 1. 10.33089/jthort.v1i1.9.
- Mezhache, M., Henchiri, C., Martine L., Berdeaux O., Aouf, N., Juaneda, P. 2010. Contribution à l'étude de la fraction insaponifiable de trois huiles d'olive issues des variétés Guasto, Rougette et Blanquette plantées dans l'est algérien. *Oilseeds and fats, crops and Lipids*, 17 (5), doi.org/10.1051/ocl.2010.0330.
- Mignani, A. G., Ciaccheri, L., Mencaglia, A., Cimato, A. 2012. Optical Absorption Spectroscopy for Quality Assessment of Extra Virgin Olive Oil, doi:10.5772/30275.
- Mignani, A. G., Ciaccheri, L., Ottevaere, H., Thienpont, H., Conte, L., Marega, M., Cichelli, A., Attilio, C., Cimato, A. 2011. Visible and near-infrared absorption spectroscopy by an integrating sphere and optical fibers for quantifying and discriminating the adulteration of extra virgin olive oil from Tuscany. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 399, 1315-1324.
- Minghetti, P., Sosa, S., Cilurzo, F., Casiraghi, A., Alberti, E., Tubaro, A., Loggia, R. D., Montanari, L. 2007. Evaluation of the topical anti-inflammatory activity of ginger dry extracts from solution and plasters. *Planta Medica*, 73, 1525-1530.
- Miyoshi, N., Nakamura, Y., Ueda, Y., Abe, M., Ozawa, Y., Uchida, K., Osawa, T. 2003. Dietary ginger constituents galanals A and B are potent apoptosis inducers in human T lymphoma jurkat cells. *Cancer Letters*, 199, 113-119.

- Moon, Y., Lee, H., Lee, S. 2018. Inhibitory effects of three monoterpenes from ginger essential oil on growth and aflatoxin production of *Aspergillus flavus* and their gene regulation in aflatoxin biosynthesis. *Applied Biological Chemistry*, 61, 243-250.
- Molina-Garcia, L., Santos, C., Cunha, S., Casal, S., and Fernandes, J. 2017. Comparative fingerprint changes of toxic volatiles in low PUFA vegetable oils under deep-frying. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94, 271-284.
- Montealegre, C., Alegre, M., García-Ruiz, C. 2009. Traceability Markers to the Botanical Origin in Olive Oils. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58, 28-38.
- Morderet, F., Luchetti, F. 1997. L'huile d'olive vierge : un aliment de qualité sous haute surveillance. *Food Authenticity-Issues and Methodologies. Euroconférence La Baule*, 4-6.
- Mousavi, S., Mariotti, R., Stanzione, V., Pandolfi, S., Mastio, V., Baldoni, L., Cultrera, N. 2021. Evolution of Extra Virgin Olive Oil Quality under Different Storage Conditions. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(8), 1945. <https://doi.org/10.3390/foods10081945>.
- Mujumdar, A. S., Law, C. L. 2010. Drying Technology: Trends and Applications in Postharvest Processing. *Food Bioprocess Technology*, 3, 843-852.
- Murkovic M, Lechner S, Pietzka A, Bratacos M, Katzogiannos E. Analysis of minor components in olive oil. *Journal of Biochemical, biophysical and Biophyscal Methods*, 61(1-2), 155-60.
- Mukherjee, S., Mandal, N., Dey, A., Mondal, B. 2014. An approach towards optimization of the extraction of polyphenolic antioxidants from ginger (*Zingiber officinale*). *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3301-3308.
- Musumeci, G., Trovato, F. M., Pichler, K., Weinberg, A. M., Loreto, C., Castrogiovanni, P. 2013. Extra-virgin olive oil diet and mild physical activity prevent cartilage degeneration in an osteoarthritis model: An in vivo and in vitro study on lubricin expression. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 24, 2064-2075.
- Muzzalupo, I Vendramin, G. G Adriana Chiappetta, A. 2014. Research Article Genetic Biodiversity of Italian Olives (Olea europaea) Germplasm Analyzed by SSR Markers. *The Scientific World Journal*, 2014. <http://doi.org/10.1155/2014/296590>.
- Muzzalupo, I. Vendramin, G.G., Chiappetta, A. 2014. Genetic Biodiversity of Italian Olives (Olea europaea) Germplasm Analyzed by SSR Markers. *The Scientific World Journal*, doi: 10.1155/2014/296590.
- Nabi, F., Arain, M. A. Rajput, N., Alagawany, M., Soomro, J., Umer, M., Soomro, F., Wang, Z., Ye, R., Liu, J. 2020. Health benefits of carotenoids and potential application in poultry industry: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(6), 1809-1818. <https://doi.org/10.1111/jpn.13375>.

- Nerilo, S. B., Rocha, G. H. O., Tomoike, C., Mossini, S. A. G., Grespan, R., Mikcha, J. M. G., Machinski, M. Jr. 2016. Antifungal properties and inhibitory effects upon aflatoxin production by *Zingiber officinale* essential oil in *Aspergillus flavus*. *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 286-292.
- Nicoll, R., Henein, M. Y. 2009. Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): A hot remedy for cardiovascular disease? *International Journal of Cardiology*, 131(3), 408-409.
- Nierat, T. H., Al-Smadi, D., Musameh, S. M., Abdel-Raziq, I. R. 2014. Storage Age Dependence of Olive Oil Acidity in Different Locations in Palestine. *Journal of Physical Science*, 25(1), 33-43.
- Niki, E., Abe, K. 2019. Chapter: Vitamin E: Structure, Properties and Functions , in *Vitamin E: Chemistry and Nutritional Benefits*, 1-11. DOI: 10.1039/9781788016216-00001
- Nile, S. H., Park, S. W. 2015. Chromatographic analysis, antioxidant, anti-inflammatory, and xanthine oxidase inhibitory activities of ginger extracts and its reference compounds, *Industrial Crops and Products*, 70, 238-244.
- Nile, S. H., Park, S. W. 2015. Chromatographic analysis, antioxidant, anti-inflammatory, and xanthine oxidase inhibitory activities of ginger extracts and its reference compounds. *Industrial Crops and Products*, 70, 238-244.
- Nwinuka, N., Ibeh, G., Ekeke, G. 2005. Proximate composition and levels of some toxicants in four commonly consumed spices. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 9, 150-155.
- Ocakoglu, D., Tokatli, F., Ozen, B., Korel, F. 2009. Distribution of simple phenols, phenolic acids and flavonoids in Turkish monovarietal extra virgin olive oils for two harvest years. *Food Chemistry*, 113, 401-410.
- Odebunmi, E., Oluwaniyi, O., Bashiru, M. 2010. Comparative proximate analysis of some food condiments. *Journal of Applied Science Research*, 6, 272-274.
- Oforma, C. C., Udourioh, G. A., Ojinaka, C. M. 2019. Characterization of Essential Oils and Fatty Acids Composition of Stored Ginger (*Zingiber Officinale* Roscoe). *Journal of Applied Science Environmental Management*, 23 (12) 2231-2238.
- Oreka jardinage. 2016. Gingembre : savoir planter, tailler, entretenir, sur <https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/134/gingembre>.
- Oueslati, I., Anniva, C., Daoud, D., Tsimidou, M. Z., Zarrouka, M. 2009. Virgin Olive Oil (VOO) Production in Tunisia: The Commercial Potential of the Major Olive Varieties from the Arid Tataouine Zone. *Food Chemistry*, 112, 733-745.

- Ozgoli, G., Goli, M., Simbar, M. 2009. Effects of Ginger Capsules on Pregnancy, Nausea, and Vomiting. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 15 (3), 243-246.
- Pacetti, D., Scortichini, S., Boarelli, M. C., Fiorini, D. 2019. Simple and Rapid Method to Analyse Squalene in Olive Oils and Extra Virgin Olive Oils. *Food Control*, 102, 240-244.
- Panche, A. N., Diwan, A. D., Chandra, S. R. 2016. Flavonoids: an overview. *Journal of nutritional science*, 5, e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>.
- Pandey, K. B., Rizvi, S. I. 2009. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2, 270-278.
- Panth, N., Paudel, K. R., Parajuli, K. 2016. Reactive oxygen species: a key hallmark of cardiovascular disease. *Advanced Medecine*. doi: 10.1155/2016/9152732.
- Park, G., Kim, H., Ju, M. *et al.* 2013. 6-Shogaol, an active compound of ginger, protects dopaminergic neurons in Parkinson's disease models via anti-neuroinflammation. *Acta Pharmacologica Sinica*, 34, 1131-1139.
- Parthasarathy, V. A., Chempakam, B., Zachariah T. J. 2008. Chemistry of Spices. CABI International. <http://dx.doi.org/10.1079/9781845934057.0000>.
- Philips, K., Ruggio, D. M., Toivo, I. J., Molly A., Swank, M. S., Amy H., Simpkins, A. H. 2002 Free and Esterified Sterol Composition of Edible Oils and Fats. *Journal of Food composition and Analysis*, 15, 123-142.
- Pickersgill, B. (2005). The Cultural History of Plants. Prance, Ghilleain; Nesbitt, Mark (eds.) Routledge.163-164. ISBN 0415927463.
- Pinson, C. 2012. Curcuma et gingembre – un concentré de bienfaits pour votre santé et votre beauté. Eyrolles Ed. 2012. 169p.
- Pouyet, B., Ollivier, V. 2014. Réglementation sur l'étiquetage et laprésentation des huiles d'olive. *OCL Oilseeds and fats, Crops and Lipids* 21(5), D506 <http://doi.org/10.1051/ocl/2014005>.
- Prasad, J., Vijay, V. K., Tiwari, G. N., Sorayan, V. P. S. 2006. Study on performance evaluation of hybrid drier for tumeric (*Curcuma longa* L.) drying at village scale. *Journal of Food Engineering*, 75, 497-502.
- Praven, K., Ramamoorthy, A., Awang, B. 2007. Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content *Morinda citrifolia* fruit. *Journal of Engineering Science*, 2, 70-80.



- Presti, G, Guarrasi V, Gulotta E, et al. 2017. Bioactive compounds from extra virgin olive oils: Correlation between phenolic content and oxidative stress cell protection. *Biophysical Chemistry*, 230, 109-116.
- Psaltopoulou, T., Kosti, R.I., Haidopoulos, D., Meletios Dimopoulos, M., Panagiotakos, D. B. 2011. Olive oil intake is inversely related to cancer prevalence: a systematic review and a meta-analysis of 13800 patients and 23340 controls in 19 observational studies. *Lipids in Health Disease*, 10, 127. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-10-127>.
- Psaltopoulou, T., Naska, A., Orfanos, P., Trichopoulos, D., Mountokalakis, T., Trichopoulou, A. 2004. Olive oil, the Mediterranean diet, and arterial blood pressure: The Greek European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) study. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 80, 1012-1018.
- Psomiadou E, Tsimidou M, Boskou D. 2000. alpha-tocopherol content of Greek virgin olive oils. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48(5), 1770-1775.
- Puengphian, C., Sirichote, A. 2008. 6-Gingerol content and bioactive properties of ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) extracts from supercritical CO<sub>2</sub> extraction. *Asian Journal of food and Agro-Industry*, 1, 29-36.
- Pulido, R., Bravo, L., Saura-Calixto, F. 2000. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing antioxidant power assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 3396-3402.
- Quintero-Florez, A. G., Pereira-Caro, C., Sanchez-Quezada et al., 2018. Effect of olive cultivar on bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic fraction of virgin olive oil. *European Journal of Nutrition*, 57(5), 1925-1946.
- Rai, S., Das, A. B., Das, P. 1999. Variations in chlorophylls, carotenoids, protein, and secondary metabolites amongst ginger (*Zingiber officinale* Rose.) cultivars and their association with rhizome yield, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 27:1, 79-82.
- Ranalli, A. 1989. Aspects et problèmes se rattachant au stockage et à la conservation de l'huile d'olive. *Olivae*, 272, 11-8.
- Rani, M. P., Krishna, M. M., Padmakumari, K. P., Raghu, K. G., Sundaresan, A. 2012. *Zingiber officinale* extract exhibits antidiabetic potential via modulating glucose uptake, protein glycation and inhibiting adipocyte differentiation: an *in vitro* study. *Science of Food and Agriculture*, 92(9), 1948-1955.
- Rao, A. V., Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3), 207-216. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012>.
- Reboredo-Rodríguez, P., Varela-López, A., Forbes-Hernández, T.Y., Gasparri, M., Afrin, S., Cianciosi, D., Zhang, J., Manna, P.P., Bompadre, S., Quiles, J.L., Battino, M., Giampieri, F. 2018. Phenolic Compounds Isolated from Olive Oil as Nutraceutical Tools for the Prevention

and Management of Cancer and Cardiovascular Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 19, 2305. <https://doi.org/10.3390/ijms19082305>.

Reboredo-Rodríguez, P., Figueiredo-González, M., González-Barreiro, C., Simal-Gándara, J., Salvador, M. D., Cancho-Grande, B., Fregapane, G. 2017. State of the Art on Functional Virgin Olive Oils Enriched with Bioactive Compounds and Their Properties. *International journal of molecular sciences*, 18(3), 668. <https://doi.org/10.3390/ijms18030668>.

Renard, C. M. G. Caris-Veyrat, C., Dufour, C., Le Bourvellec, C. 2014. Le devenir des polyphénols et caroténoïdes dans les fruits et légumes traités thermiquement. *Innovations Agronomiques*, 42, 125-137.

Rodrigues, N., Dias, L. G., Veloso, A. C. A., Pereira, J. A., Peres, A. M. 2017. Evaluation of extra-virgin olive oils shelf life using an electronic tongue-chemometric approach. *European Food Research and Technology*, 243(4), 597-607.

Rodriguez-Amaya, D. B., Kimura, M. 2004. Harvest Plus Handbook for Carotenoid Analysis, International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, DC. 1-52.

Román, G. C., Jackson, R.E., Reis, J., Román, A.N., Toledo, J.B., Toledo, E. 2019. Extra-virgin olive oil for potential prevention of Alzheimer disease. *Revue Neurologique*, 175, 705-723.

Rondanelli, M., Fossari, F., Vecchio, V, et al. 2020. Clinical trials on pain lowering effect of ginger: A narrative review. *Phytotherapy Research*, 34, 2843- 2856.

Rosenblat, M., Volkova, N., Coleman, R., Almagor, Y., Aviram, M. 2008. Antiatherogenicity of Extra Virgin Olive Oil and its Enrichment with Green Tea Polyphenols in the Atherosclerotic apolipoprotein-E-Deficient Mice: Enhanced Macrophage Cholesterol Efflux. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 19, 514-523.

Rosillo, M. A., Sánchez-Hidalgo, M., Sánchez-Fidalgo, S., Aparicio-Soto, M., Villegas, I., Alarcón-de-la-Lastra, C. 2016. Dietary extra-virgin olive oil prevents inflammatory response and cartilage matrixdegradation in murine collagen-induced arthritis. *European Journal of Nutrition*, 55, 315-325.

Rouas, S., Rahmani, M., Antari, A. E., Baamal, L., Idrissi, D. J., Souizi, A., Maata. N. 2016. Effect of geographical conditions (altitude and pedology) and age of olive plantations on the typicality of olive oil in Moulay Driss Zarhoun. *Mediterranean. Journal of Biosciences*. 1(3), 128-137.

Rubió, L., Motilva, M. J., Macià, A., Ramo, T., Romero, M. P. 2012. Development of a phenol-enriched olive oil with both its own phenolic compounds and complementary phenols from thyme. *Journal of Agriculture and. Food Chemistry*, 60, 3105-3112.

Rustan, A. C., Drevon, C. A. 2005. Fatty Acids: Structures and Properties *ENCYCLOPEDIA OF LIFE SCIENCES*, John Wiley & Sons, Ltd. [www.els.net](http://www.els.net).



- Ryan, J. L., Heckler, C. E., Roscoe, J. A., et al. 2012 Ginger reduces acute chemotherapy induced nausea. *Support Care Cancer*, 20, 1479-1489.
- Sait, S., Hamri-Zeghichi, S., Boulekbache-Makhlouf, L., Madani, K., Rigou, P., Brighenti, V., PioPrencipe, F., Benvenuti, S. F., Pellati, F. 2015. HPLC-UV/DAD and ESI-MSn analysis of flavonoids and antioxidant activity of an Algerian medicinal plant: *Paronychia argentea* Lam. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 111, 231-240.
- Sánchez de Medina, V., El Riachy, M., Priego-Capote, F., Dolores Luque de Castro, M. 2013. Mass spectrometry to evaluate the effect of the ripening process on phenols of virgin olive oils. *European Journal of Lipides Science and Technology*, 115(9), 1053-1061
- Sánchez-Villegas A., Sánchez-Tainta A. 2018. The Prevention of Cardiovascular Disease through the Mediterranean Diet. Academic Press; Cambridge, MA, USA: Virgin olive oil; 59-87.
- Sangwan, A., Kawatra, A., Sehgal, S. 2014. Nutritional composition of ginger powder prepared using various drying methods. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 2260-2262.
- Santiago-Mora, R., Casado-Díaz, A., De Castro, M. D., Quesada-Gómez, J. M. 2011. Oleuropein enhances osteoblastogenesis and inhibits adipogenesis: The effect on differentiation in stem cells derived from bone marrow. *Osteoporos International*, 22, 675-684.
- Santos Braga, S., 2019. Ginger: Panacea or Consumer's Hype. *Applied science*.9,1570-1586.
- Saraswat, M., Suryanarayana, P., Reddy, P. Y., Patil, M. A., Balakrishna, N., Reddy, G. B. 2010. Antiglycating potential of Zingiber officinalis and delay of diabetic cataract in rats. *Molecular Vision*, 16, 1525-1537.
- Sarker, A. K., Rashid, M., Roy, D.C., M. Musarrat, M., Bithi, U. H. 2021. Ginger (Zingiber officinale) powder from low temperature drying technique. *Bangladesh Journal Scientific and Industrial Research*, 56(2), 133-140.
- Šarolić, M., Gugić, M., Marijanović, Z., Šuste, M. 2014. Virgin olive oil and nutrition. Food in health and disease. *Scientific-professional journal of nutrition and dietetics*, 3 (1), 38-43.
- Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M. M., Toth-Markus, M. 2005. Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38, 1023-1029.
- Schulze, B., Hubbermann, E. M., Schwarz, K. 2014. Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage. *Food Science and Technology*, 57(1), 426-433.
- Sebastian, 2010. Enrichissement nutritionnel de l'huile d'olive : Entre Tradition et Innovation. Mémoire de doctorat. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, p 160

- Segura, R., Javierre, C., Lizarraga, M. A., Ros, E., 2006. Other relevant components of nuts: Phytosterols, folate and minerals. *The British journal of nutrition*. 96 (2), 36-44.
- Semwal, R. B., Semwal, D. K., Combrinck, S., Viljoen, A. M. 2015. Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. *Phytochemistry*, 117, 554-568.
- Shanmugam, K., R, Mallikarjuna, K., Kesireddy, N., Sathyavelu, Reddy, K. 2011. Neuroprotective effect of ginger on antioxidant enzymes in streptozotocin-induced diabetic rats. *Food and Chemical Toxicology*, 49 (7), 893-897.
- Sharifi-Rad, M., Varoni, E. M., Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Matthews, K. R., Ayatollahi, S. et al. 2017. Plants of the Genus Zingiber as a Source of Bioactive Phytochemicals: From Tradition to Pharmacy. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 22(12), 2145. <https://doi.org/10.3390/molecules22122145>.
- Sharma, Y. 2017. Ginger (Zingiber officinale)-An elixir of life a review. *The Pharma Innovation Journal*, 6(10), 22-27.
- Shieber, A, Keller, P., Carle, R. 2001. Determination of phenolic acids and flavonoids of apple and pear by high- performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 910, 265-273.
- Shirin Adel, P. R., Prakash, J. 2010. Chemical composition and antioxidant properties of ginger root (*Zingiber officinale*). *Journal of Medicinal Plants Research*, 4, 2679-2679.
- Si, W. H., Chen, Y. P., Zhang, J. H., Chen, Z. Y., and Chung, H. Y. 2018. Antioxidant activities of ginger extract and its constituents toward lipids. *Food Chemistry*, 239, 1117-1125.
- Sirianni, R., Chimento, A., De Luca, A., Casaburi, I., Rizza, P., Onofrio, A., Iacopetta, D., Puoci, F., Andò, S., Maggiolini, M., et al. 2010. Oleuropein and hydroxytyrosol inhibit MCF-7 breast cancer cell proliferation interfering with ERK1/2 activation. *Molecular Nutrition and Food Research*, 54, 833-840.
- Smolarek, A.K.; Suh, N. 2011. Chemopreventive Activity of Vitamin E in Breast Cancer: A Focus on  $\gamma$ - and  $\delta$ -Tocopherol. *Nutrients*, 3, 962-986.
- Soler- Rivas, C., Espín, J. C. Wichers, H. 2000. Oleuropein and related compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1013 - 1023.
- Soumyakanti, A., Kavirayani, I. P., Mukherjee, T. 2007. Physico-chemical studies on the evaluation of the antioxidant activity of herbal extracts and active principles of some Indian medicinal plants. *Journal of Clinical Biochemistry Nutrition*, 40(3), 174-183.
- Srinivasan, K. 2017. Ginger rhizomes (*Zingiber officinale*): A spice with multiple health beneficial potentials. *PharmaNutrition*. 5 (1), 18-28.

- Stinco, C. M., Benítez-González, A. M., Hernanz, D., Vicario, I. M., Meléndez-Martínez, A. J. 2014. Development and validation of a rapid resolution liquid chromatography method for the screening of dietary plant isoprenoids: Carotenoids, tocopherols and chlorophylls. *Journal of Chromatography A*, 1370, 162-170.
- Stoilova, I., Krastanov, A., Stoyanova, A., Denev, P. S., Gargova, S. 2007. Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). *Food Chemistry*, 102, 764-770.
- Sultan, M., Bhatti, H. N., Iqbal, Z. 2005. Chemical Analysis of Essential Oil of Ginger (*Zingiber officinale*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8, 1576-1578.
- Summerhill, V., Karagodin V., Grechko, A., Myasoedova V., Orekhov A, 2018. Vasculoprotective Role of Olive Oil Compounds via Modulation of Oxidative Stress in Atherosclerosis *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, <https://doi.org/10.3389/fcvm.2018.00188>.
- Surh, Y. J. 1999. Molecular mechanisms of chemopreventive effects of selected dietary and medicinal phenolic substances, *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 428(1-2), 305-327.
- Surh, Y. J. 2003. Cancer chemoprevention with dietary phytochemicals. *Nature Reviews Cancer*, 3 (10), 768-780.
- Talhaoui, N., Gómez-Caravaca, A. M., León, L., De la Rosa, R., Fernández-Gutiérrez, A., Segura-Carretero, A. 2016, From Olive Fruits to Olive Oil: Phenolic Compound Transfer in Six Different Olive Cultivars Grown under the Same Agronomical Conditions. *International Journal of Molecular Science*, 17, 337. <https://doi.org/10.3390/ijms17030337>.
- Tanouti, K., Elamrani, A., Serghini-Caid, H., N. Tahani, N. A. 2011. Quality of Olive oils produced in east of Morocco. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and food chemistry*, 10(7), 2439-2450.
- Thanonkaew, A., Benjakul, S., W. Visessanguan, W. 2006. The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles. *Food Chemistry*, 95(4), 591-599.
- Tohma, H., Gülçin, İ., Bursal, E., Gören, A. C., Alwasel, S. H., Köksal, E. 2017. Antioxidant activity and phenolic compounds of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) determined by HPLC-MS/MS. *Food Measure*, 11, 556-566.
- Torki-Harchegani, M., Ghasemi-Varnamkhashi, M., Ghanbarian, D., Sadeghi, M., Tohidi, M. 2016. Dehydration characteristics and mathematical modelling of lemon slices drying undergoing oven treatment. *Heat and Mass Transfer*, 52(2), 281-289.
- Trevisan, M., Krogh, V., Freudenheim, J., Blake, A., Muti, P., Panico, S., Farinaro, E., Mancini, M., Menotti, A., Ricci, G. 1990. Consumption of olive oil, butter, and vegetable oils and

coronary heart disease risk factors. The Research Group ATS-RF2 of the Italian National Research Council. *The Journal of the American Medical Association*, 263, 688-692.

Vasseur, J. 2011. Séchage industriel : principes et calcul d'appareils - Séchage convectif par air chaud (partie 1). Techniques de l'Ingénieur. Opérations unitaires : évaporation et séchage. (ref article J2451).

Veillet, S. 2010. Enrichissement nutritionnel de l'huile d'olive : Entre tradition et innovation. Thèse de Doctorat spécialité Chimie, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 5-30.

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

Velasco, J., Dobarganes, C. 2002. Oxydative stability of virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104, 661-676.

Velioglu, Y., Mazza, G., Gao, L., Oomah, B., 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 46, 4113-4117.

Viola, P., Viola, M. 2009. Virgin olive oil as a fundamental nutritional component and skin protector. *Clinics in Dermatology*, 27(2), 159-65.

Visioli, F., Bellomo, G., Galli, C. 1998. Free radical-scavenging properties of olive oil polyphenols. *Biochemical Biophysical Research Communication*, 9, 247(1), 60-4.

Walrand, S., Fisch, F.M., Bourre, J.M. 2010. Tous les acides gras saturés ont-ils le même effet métabolique ? *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 24(2), 63-75.

Wang, H. 2020. Introductory Chapter: Studies on Ginger, Ginger Cultivation and Its Antimicrobial and Pharmacological Potentials, Haiping Wang, IntechOpen, doi: 10.5772/intechopen.89796. <https://www.intechopen.com/chapters/69831>.

Wang, X., Shen, Y., Thakur, K., Han, J., Zhang, J. G., Hu, F., Wei, Z. J. 2020. Antibacterial Activity and Mechanism of Ginger Essential Oil against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Molecules*, 25(17), 3955. <https://doi.org/10.3390/molecules25173955>.

Wani, S. M., Masoodi, F. A., Haq, E., Mukhtar A., Ganai, S. A. 2020. Influence of processing methods and storage on phenolic compounds and carotenoids of apricots. *Food Science and technology*, 132, /doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109846.

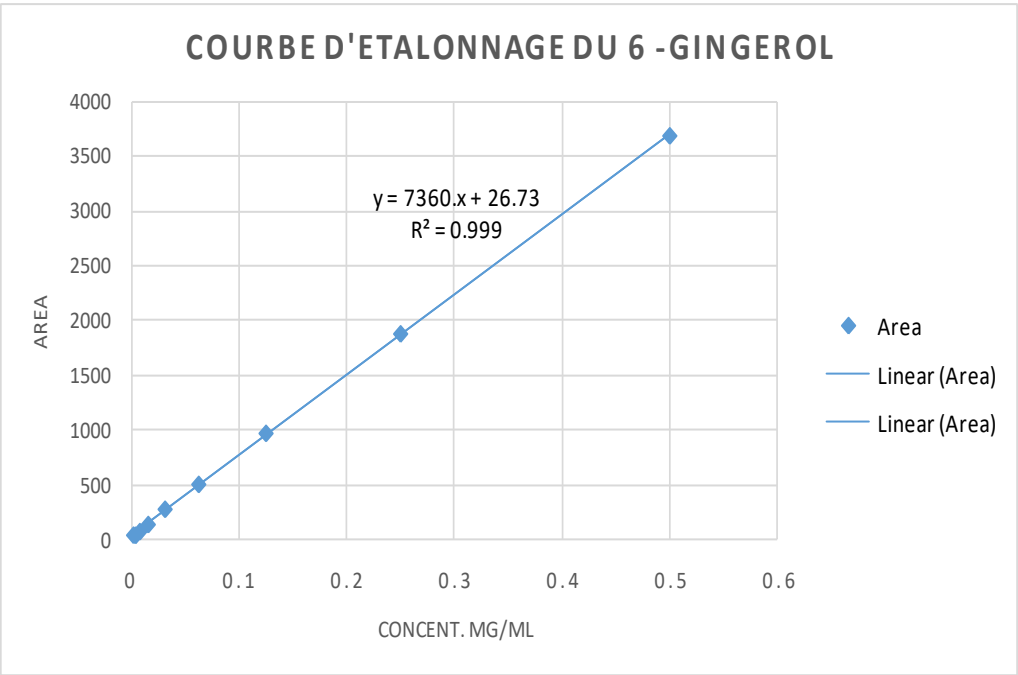
Waraho, T., McClements, D. J., Decker, E. A. 2011. Mechanisms of lipid oxidation in food dispersions. *Trends in Food Science and Technology*, 22(1), 3-13.

- Weiqiao, L. V., Li, S., Han, Q., Zhao, Y., Wu, H. 2016. Study of the drying process of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices in microwave fluidized bed dryer, *Drying Technology*, 34:14, 1690-1699.
- Widmer, R. J., Freund, M. A., Flammer, A. J., Sexton, J., Lennon, R., Romani, A., Mulinacci, N., Vinceri, F. F., Lerman, L. O., Lerman, A. 2013. Beneficial effects of polyphenol-rich Olive Oil in patients with early atherosclerosis. *European Journal of Nutrition*, 52(3), 1223-1231.
- Wikipedia, 2017, <https://en.wikipedia.org/wiki/Zingiberales>.
- Xu, D. P., Li, Y., Meng, X., Zhou, T., Zhou, Y., Zheng, J., Zhang, J. J., Li, H. B. 2017. Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources. *International journal of molecular sciences*, 18(1), 96. <https://doi.org/10.3390/ijms18010096>.
- Xu, F, Li, Y., Zheng, M., Xi, X., Zhang X., Han, C. 2018 Structure Properties, Acquisition Protocols, and Biological Activities of Oleuropein Aglycone. *Frontiers in Chemistry*. doi:10.3389/fchem.2018.00239.
- Xu, Z., Chang, L. 2017. Zingiberaceae. In: Identification and Control of Common Weeds: Volume 3. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5403-7\\_38](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5403-7_38).
- Yamamoto-Ribeiro, M. M., Grespan R., Kohiyama C.Y., Ferreira F.D., Mossini S.A., Silva E.L., Filho, B. A., Mikcha J.M., Machinski, M. Jr., 2013. Effect of *Zingiber officinale* essential oil on *Fusarium verticillioides* and fumonisin production. *Food Chemistry*, 141, 3147-3152.
- Yorulmaz, H. O., Konuskan, D. B. 2017. Antioxidant activity, sterol and fatty acid compositions of Turkish olive oils as an indicator of variety and ripening degree *Journal of Food Science and Technology*. 54(12), 4067-4077.
- You, H., Ireland, B., Moeszinger, M., Zhanga, H., Snowb, L., Scott Krepichb, S., Takagawa, V. 2019. Determination of bioactive nonvolatile ginger constituents in dietary supplements by a rapid and economic HPLC method: Analytical method development and single-laboratory validation. *Talanta*, 194, 795-802.
- Yu, Y., Huang, T., Yang, B., Liu, X., Duan, G. 2007. Development of gas chromatography-mass spectrophotometry with microwave distillation and simultaneous solid-phase micro-extraction for rapid determination of volatile constituents in ginger. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 43, 24-31.
- Yuan, C., Xie, Y., Jin, R., Ren, L., Zhou, L., Zhu, M., Ju, Y. 2017. Simultaneous Analysis of Tocopherols, Phytosterols, and Squalene in Vegetable Oils by High-performance Liquid Chromatography. *Food Anal. Methods*, 10, 3716-3722.
- Zanoni, M., Bertuccioli, P., Rovellini, F., Marotta, A., Mattei, A. 2005. Preliminary approach to predictive modelling of extra virgin olive oil stability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(9), 1492-1498.

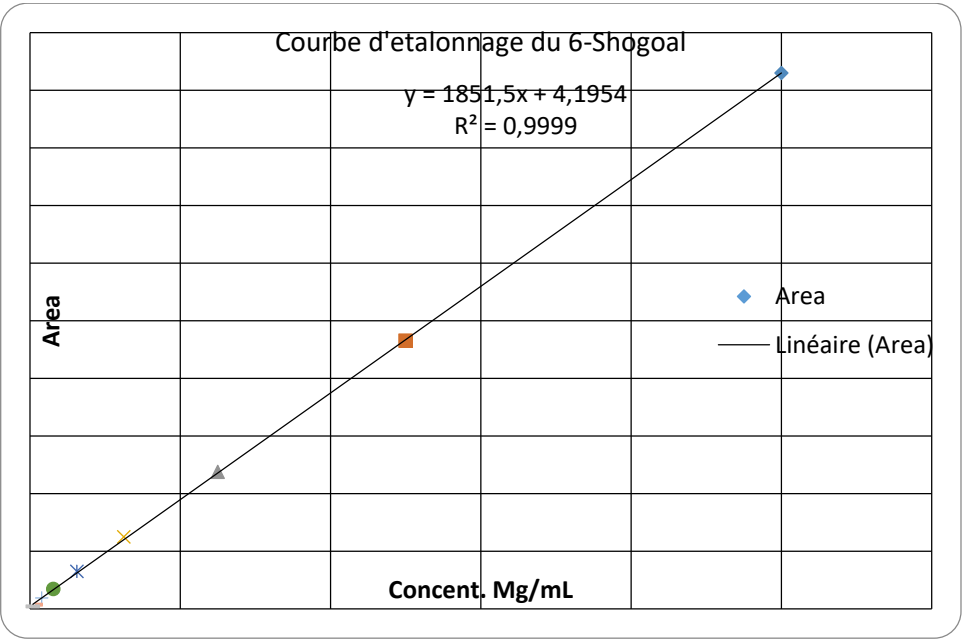
Zhang, Y. X., Li, J. S., Chen, L. H., Peng, W. W., Cai, B. C. 2012. Simultaneous determination of five gingerols in raw and processed ginger by HPLC *Chinese Pharmaceutical Journal*, 4(6), 471-474.

Zhang, M., Chen, H., Li, J., Pei, Y., & Liang, Y. (2010). Antioxidant properties of tartary buckwheat extracts as affected by different thermal processing methods. *LWT - Food Science and Technology*, 43(1), 181-185. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.06.020>.

# *Annexes*

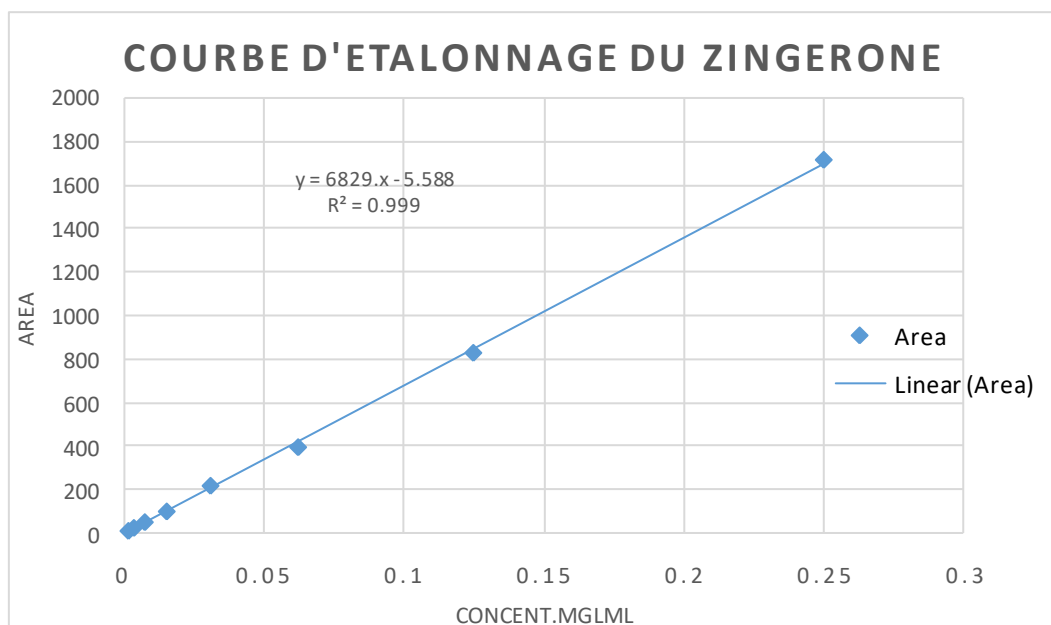


**Courbe d’etalonnage du 6-gingerol.**



**Courbe d’etalonnage du 6-shogol.**





**Courbe détalonnage de la zingerone.**

ORIGINAL RESEARCH PAPER

**EFFECT OF DIFFERENT DRYING TEMPERATURES ON THE  
COMPOSITION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF GINGER POWDER**

SALIMA CHERRAT<sup>1</sup>, LILA BOULKEBACHE-MAKHLOUF<sup>2</sup>, JAVED IQBAL<sup>3</sup>, SABRINA  
ZEGHICHI<sup>2</sup>, SABRINA SAIT<sup>2,4</sup>, GAVIN WALKER<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mohammed Seddik ben Yehia, Jijel 18000, Algérie

<sup>2</sup>Laboratoire de Biomathématiques, Biophysique, Biochimie, et Scientométrie Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Bejaia, Bejaia 06000, Algérie

<sup>3</sup>Pharmaceutical Manufacturing Technology Centre (PMTTC), Bernal Institute, University of Limerick, Ireland

<sup>4</sup>Département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, Université de Bouira, Bouira 10000, Algérie

\*Corresponding author: [salima.cherrat@ul.ie](mailto:salima.cherrat@ul.ie), [csalima98@hotmail.com](mailto:csalima98@hotmail.com)

Received on 2<sup>nd</sup> September 2019

Revised on 13<sup>th</sup> November 2019

The influence of drying temperatures ranging from 40° to 100°C on the chemical composition, antioxidant properties and microstructure characteristics of the ginger powders was investigated. The ginger samples dried at 100°C showed a significantly higher amount of polyphenols (24.154 mg EAG/g) and flavonoids (10.564 mg EAG/g) contents. Moreover, the antioxidant activity increased from 73.47% at 40°C to 78.23% at 100°C. The reduction trend of 6-gingerol and  $\beta$ -carotene concentrations was obtained by rising the drying temperatures as indicated by high performance liquid chromatography (HPLC) analysis. In contrast, zingerone and 6-shogol contents significantly increased at high drying temperatures. A pronounced gelatinization and a more compacted structure was observed in the ginger powders dried at high temperatures (80 and 100°C) as indicated by scanning electron microscopy analysis. These findings offer a better comprehension of the influence of the oven drying process on the functional properties and structure characteristics of the ginger powder, hence allowing the optimization and development of applications in the food and pharmaceutical industries.

*Keywords: dried ginger, antioxidant activity, flavonoids, 6-gingerol, 6-shogol, zingerone*

## Introduction

Belonging to the family Zingiberaceae, Ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) is one of the most common plants globally used in food and beverages as a spice and flavouring agent. Ginger has been used for more than 2000 years in many cultures (Bartley and Jacobs, 2000). For instance, Asians, Egyptians, Greeks and Romans

were well aware of the ginger's nutritional and medical importance and often used it for the treatment of various symptoms such as nausea, stomach discomfort, diarrhoea, headache and common cold (Miyoshi *et al.*, 2003). Various studies demonstrated the strong pharmacological properties of ginger as an anti-diabetic, anti-inflammatory (Minghetty *et al.*, 2007), anti-microbial, anti-carcinogenic, analgesic (Li *et al.*, 2012), anti-vomiting agent and to decrease the intensity of pregnancy-induced nausea (Ozgoli *et al.*, 2009). It is known that ginger contains numerous of pharmacologically active compounds. They are essentially presented as volatiles compounds (essential oils), gingerols and shogaols (Li *et al.*, 2016). Gingerols are a series of homologous phenols; essentially 6, 8, and 10 gingerol, contributing to the ginger's pungency. Shogaols are the dehydrated form of gingerols and gingerdiones mainly 6, 8, and 10 shogaol and zingerone (Jiang *et al.*, 2005). In general, ginger rhizomes are commercially sold fresh. With the benefits of practical handling and long shelf life, ginger powder has become an essential solution for the non-producing countries such as Algeria, as a food and/or pharmaceutical ingredient. Drying is one of the conventional methods commonly used to preserve food due to its simplicity and low cost. It is known that dehydration or drying process was applied in foods in order to extend their shelf-life by reducing the water activity (Prasad *et al.*, 2006), which is essential for the growth of bacteria, mould and yeasts. In the food drying process, temperature and process duration are key factors for the product's preservation quality and energy consumption. Various comparative studies were investigated regarding different drying processes such as sun drying, oven drying and microwave drying (Cheng *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2016). However, few studies focused on finding the optimal temperature applied in the same drying process that allows both the obtainment of a high quality ginger powder and also the protection of bioactive compounds with maximum beneficial properties.

The objective of this work was to evaluate the effect of various drying temperatures ranging from 40° to 100°C on the quality attributes of dried ginger powder. Total phenolic, flavonoid compounds, carotenoids, total protein, fat contents and the antioxidant activity of the ginger powders were determined. Furthermore, the different concentrations of 6- gingerol, 6-shogaol, zingerone and  $\beta$ -carotene were assessed by HPLC. Scanning electron microscopy (SEM) was used to examine the structural characteristics of the obtained ginger powders.

## Materials and Methods

### *Reagents and chemicals*

Sodium carbonate, 2, 2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl (DPPH), Folin–Ciocalteu reagent (FCR), standard chemicals (zingerone, 6-shogaol, 6-gingerol and  $\beta$ -carotene), gallic acid, catechin, sodium hydroxide, aluminium chloride, sodium nitrate were purchased from Sigma-Aldrich (Dublin, Ireland). Analytical grade acetone, acetonitrile, ethanol, ethyl acetate, methanol and hexane were attained from Merck (Gernsheim, Germany).

### **Plant material and sample preparation**

Fresh mature ginger rhizomes (origin from China) were purchased during the time between March and June, from a local Algerian market (Bejaia city). The rhizomes were thoroughly washed and rinsed to remove impurities. The washed ginger rhizomes were then chopped into 3 mm thick slices. The average moisture content of the ginger samples was determined using the Association of Official Analytical Chemist method (AOAC 2000). Briefly, individual loads of 100 g of chopped ginger slices were subjected to oven (Binder E28, Germany) drying at 40°, 60°, 80° and 100°C until a constant weight was obtained. The mass was periodically measured during the drying process and the weight loss (%) was calculated as follows:

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{W_t \times 100}{W_0} \quad (1)$$

where,  $W_0$  and  $W_t$  (g) are the initial weight and the weight at a specific time, respectively.

Once dried, the ginger slices were ground into powders using an electric grinder (IKA model-A11, Baden-Württemberg, Germany) to a granulometry lower than 250 µm in size. Finally, the sieved ginger powders were individually transferred to air-tight amber glass containers and stored in the dark until further use.

### **Extraction of phenolic compounds**

The phenolic contents were extracted from each individual ginger powder in accordance to a method previously developed by Mukherjee *et al.* (2012). Briefly, 1 g of individual ginger powder was extracted at 40°C under continuous agitation using 50 ml of 5% (v/v) ethanol. The extract mixture was then centrifuged at 1,800 ×g for 30 min, followed by filtration using Whatman qualitative filter paper No. 1. The filtrates were afterwards transferred to air-tight amber glass containers and stored at 4°C until further analysis.

### **Determination of total phenolic content**

Total phenolic content (TP) from the ginger's ethanolic extracts was measured by the Folin-Ciocalteu assay as described by Chan *et al.* (2008), with some minor modifications. Two hundred µl of each ginger extract (prepared in section 2.3) were mixed with 500 µl of 1:10 (v/v) aqueous Folin-Ciocalteu reagent and 1500 µL of sodium bicarbonate (75 g/l), vortexed, then incubated for 30 minutes at room temperature. The absorbance was recorded at 765 nm using an ultraviolet (UV) spectrophotometer (UV-mini 1240, Shimadzu, Japan). The TP content of the ginger extracts was calculated from the calibration curve using gallic acid as the standard. The samples were analysed in triplicate and the mean value of three tests was used. The results were expressed as milligram of gallic acid equivalent per gram of dry sample (GAE/g).

### **Determination of total flavonoids content**

The total flavonoids content (TF) can be determined by quantifying the yellow colour intensity developed by the complex flavonoids-  $\text{Al}^{3+}$  formed due to the chelating of the hydroxyls group ( $\text{OH}^{-1}$ ) in flavonoids. According to the method

described by Jia *et al.* (1999), 500 µl of ginger extracts (prepared in section 2.3) were diluted with 2 ml of distilled water, then 150 µl of 5% (w/v) NaNO<sub>2</sub> solution was added. This mixture was allowed to stand for 6 minutes. Afterwards, 150 µl of 10% (w/v) AlCl<sub>3</sub> solution was added to the mixture and allowed to stand for another 6 minutes. Finally, 2 ml of 4% (w/v) NaOH solution were added, mixed and incubated further in the darkness for 15 minutes at room temperature. The absorbance was measured at 510 nm using an ultraviolet (UV) spectrophotometer (UV-mini 1240, Shimadzu, Japan). The samples were independently analysed in triplicate and the mean value of three tests was used. The results were expressed as milligram of catechin equivalent per gram of dry weight (mg CE/g) from the standard curve prepared with catechin.

#### **Determination of total carotenoids content**

The total carotenoid content (TC) was measured according to Sass-Kiss *et al.* (2005). A hundred mg of dried ginger powder was accurately weighed and suspended for 30 minutes in 10 ml of 2:1:1 (v/v) mixture of hexane, acetone and ethanol, respectively. This mixture was vortexed for 15 minutes, centrifuged at 2250 × g and the top layer was then recovered. The absorbance of the separated hexane portion was measured at 450 nm using an ultraviolet (UV) spectrophotometer (UV-mini 1240, Shimadzu, Japan). The extracted samples were independently analysed in triplicate and the mean value of three measurements was used. The results were calculated on the basis of the calibration curve that was obtained by using β-carotene as the standard and expressed as milligram of β-carotene equivalent per 100 gram of dry ginger (mg βCE/100 g).

#### **Determination of the DPPH radical scavenging activity**

The antioxidant activity was evaluated by the DPPH radical scavenging assay according to the method described by Brand-Williams *et al.* (1995) with minor modifications. Briefly, 3ml of 70 µM DPPH already dissolved in methanol were mixed with 100 µl of each ginger extract (prepared in section 2.3). After incubation at room temperature for 30 minutes at 37°C, the absorbance was measured at 517 nm using an ultraviolet (UV) spectrophotometer (UV-mini 1240, Shimadzu, Japan). The results were expressed as the percentage of inhibition of the DPPH radical and calculated as follows:

$$\text{DPPH inhibition \%} = \left( \frac{A_c - A_s}{A_c} \right) \times 100 \quad (2)$$

where:  $A_c$  and  $A_s$  are the absorbance of the control and the sample, respectively. The samples were analysed in triplicate.

#### **Determination of 6-gingerol, 6-shaogol and zingerone by HPLC**

HPLC analysis was performed using an Agilent 1260 Infinity Series system (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany) equipped with a G1311B 1260 quaternary pump, G1329B 1260 autosampler, vacuum degasser, G1316A 1260 temperature-controlled column compartment and G1315D 1260 DAD VL detector. Standard solutions of zingerone, 6-gingerol and 6-shogaol were individually prepared in the range of 2 µg/ml to 500 µg/ml. The column used was Kromasil100

C18 (250 × 4.6 mm, 5µm). The column temperature was maintained at 40°C. The typical injection volume was 10 µl. The eluents were 0.1% (v/v) phosphate buffer (solvent A) and acetonitrile (solvent B). The gradient elution profile was 0-3 min: 30- 70% A; 3- 40 min: 30- 70% B, then at 40 - 50 min 30- 70% A. The mobile phase flow rate was adjusted to 1.0 ml/min. The detection wavelength was set at 280 nm. HPLC data was collected and analysed by Agilent OpenLAB 2.2 chromatography data systems (CDS) software. The identification of zingerone, 6-gingerol and 6-shogaol components in the ethanol ginger extracts (see section 2.3) was achieved by comparing their retention times (RT) to those of the used standards.

#### ***Determination of β-carotene by HPLC***

The β-carotene quantification in ginger was determined by HPLC analysis as reported by Stinco *et al.* (2014) and Benmezziane *et al.* (2018). Briefly, 10 mg of ginger powder were mixed with 1 ml of Milli-Q-water. The sample mixtures were centrifuged for 3 minutes at 1,800 ×g and the supernatant was discarded. One millilitre of the 1:1 (v/v) acetone: hexane extraction solvent was then added to each sample, centrifuged, vortexed and re-centrifuged for 3 minutes at 1,800 ×g. The supernatant was then collected. These steps were repeated until the yellow coloration disappeared. The organic fraction was then evaporated under N<sub>2</sub>. The obtained dried residues were re-dissolved in 100 µl of acetonitrile for the HPLC assay. The standard solutions of β-carotene were prepared in the range between 0.005 µg/ml and 2.8 µg/ml. The separation was carried out using a Poroshell 120 EC-C18 column (4.6× 50 mm, 2.7 µm). The column temperature was maintained at 40°C. The used eluents were ethyl acetate (solvent A), methanol (solvent B) and acetonitrile (solvent C). The linear gradient elution settings were: 0-5 min: 85% A, 15% B; 5-9 min: 60% A, 20% B, 20% C; 9-15 min, 85% A, 15% B. The mobile phase flow rate was adjusted to 1.0 mL/min. The detection wavelength was set at 280 nm. The HPLC data was collected and analysed by Agilent OpenLAB 2.2 chromatography data systems (CDS) software. The β-carotene identification was achieved by comparing their retention times (RT) to those of the used standards.

#### ***Determination of moisture, fat and protein contents***

Moisture and total solids (TS) components of the ginger powders were determined by the SMART-6<sup>TM</sup> Analyzer (CEM Corporation, NC, USA). The fat content was quantified using the ORACLE Universal Fat Analyzer (CEM Corporation, NC, USA) that utilizes its proprietary nuclear magnetic resonance (NMR) signal to accurately measure the fat content of any product without the need for method development. Total protein and water-soluble protein (WSP) components were determined using the Sprint<sup>TM</sup> Rapid Protein Analyzer (CEM Corporation, NC, USA), previously standardized for crude protein determination according to Kjeldahl method (AOAC, 2000). The tests were performed in triplicate.

#### ***Water-soluble protein extraction***

Two grams of ginger powder were weighed accurately and suspended in 100 mL Milli-Q water. The samples were shaken overnight (12-15 hours) at room

temperature using the LABOSHAKE shaker (Gerhardt GmbH, 53639 Königswinter, Germany), centrifuged at  $2,500 \times g$  for 20 min, then filtered using the Whatman No.1 filter paper. The supernatant was used for protein determination (WSP %) as described in section 2.10. Each ginger powder sample was extracted in triplicate.

#### ***Microstructure of the ginger powder***

The differences of the microstructure characteristics of the ginger powders as a function of different drying temperatures were analysed using a Hitachi S700 scanning electron microscope (SEM) (Hitachi, Berkshire SL6 8YA, England). All the samples were scattered and mounted on SEM aluminium stubs, sputter-coated with gold under vacuum (EMITECH-K550, Ashford, England). The SEM images were obtained by examining the powder particles at 1.5 KV at a magnification of 1000 x.

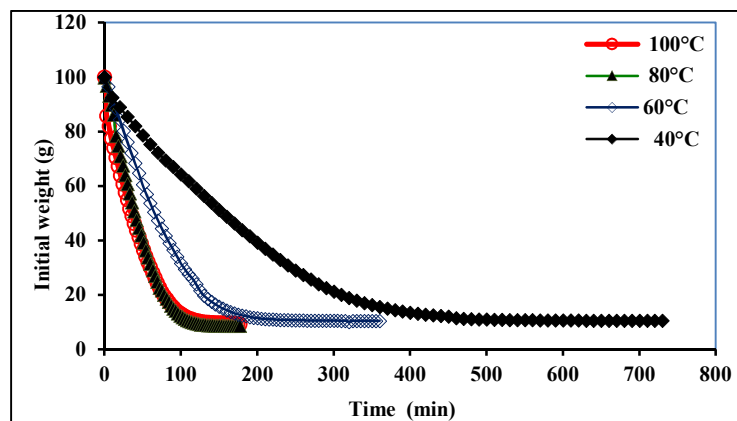
#### ***Statistical Analysis***

The analysis of variance (ANOVA) was performed with Minitab® 18.1 (MINITAB Inc., Coventry, UK), using the general linear model (GLM) procedure and the Tukey's test for pairwise comparison. The Pearson correlation analysis was used to explore the relationship between variables. All measurements were carried out in triplicate and the results were expressed as the mean value  $\pm$  standard deviation (SD).

### **Results and Discussion**

#### ***Drying kinetic and moisture loss***

The ginger slices were dried from an initial moisture content of 90% to less than 10% using different temperatures. The drying kinetics and the moisture content profiles are presented in Figure 1.



**Figure 1.** Drying kinetics and moisture loss of the ginger samples obtained at different drying temperatures



As expected, the drying times were inversely related to the applied drying temperatures. Drying at 40°C showed the lowest moisture loss rate, the drying process being accomplished after 710 min.

As it can be seen from the Table 1, the drying time was reduced by more than 50% when the drying temperature increased from 40°C to 60°C. These findings are in agreement with those of Arslan and Ozcan (2011), who reported a faster water loss at high drying temperatures. As shown in Fig. 1, the drying process was fast in the initial phase due to the high water content, which led to a high moisture evaporation rate. Therefore, the major drying process occurred in the range of the falling rate period, which resulted from the predominance of the internal diffusion mechanism due to the presence of bound-water (Karathanos and Belessiotis, 1990; Kaymak-Ertekin, 2002).

**Table 1.** Drying time and final weight at the end of the ginger powders drying process

| Drying temperature, °C | Final ginger weight*, % | Drying time, min |
|------------------------|-------------------------|------------------|
| 40                     | 10.58 ± 0.77            | 710 ± 15.1       |
| 60                     | 10.48 ± 0.68            | 340 ± 11.0       |
| 80                     | 9.69 ± 0.52             | 177 ± 7.5        |
| 100                    | 9.42 ± 0.46             | 170 ± 6.6        |

Values are the means of triplicate analysis ± standard deviation.

\* Final ginger weight was recorded at a constant interval time (min) until achieving a constant weight, which is expressed as percentage.

In this context, Baker (1997) reported that the water in larger capillaries was removed first, followed by that in smaller capillaries with a decrease of the evaporation rate. By approaching the end of the drying process, the drying rate decreases so that water becomes more difficult to be removed due to the high bound-water to the sites of the food components; i.e. protein and starch.

### **Total phenolic, flavonoid and carotenoids compounds**

#### *Phenolic content*

Total phenolic contents (TP) of different dried ginger samples, expressed as mg of gallic acid per gram of dry sample, are given in Table 2. TP values in the ginger extracts were significantly different ( $P < 0.05$ ) and were positively related to the drying temperatures. The ginger sample dried at 100°C exhibited the highest TP value (24.15 mg GAE/g) compared to the samples dried at lower temperatures; i.e. 16.36, 14.48 and 12.21 mg GAE/g for the samples dried at 80°, 60° and 40°C, respectively. It is known that thermal processing is the most critical factor that may influence the amount of the phenolics. Kubra and Rao (2012) reported that heat energy may cause the breakdown of the cellular constituents leading to a higher release of polyphenols from the matrices, which may explain the high content of TP obtained at 100°C in the current study. On the other hand, Jelled *et al.* (2015) concluded that a decline trend of the TP values could be attributed to the degradation of phenolic compounds during the drying process, powdering and



storage. Different values of phenolic compounds have been reported by other studies on dried ginger. For instance, An *et al.* (2016) and Gumusay *et al.* (2015) have reported values of 9.69 mg GAE/g and 3.54 mg GAE/g, respectively, for the ginger powder dried at 60°C. Whereas, Li *et al.* (2016) reported a content of 27.40 mg GAE/g for the dried ginger obtained at 40°C. The differences among these results could be attributed to the variety, genetics and the origin of the ginger rhizomes used.

**Table 2.** Effect of drying temperatures on total phenolic, flavonoid, carotenoid content and the antioxidant activity of ginger powder

| Treatment | Total phenolics, mg/g      | Total flavonoids, mg/g     | Total carotenoids, mg /100g | % Inhibition DPPH          |
|-----------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 40°C      | 12.21 ± 0.246 <sup>d</sup> | 2.70 ± 0.167 <sup>d</sup>  | 9.26 ± 0.092 <sup>a</sup>   | 73.47 ± 0.376 <sup>d</sup> |
| 60°C      | 14.48 ± 0.793 <sup>c</sup> | 3.76 ± 0.383 <sup>c</sup>  | 6.90 ± 0.132 <sup>b</sup>   | 74.95 ± 0.512 <sup>c</sup> |
| 80°C      | 16.36 ± 0.95 <sup>b</sup>  | 5.98 ± 0.221 <sup>b</sup>  | 5.78 ± 0.092 <sup>c</sup>   | 77.04 ± 0.256 <sup>b</sup> |
| 100°C     | 24.15 ± 0.65 <sup>a</sup>  | 10.57 ± 0.383 <sup>a</sup> | 3.06 ± 0.134 <sup>d</sup>   | 78.23 ± 0.246 <sup>a</sup> |

The values presented are the means ± standard deviation (n=3). The means in the same column bearing a different superscript letter differs significantly ( $P < 0.05$ ).

#### Flavonoid content

The total flavonoid content (TF) exhibited the same trend as TP. As it can be seen from the data in Table 2, the TF values significantly ( $P < 0.05$ ) increased by rising the drying temperatures. The highest amount of TF (10.57 mg CE/g) was noticed in the ginger powder dried at the high temperature of 100°C. This amount decreased to 5.98 mg for the ginger dried at 80°C, and a further TF loss was obtained by decreasing the drying temperature so that at 40°C a 2.7 mg CE/g value was reached. Our results are in accordance o those of An *et al.* (2016) and Shieber *et al.* (2001) who reported that a long period of time and a high temperature during the drying process are among the crucial factors that influence the flavonoids content. High drying temperatures contribute to the destruction of cellular constituents, which release the flavonoids and make them available during extraction. On the other hand, a short exposure time during the drying process makes it advantageous in terms of flavonoid preservation.

#### Carotenoid content

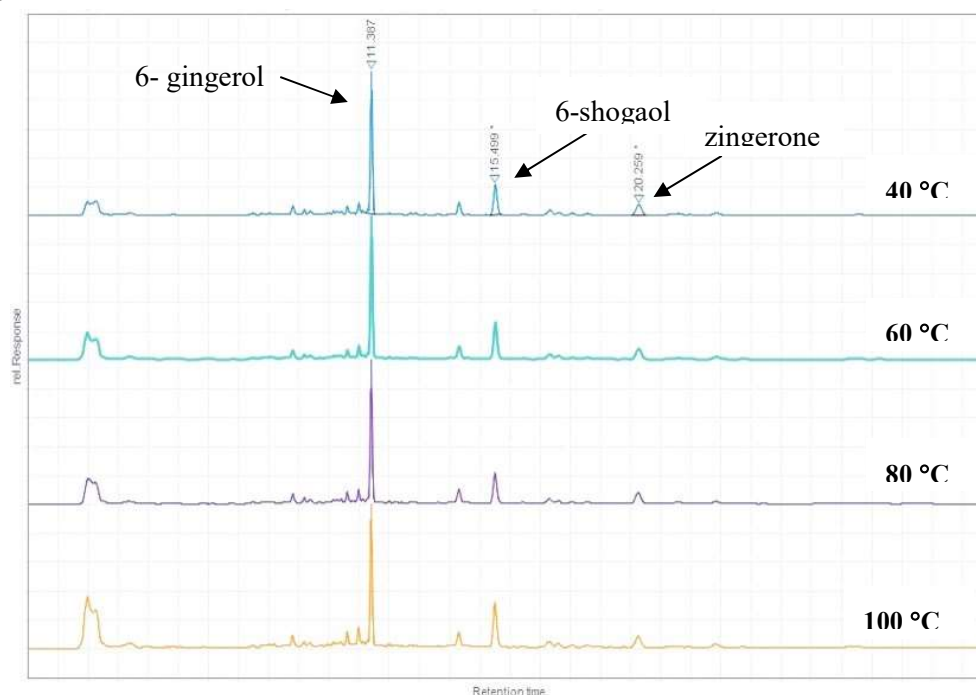
The total carotenoids (TC) were assessed in different ginger powders and the results are illustrated in Table 2. The results showed significant differences ( $P < 0.05$ ) for the (TC) contents in the ginger powders with an inverse bearing of the drying temperature. The highest (TC) content (9.26 mg/100 g) was recorded for the ginger dried at 40°C. This value steadily decreased by increasing the drying temperature to reach a TC concentration reduction almost of 2-folds at 100°C (3.06 mg/100 g). It has been reported that carotenoids are heat sensitive components that

can be significantly deteriorated by high temperature treatments (Rodriguez-Amaya and Kimura 2004). In comparison to the TC values obtained in our study, Gopalan *et al.* (2004) and Sangwan *et al.* (2014) reported very low concentrations of carotenoids ranging from 0.68 to 0.81 mg/100 g in the ginger powder prepared by different drying methods such as shade, solar, oven and microwave. The obtained differences may be due to the effect of the applied treatment on the ginger, the sensitivity of the carotenoids and the varietal difference in the ginger selected for the study.

#### **Analytical characteristics by HPLC**

##### **6-Gingerol, 6-shogaol and zingerone compounds**

Ginger contains a number of important phenolic and pharmacologically active compounds particularly gingerols and shogaols. The pungency of fresh ginger is attributed to the presence of gingerols with 6-gingerol compound (1-[4'-hydroxy-3'-methoxyphenyl]-5'-hydroxy-3-decanone) as the major compound. The identification and quantification of the 6-gingerol, 6-shogaol and zingerone components were performed by HPLC assay as described in section 2. 8, and a representative typical chromatogram is shown in Figure 2 and the mean values are given in Table 3.



**Figure 2.** HPLC chromatograms of 6-gingerol, 6-shogaol and zingerone of the four ginger powders obtained at different drying temperatures

The results clearly showed that these components in the dried gingers were significantly ( $P < 0.05$ ) influenced by the drying temperatures. The amount of 6-

gingerol gradually decreased as the applied drying temperature increased. As it is shown in Table 3, the value of 6-gingerol decreased from 4.96 mg/g at 40°C to reach the lowest value of 2.84 mg/g at 100°C. This finding is in agreement to that of Bhattarai *et al.* (2001) and Li *et al.* (2016). Gingerols are thermally labile molecules. During a drying process, a higher applied temperature would promote the decomposition and transformation of gingerols (6- gingerol, 8- gingerol and 10-gingerol) to shogaols (6-shogaol, 8-shogaol and 10-shogaol) (Huang *et al.*, 2011; Puengphian and Sirichote, 2008). Consequently, the amount of 6- gingerol decreased as the drying temperature increased. Additionally, it should be noted that different 6-gingerol contents have been reported by other studies in dried ginger powders. An *et al.* (2016) reported a lower value (2.50 mg/g) of 6-gingerol in the ginger powder obtained at 60°C compared to the relevant result obtained in this study, whereas, Li *et al.* (2016) reported a higher content (5.7 mg/g) of 6-gingerol in the ginger samples dried at 40°C. These findings highlight the sensitivity of 6-gingerol to high temperatures which leads to its transformation to shogaols. With respect to the shogaols compounds, which are the dehydrated form of gingerols, the increasing of the drying temperature over 60°C led to a significant ( $P<0.05$ ) increase for the 6-shogaol compound that reached the highest content (5.82 mg/g) under the 100°C treatment (Table 3). In agreement to these findings, Huang *et al.* (2011) reported that the 80°C hot air drying led to a higher conversion rate of 6-shogaol compared to that obtained at 40°C. Moreover, Cheng *et al.* (2011) and Li *et al.* (2016) reported a similar trend in the 6-shogaol conversion rate and concluded that the transformation process of gingerols to shogaols is conditioned by the employed drying temperature and the drying time.

**Table 3.** Effect of drying temperatures on 6-gingerol, 6-shogaol, Zingerone and  $\beta$ -carotene compounds obtained by HPLC assay

| Treatment | 6-gingerol,<br>mg/g          | 6-shogaol,<br>mg/g           | Zingerone,<br>mg/g            | $\beta$ -carotene,<br>mg/100g |
|-----------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 40°C      | 4.96 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup> | 4.88 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup> | 0.20 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>  | 2.56 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>  |
| 60°C      | 4.31 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup> | 4.96 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup> | 0.22 $\pm$ 0.06 <sup>ab</sup> | 2.36 $\pm$ 0.42 <sup>ab</sup> |
| 80°C      | 4.08 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup> | 5.43 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup> | 0.23 $\pm$ 0.04 <sup>ab</sup> | 2.02 $\pm$ 0.81 <sup>ab</sup> |
| 100°C     | 2.84 $\pm$ 0.04 <sup>d</sup> | 5.82 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup> | 0.25 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  | 1.79 $\pm$ 0.52 <sup>b</sup>  |

The values presented are the means  $\pm$  standard deviation (n=3). The means in the same column bearing a different superscript letter differ significantly ( $P<0.05$ )

Like shogaols, zingerone (4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone) is another compound that is absent in fresh ginger and generated during the processing of ginger at high temperature. As it can be seen from the data in Table 3, the zingerone content was positively related to the applied drying temperature. The drying process at 100°C exhibited a significantly higher ( $P<0.05$ ) value of zingerone (0.25 mg/g) compared to the one obtained after the 40°C treatment (0.20 mg/g). In this context, Li *et al.* (2016) reported a similar trend for the dried ginger samples and concluded that zingerone concentrations are enhanced by high

processing temperatures. However, these authors reported a lower content of zingerone (0.158 mg/g) compared to our results.

#### *$\beta$ -carotene compound*

A comparison between the  $\beta$ -carotene contents as obtained by the HPLC assay after different ginger treatments is presented in Table 3. The results revealed that  $\beta$ -carotene values were inversely related to the applied drying temperature. The ginger powder dried at 40°C showed significantly ( $P<0.05$ ) the highest  $\beta$ -carotene content (2.56 mg/100 g), which decreased constantly by rising the drying temperature so as to at 100°C it reached the lowest value (1.79 mg/100 g). These results are in accordance to the total carotenoids (section 3.2.3, Table 2) and are also in agreement to those of Georgé *et al.* (2011), Arkoub-Djermoune *et al.* (2016) and Lu *et al.* (2018) who elucidated the inverse relationship between  $\beta$ -carotene and high temperature processing, light and storage period. These factors may cause the isomerisation and oxidation of  $\beta$ -carotene, followed by a cleavage due to its unsaturated structure.

#### *Compositional properties of the ginger powders*

The mean values of moisture, total protein, water-soluble proteins and fat contents determined by rapid techniques (see section 2.10) are given in Table 4. The moisture content of the ginger powders significantly ( $P<0.05$ ) decreased once the drying temperatures were increased. In this context, Shirin Adel and Prakash (2010) and Sangwan *et al.* (2014) reported moisture values of 6.67% and 15.02% for the ginger powder obtained by drying at 40° and 50°C, respectively.

Contrary to the moisture result trend, the fat content was positively related to the drying process temperatures. This result could be attributed to the increased total solids in the ginger powders by increasing the drying temperatures. It should be noted that the difference between the highest and the lowest obtained fat values were 0.18%, though the differences were significant ( $P<0.05$ ). In comparison to our results, Shirin Adel and Prakash (2010) and Odebumni *et al.* (2010) reported a higher fat content for the ginger powder dried at 40°C (3.72- and 5.62%, respectively), while Sangwan *et al.* (2014) found a less fat content (0.78%) at 50°C.

**Table 4.** Chemical composition of the ginger extracts obtained at different drying temperatures

| Treatment | Moisture (%)             | TPr (%)                  | WSP (%)                  | Fat (%)                   |
|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 40°C      | 8.21 ± 0.09 <sup>a</sup> | 8.37 ± 0.13 <sup>a</sup> | 1.17 ± 0.03 <sup>a</sup> | 1.20 ± 0.06 <sup>a</sup>  |
| 60°C      | 7.28 ± 0.09 <sup>b</sup> | 8.45 ± 0.11 <sup>b</sup> | 1.15 ± 0.02 <sup>a</sup> | 1.24 ± 0.07 <sup>b</sup>  |
| 80°C      | 6.46 ± 0.16 <sup>c</sup> | 8.77 ± 0.14 <sup>c</sup> | 1.12 ± 0.01 <sup>b</sup> | 1.29 ± 0.05 <sup>bc</sup> |
| 100°C     | 4.58 ± 0.10 <sup>d</sup> | 9.08 ± 0.12 <sup>c</sup> | 1.07 ± 0.03 <sup>c</sup> | 1.38 ± 0.10 <sup>c</sup>  |

The values presented are the means ± standard deviation (n=3). The means in the same column bearing a different superscript letter differ significantly ( $P<0.05$ ). TPr: Total protein; WSP: Water-soluble protein.

With respect to the protein determination, the total protein (TPr %) content increased significantly ( $P<0.05$ ) in the ginger powders by increasing the drying

process temperatures. The ginger powder obtained after the drying process at 100°C exhibited the highest TPr value (9.08%). This value was steadily and significantly decreased by decreasing the drying temperatures to reach the value of 8.37% TPr in the ginger powder obtained after the 40°C treatment (Table 4). Other studies on oven dried ginger reported a lower TPr values compared to the results obtained in this study. Shirin Adel and Prakash (2010) found a 5.09% protein content in the ginger powder dried at 40°C, while Sangwan *et al.* (2014) reported a total protein content of 5.70% in the ginger dried at 50°C. The level of water-soluble proteins (WSP) was determined as an indicator for the impact of the drying temperatures on the availability of small and soluble proteins in the ginger powder.

Contrary to the TPr, the WSP contents were inversely related to the applied drying temperatures. The highest amount (1.17 %) was obtained at 40°C. This amount steadily decreased to reach the lowest value (1.07 %) at 100°C. This decrease is most likely attributed to the denaturation and changes in the molecular and structural characteristics of the small proteins by increasing the drying temperature that caused more proteins to bind and to become insoluble in water. With respect to the statistical analysis, although the differences among the WSP values were very small, they appeared significantly different ( $P < 0.05$ ) most likely due to the very low values of the adjusted mean square error obtained in comparison to the means (0.0004). Overall, it is worth noting that the differences in the chemical composition of the ginger powders obtained in this study compared to other studies could be attributed to the geographic origin, the atmospheric conditions and the maturity of the used rhizomes.

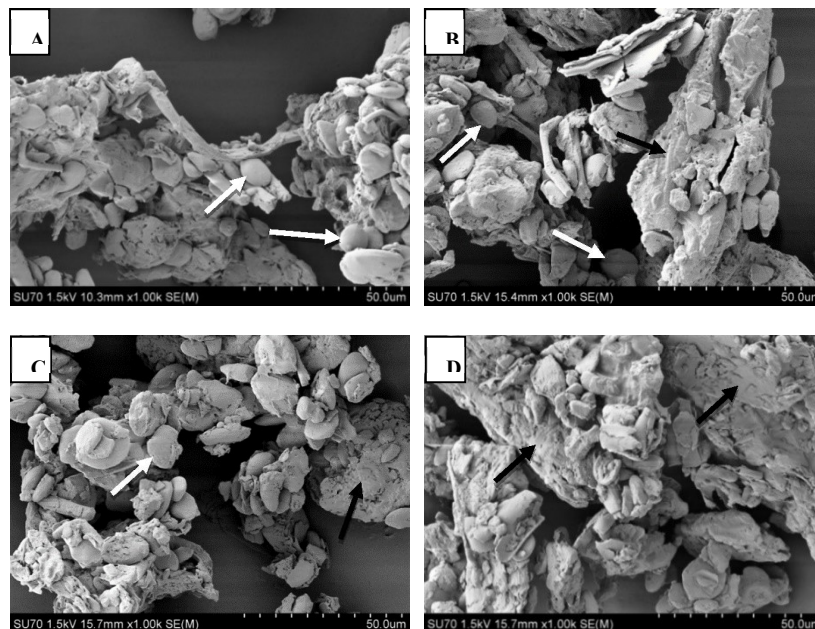
#### ***Antioxidant activity***

To evaluate the influence of different drying temperatures on the antioxidant activity of ethanol ginger extracts, the DPPH radical scavenging assay was performed and the results are presented in Table 2. The results revealed that the inhibition percentage of the DPPH radical was significantly increased ( $P < 0.05$ ) in ginger by increasing the drying temperatures. The ginger sample dried at 100°C showed the highest DPPH scavenging activity equivalent to 78.23%, whereas the minimum DPPH scavenging activity value corresponding to 73.47% was obtained at 40°C. It has been reported that phenolic compounds are potential antioxidants and free radical-scavengers and a good correlation should be obtained between the content of phenolic compound and the antioxidant activity (Kumar *et al.*, 2008; An *et al.*, 2016). This result is in accordance with the result of total phenolic and total flavonoid contents of the same treatments (Table 2), thus reflecting the higher antioxidant activity obtained by increasing the drying temperature. In agreement to these findings, Praven *et al.* (2007), and Hasna and Afidah (2009) concluded that the ginger with high levels of TP and TF contents exhibited a high free radical scavenging activity. Furthermore, the obtained DPPH scavenging ability showed a significant ( $P < 0.01$ ) positive correlations with the TP and TF contents (0.89 and 0.92, respectively). Similar trend of the correlations was reported by Velioglu *et al.* (1998), and Shirin Adel and Prakash (2010). In addition, a significant ( $P < 0.01$ ) inverse correlation was obtained between the radical scavenging activity and TC

content (-0.96). This correlation would be expected, since TC values showed a significant reduction trend by increasing the drying temperatures and were in contrast to TP and TF contents (Table 2). Accordingly, these findings may suggest that the high antioxidant activity of ginger extracts may be attributed to the phenolic compounds including flavonoids and other released compounds that are not considered in the current study, rather than carotenoids.

### ***Microstructure of ginger powders***

The effects of the applied oven drying temperatures on the microstructure characteristics of the ginger powder are shown in Figure 3. The irregularly aggregated parenchyma tissue formed the main matrix (pointed with black arrows), and the scattered starch grains (pointed with white arrows) throughout the parenchyma made the structural dimensions of these images. The SEM micrographs clearly showed the destruction of the parenchyma cell wall and the absence of the oils cells in the ginger powders as a result of the drying process. The same observations were reported by Azian *et al.* (2004) and An *et al.* (2016). Fig. 3A and 3B which represented the ginger powders dried at 40°C and 60°C showed abundant starch grains of well-retained shape that were dispersed all over the parenchyma matrix and were more pronounced compared to the ginger's structure after the 100°C treatment (Figure 3D). It should be noted that the starch grains of the ginger dried at 80°C (Figure 3C) were markedly destroyed and embedded within the parenchyma matrix compared to the 40°C and 60°C treatments.



**Figure 3.** SEM micrographs (1000x) of the ginger powders obtained at four different drying temperatures. (A) 40°C; (B) 60°C; (C) 80°C and (D) 100°C. *Black arrows* indicate the ginger parenchyma tissue aggregates while the *white arrows* indicate the starch grains. Scale bar is 50 μm



Additionally, the microstructure of the ginger powder obtained after the 100°C drying process, as shown in Figure 3D, revealed a denser structure, with a more pronounced degree of gelatinization and a higher destruction degree of the starch granules compared to those of the ginger powders obtained at lower drying temperatures 40°, 60°, and 80°C (Figures 3A, 3B and 3C, respectively). This observation is in agreement to the one of Huang *et al.* (2011) who reported a serious broken down phenomenon of the ginger starch dried at 80°C. In this context, An *et al.* (2016) reported that a high temperature and a rapid drying process make the inner water difficult to remove. This fact led the cellular structures to crosslink together so that the starch grain showed an important degree of gelatinization.

### Conclusions

The present study provided some comparative results on the chemical and bioactivity characteristics of the ginger powders obtained through oven drying process using four different temperatures (40°, 60°, 80° and 100°C). The results led to the conclusion that using an elevated temperature is beneficial in the drying process due to certain associated advantages. For instance, it exhibited a positive effect on the preservation of the total polyphenols, total flavonoids, and consequently higher antioxidant activity. Zingerone, 6-shogaol, total protein and fat contents of the ginger powders were significantly and positively related to the applied drying temperatures. Whereas, 6-gingerol and total carotenoids were inversely related to the drying temperatures, most probably due to the degradation of these compounds caused by high drying temperatures. Accordingly, the 100°C treatment revealed the most appropriate drying temperature in terms of ginger powder quality attributes. Overall, this study emphasized the profound influence of both of the drying time and the drying temperature on the final composition of the ginger powder. The obtained results offer a better comprehension of the influence of the oven drying process on the ginger powder functional properties and structure characteristics, allowing the optimization and the development of food and pharmaceutical industries applications.

### Acknowledgments

The authors would like to thank Dr. Ehab Romeih at Cairo University for performing the statistical analysis and his helpful editing of the manuscript. The authors would acknowledge Bernal Institute (University of Limerick, Ireland) for supporting this work.

### References

- Afshari, A.T., Shirpoor, A., Farshid, A., Saadatian, R., Rasmi, Y., Saboory, E., et al. 2007. The effect of ginger on diabetic nephropathy, plasma antioxidant capacity and lipid peroxidation in rats. *Food Chemistry*, **101**, 148-153.

- An, K., Zhao, D., Wang, Z., Wu, J., Xu, Y., Xiao, G. 2016. Comparison of different drying method on Chinese ginger (*Zingiber officiale Roscoe*): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food Chemistry*, **197**, 1292-1300.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis. Arlington, USA, Association of Official Analytical Chemists.
- Arkoub-Djermoune, L., Boulekbache-Makhlouf, L., Zeghichi-Hamri, S., Bellili, S., Boukhalfa, F., Madani, K. 2016. Influence of the thermal processing on the physicochemical properties and the antioxidant activity of a solanaceae vegetable: eggplant. *Journal of Food Quality*, **39**, 181-191.
- Arslan, D., Ozcan, M.M. 2011. Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L). Change in drying behaviour, Colour and Antioxidant Content. *Food and Bioproducts Processing*, **89**, 504-513.
- Azian, M.N., Mustafa Kamal, A. A., Azlina, M. N. 2004. Changes of cell structure in ginger during processing. *Journal of Food Engineering*, **62**, 359-364.
- Baker, C.G.J. (Ed.). 1997. *Industrial Drying of Food*. Blackie Academic and Professional/Chapman and Hall, London, 7-30.
- Bartley, A., Jacobs, A. 2000. Effects of drying on flavour compounds in Australian grown ginger *Zingiber officinale*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **80**, 209-215.
- Benmeziane, A., Boulekbache-Makhlouf, L., Mapelli-Brahm, P., Khaled Khodjaa, N., Remini, H., Madani, K., Meléndez-Martínez A, J. 2018. Extraction of carotenoids from cantaloupe waste and determination of its mineral composition. *Food Research International*, **111**, 391-398.
- Bhattarai, S., Tran, V.H., Duke, C.C. 2001. The stability of gingerol and shoagoal in aqueous solution. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, **10**, 1658-1663.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, **28**, 25-30.
- Chan, E.W.C., Lim, Y.Y., Wong, L.F., Lianto, F.S., Wong, S.K., .Lim, K.K., Joe, C.E., Lim, T.Y. 2008. Antioxidant and tyrosinase inhibition properties of leaves and rhizomes of ginger species. *Food Chemistry*, **109**(3), 477-483.
- Cheng, X.L., Liu, Q., Peng, Y.B., Qi, L.W., Li, P. 2011. Steamed ginger (*Zingiber officinale*): Changed profile and increased anticancer potential. *Food Chemistry*, **129**, 1785-1792.
- Gong, F., Li, F., Zhang, W., Li, J., Zhang, Z. 2012. Effect of crude flavonoids from Tatar buckwheat on alloxan induced oxidative stress in mice. *Bangladesh Journal Pharmacological*, **7**, 124-130.
- Gopalan, C., Ramasastri, B.V., Balasubramaniam, S.C. 2004. Nutritive value of Indian foods. National Institute of Nutrition, Indian Council of Medical Research, Hyderabad, 48-50.
- Georgé, S., Tourniaire, F., Gautier, H., Goupy, P., Rock, E. 2011. Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds, and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. *Food Chemistry*, **124**, 1603-1611.
- Gumusay, A.K., Borazan, A.A., Ercal, N., Demirkol, O. 2015. Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and Ginger. *Food Chemistry*, **173**, 156-162.
- Hasna, O., Afidah, A. 2009. Antioxidant activity and phenolic content of *Paederia foetida* and *Syzygium aqueum*. *Molecules*, **14**, 970-978.



- Huang, T.C., Chung, C.C., Wang, H.Y., Law, C.L., Chen, H.H. 2011. Formation of 6-shogaol of ginger oil under different drying conditions. *Drying Technology*, **29**, 248-255.
- Jayashree, E., Visvanathan, R., John Zachariah, T. 2014. Quality of dry ginger (*Zingiber officinale*) by different drying methods. *Journal of Food Science and Technology*, **51**, 3190-3198.
- Jelled, A., Fernandes, A., Barros, L., Chahdoura, H., Achour, L., Ferreira, I.C.F.R., Ben Cheikha, H. 2015. Chemical and antioxidant parameters of dried forms of ginger rhizomes. *Industrial Crops and Products*, **77**, 30-35.
- Jia, Z., Tang, M., Wu, J. 1999. Determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, **64**(4), 555-559.
- Jiang, H., Solyom, A.M. Timmermann, B.N., Gang, D.R. 2005. Characterization of gingerol-related compounds in ginger rhizome (*Zingiber Officinale Rosco*) by high-performance liquid chromatography/ electrospray ionizations mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, **19**, 2957-2964.
- Kahkonen, M., Hopia, A., Vuorela, H., Rauha, J., Pihlaja, K., Kujala, T., Heinonen, M. 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **47**, 3954-3962.
- Karathanos, V.T., Belessiotis, V.G. 1997. Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products. *Journal of Food Engineering*, **31**, 35-46.
- Kaymak-Ertekin, F. 2002. Drying and rehydrating kinetic of green and red peppers. *Journal of Food Science*, **67**, 168-175.
- Kubra, I.R., Rao, L.J.M. 2012. Microwave drying of ginger (*Zingiber Officinale Rosco*) and its effect on polyphenolic content and antioxidant activity. *International journal of Food Science and Technology*, **47**(11), 2311-2317.
- Kumar, R., Sivakumar, T., Sunderam, R., Manjusha Saroha, K., Singh, N., Vashishta, B. 2008. Antioxidant and free radical scavenging potential of *Citrullus colocynthis* (L.) Schrad. methanolic fruit extract. *Acta Pharmaceutica*, **58**, 215-220.
- Li, F., Nitteranon, V., Tang, X., Liang, J., Zhang, G., Parkin, K.L., Hu, Q. 2012. *In vitro* antioxidant and anti-inflammatory activities of 1- dehydro-[6]-gingerdione 6-shogaol, 6-dehydroshogaol and hexahydrocurcumin. *Food Chemistry*, **135**, 332-337.
- Li, Y., Hong, Y., Han, Y., Wang, Y., Xia, L. 2016. Chemical characterization and antioxidants activities comparison in fresh, dried, stir-frying and carbonized ginger. *Journal of Chromatography B*, **1011**, 223-232.
- Lu, Q., Peng, Y., Zhu, C., Siyi Pan, S. 2018. Effect of thermal treatment on carotenoids, flavonoids and ascorbic acid in juice of orange cv. Cara Cara. *Food Chemistry*, **265**, 39-48.
- Minghetti, P., Sosa, S., Cilurzo, F., Casiraghi, A., Alberti, E., Tubaro, A., Loggia, R.D., Montanari, L. 2007. Evaluation of the topical anti-inflammatory activity of ginger dry extracts from solution and plasters. *Planta Medica*, **73**, 1525-1530.
- Miyoshi, N., Nakamura, Y., Ueda, Y., Abe, M., Ozawa, Y., Uchida, K., Osawa, T. 2003. Dietary ginger constituents galanals A and B are potent apoptosis inducers in human T lymphoma jurkat cells. *Cancer Letters*, **199**, 113-119.

- Mukherjee, S., Mandal, N., Dey, A., Mondal, B. 2014. An approach towards optimization of the extraction of polyphenolic antioxidants from ginger (*Zingiber officinale*). *Journal of Food Science and Technology*, **51**(11), 3301-3308.
- Nwinuka, N., Ibeh, G., Ekeke, G. 2005. Proximate composition and levels of some toxicants in four commonly consumed spices. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, **9**, 150-155.
- Odebunmi, E., Oluwaniyi, O., Bashiru, M. 2010. Comparative proximate analysis of some food condiments. *Journal of Applied Science Research*, **6**, 272-274.
- Ozgoli, G., Goli, M., Simbar, M. 2009. Effects of Ginger Capsules on Pregnancy, Nausea, and Vomiting. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, **15**(3), 243-246.
- Prasad, J., Vijay, V.K., Tiwari, G.N., Sorayan, V.P.S. 2006. Study on performance evaluation of hybrid drier for turmeric (*Curcuma longa* L.) drying at village scale. *Journal of Food Engineering*, **75**, 497-502.
- Praven, K., Ramamoorthy, A., Awang, B. 2007. Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content Morindacitrifolia fruit. *Journal of Engineering Science*, **2**, 70-80.
- Puengphian, C., Sirichote, A. 2008. 6-Gingerol content and bioactive properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extracts from supercritical CO<sub>2</sub> extraction. *Asian Journal of food and Agro-Industry*, **1**, 29-36.
- Pulido, R., Bravo, L., Saura-Calixto, F. 2000. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing antioxidant power assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **40**, 3396-3402.
- Rodriguez-Amaya, D.B., Kimura, M. 2004 Harvest Plus Handbook for Carotenoid Analysis, International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, DC. pp. 1-52.
- Sait, S., Hamri-Zeghichi, S., Boulekbache-Makhlouf, L., Madani, K., Rigou, P., Brighenti, V., PioPrencipe, F., Benvenuti, S.F., Pellati, F. 2015. HPLC-UV/DAD and ESI-MSn analysis of flavonoids and antioxidant activity of an Algerian medicinal plant: *Paronychia argentea* Lam. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, **111**, 231-240.
- Sangwan, A., Kawatra, A., Sehgal, S. 2014. Nutritional composition of ginger powder prepared using various drying methods. *Journal of Food Science and Technology*, **51**, 2260-2262.
- Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M.M., Toth-Markus, M. 2005. Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, **38**, 1023-1029.
- Shieber, A, Keller, P., Carle, R. 2001. Determination of phenolic acids and flavonoids of apple and pear by high- performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, **910**(2), 265-273.
- Shirin Adel, P.R., Prakash, J. 2010. Chemical composition and antioxidant properties of ginger root (*Zingiber officinale*). *Journal of Medicinal Plants Research*, **4**, 2679-2679.
- Stinco, C.M., Benítez-González, A.M., Hernanz, D., Vicario, I.M., Meléndez-Martínez, A.J. 2014. Development and validation of a rapid resolution liquid chromatography method for the screening of dietary plant isoprenoids: Carotenoids, tocopherols and chlorophylls. *Journal of Chromatography A*, **1370**, 162-170.

- Stoilova, I., Krastanov, A., Stoyanova, A., Denev, P.S., Gargova, S. 2007. Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). *Food Chemistry*, **102**, 764-770.
- Velioglu, Y., Mazza, G., Gao, L., Oomah, B. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **46**, 4113-4117.
- Yu, Y., Huang, T., Yang, B., Liu, X., Duan, G. 2007. Development of gas chromatography-mass spectrophotometry with microwave distillation and simultaneous solid-phase micro-extraction for rapid determination of volatile constituents in ginger. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, **43**, 24-31.